

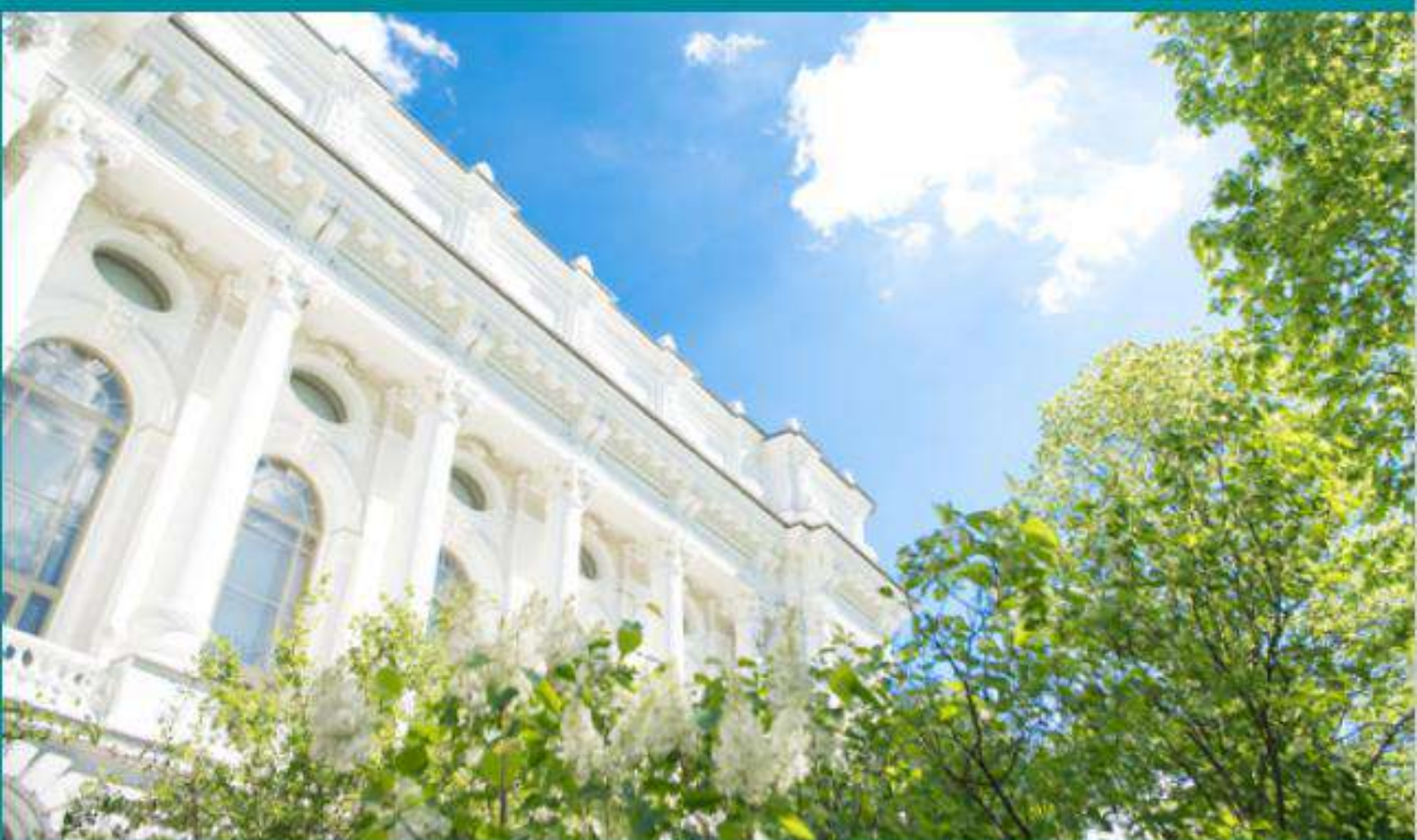


ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Инженерно-строительный
ИНСТИТУТ

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА – 2025

Сборник материалов
Всероссийской конференции
1–4 апреля 2025 года
Часть 1



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Инженерно-строительный институт

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА – 2025

Сборник материалов
Всероссийской конференции

1–4 апреля 2025 года

Часть 1



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2025

УДК 69:624:625:626:627

ББК 38

Н42

Неделя науки Инженерно-строительного института – 2025 : сборник материалов Всероссийской конференции, 1–4 апреля 2025 г. В 4 ч. Ч. 1. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 400 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников Инженерно-строительного института СПбПУ, университетов, научных организаций и предприятий Санкт-Петербурга, России, зарубежных стран по материалам докладов, принятых на секционные заседания конференции «Неделя науки Инженерно-строительного института – 2025» Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства. Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области строительства.

Представляет интерес для специалистов в различных областях знаний, учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Редакционная коллегия

Инженерно-строительного института СПбПУ:

М. В. Петроченко (директор института),

Н. Д. Беляев (ответственный редактор), *Г. Л. Козинец*, *Т. А. Коряковцева*,

И. Г. Кудряшева, *Н. А. Политаева*, *В. В. Терлеев*

ISBN 978-5-7422-8967-8 (ч. 1)
ISBN 978-5-7422-8966-1

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2025

УДК 699.822

С.С. Аникин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**ПРОВЕРКА ПРИГОДНОСТИ МЕЛКОЙ ФРАКЦИИ ХВОСТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА В ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ**

Данное исследование проводилось по проекту эксплуатации хвостохранилища на Северо-Западе РФ. Хвостохранилище предназначено для гидравлического складирования хвостов переработки фабрики обогащения рудного сырья черных металлов. По способу складирования является намывным, по типу рельефа – косогорным [1, 3]. Общий план хвостохранилища представлен на рисунке 1. Нарращивание хвостохранилища ведётся намывным способом с возведением дамб обвалования из крупнозернистой части хвостов, уложенных в его чашу. Проектом предусматривается возведение нового яруса дамбы с отметкой гребня 211,0 м, с целью увеличения полезного объема хвостохранилища. Для снижения фильтрации через тело дамбы необходимо предусмотреть противофильтрационные элементы на её верховом откосе.

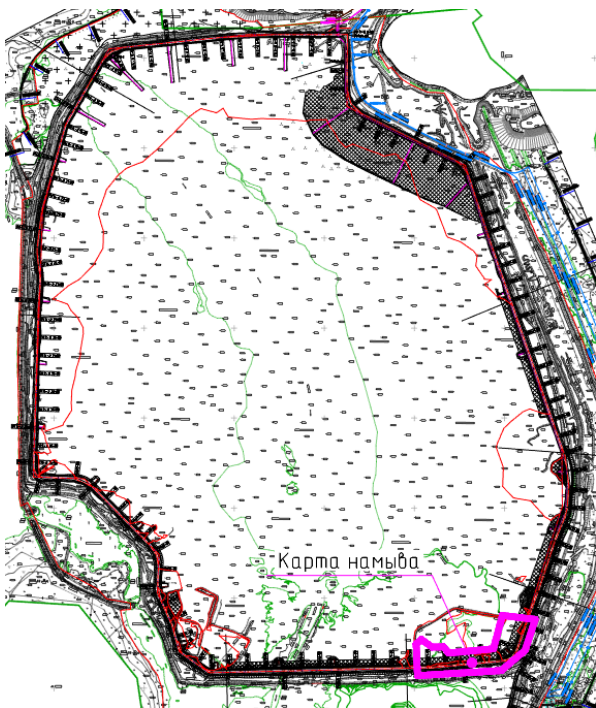


Рис. 1. Общий план хвостохранилища коэффициента фильтрации в опытной секции хвостохранилища, намытой из мелкой фракции хвостов (пылеватых пески и легкие пылеватые глины) [2]. После определения коэффициента фильтрации можно будет сделать вывод о возможности создания противофильтрационного экрана на всех ограждающих дамбах хвостохранилища, посредством кольматажа дамб мелкими пылеватыми частицами.

В рамках программы мониторинга были отобраны пробы в разных точках объекта, для которых впоследствии были лабораторно определены гранулометрические составы и коэффициенты фильтрации. Коэффициент фильтрации отобранных проб хвостов в основной части хвостохранилища находился в диапазоне $K_f = 1,7 \div 2,5$ м/сут. По результатам анализа был сделан вывод о том, что из-за отсутствия пруда отстойника в основной части хвостохранилища пылеватые частицы выносятся потоком с основной площади, вследствие чего там не образуется противофильтрационный экран для набора воды. В связи с этим было принято решение создать опытную карту намыва, в которую земснарядом перекачиваются отложения, выносимые потоком из хвостохранилища, с целью подтверждения пригодности мелких фракций хвостов для создания противофильтрационного экрана.

Целью работы является определение

Исследование выполнялось эмпирическим методом, который включал в себя: намыв противофильтрационного экрана земснарядом, замеры уровней воды (по датам), геодезическую съемку в конце эксперимента и сбор метеорологических данных для составления водного баланса. Для анализа геодезических данных использовалась программа AutoCAD Civil 3D [2]. Схема исследуемой карты намыва представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема карты намыва земснарядом с отображением поверхности, построенной по геодезической съёмке

Фильтрационный расход воды определяется из водного баланса карты намыва земснарядом за расчетный период $t = 30$ суток (между окончанием намыва и полным осушением карты) по формуле (1) [3]:

$$Q_{\phi}^m = Q_{\text{общ}}^m - Q_{\text{ис.в.}}^m + Q_{\text{ос.}}^m, \quad (1)$$

где Q_{ϕ}^m – фильтрационный расход за расчетный период t , м^3 ; $Q_{\text{общ}}^m$ – суммарный расход воды в прудке за период t , м^3 , вычисляемый с помощью программы AutoCAD Civil 3D по геодезическим съёмкам, как объём между поверхностями прудка в начале и в конце эксперимента (рис. 3), $Q_{\text{общ}}^m = 9260,9 \text{ м}^3$; $Q_{\text{ис.в.}}^m$ – расход воды на испарение с водной поверхности за расчетный период t , м^3 , определен по формуле (2) из [3]; $Q_{\text{ос.}}^m$ – осадки на водную поверхность прудка, м^3 , $Q_{\text{ос.}}^m = 0$, т.к осадков в расчетный период не было.

$$Q_{\text{ис.в.}}^m = 0,001 E^m F_{\text{ср.пр.}}^m \Delta t, \quad (2)$$

где E^m – среднемесячное испарение с водной поверхности прудка, мм/сут , среднее за многолетний период в районе строительства, $E^m = 1,5 \text{ мм/сут}$, принят по инженерно-метеорологическим изысканиям; $F_{\text{ср.пр.}}^m$ – средняя площадь, м^2 , зеркала водной поверхности карты на расчетный период, $F_{\text{ср.пр.}}^m = 5278 \text{ м}^2$ – площадь, найденная интегрированием поверхности зеркала воды по уровню воды в прудке; Δt – время испарения воды (расчетный период) $\Delta t = 30$ суток.

$$Q_{\text{ис.в.}}^m = 0,001 \cdot 1,5 \cdot 5278 \cdot 30 = 237,51 \text{ м}^3 \text{ за } 30 \text{ суток.}$$

Тогда фильтрационный расход равен:

$$Q_{\phi}^m = 9260,9 - 237,51 = 9023,49 \text{ м}^3 \text{ за } 30 \text{ суток} = 300,78 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Коэффициент фильтрации приближенно можно определить по формуле по формуле (3):

$$K_{\phi} = \frac{Q_{\phi}^m}{F_{\text{ср.дн.пр.}}^m}, \quad (3)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации в прудке карты намыва, м/сут ; $F_{\text{ср.дн.пр.}}^m$ – средняя площадь поверхности дна прудка за расчетный период, м^2 , $F_{\text{ср.дн.пр.}}^m = 5376 \text{ м}^2$ – площадь, рассчитанная путём интегрирования поверхности дна по уровню воды в прудке.

Тогда коэффициент фильтрации равен:

$$K_{\phi} = 300,78/5376 = 0,06 \text{ м/сут.}$$

Для экранирования накопителей можно применять отходы мелкого и среднего помола, коэффициент фильтрации которых не выше $K_{\phi} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ см/с} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут}$. [4].

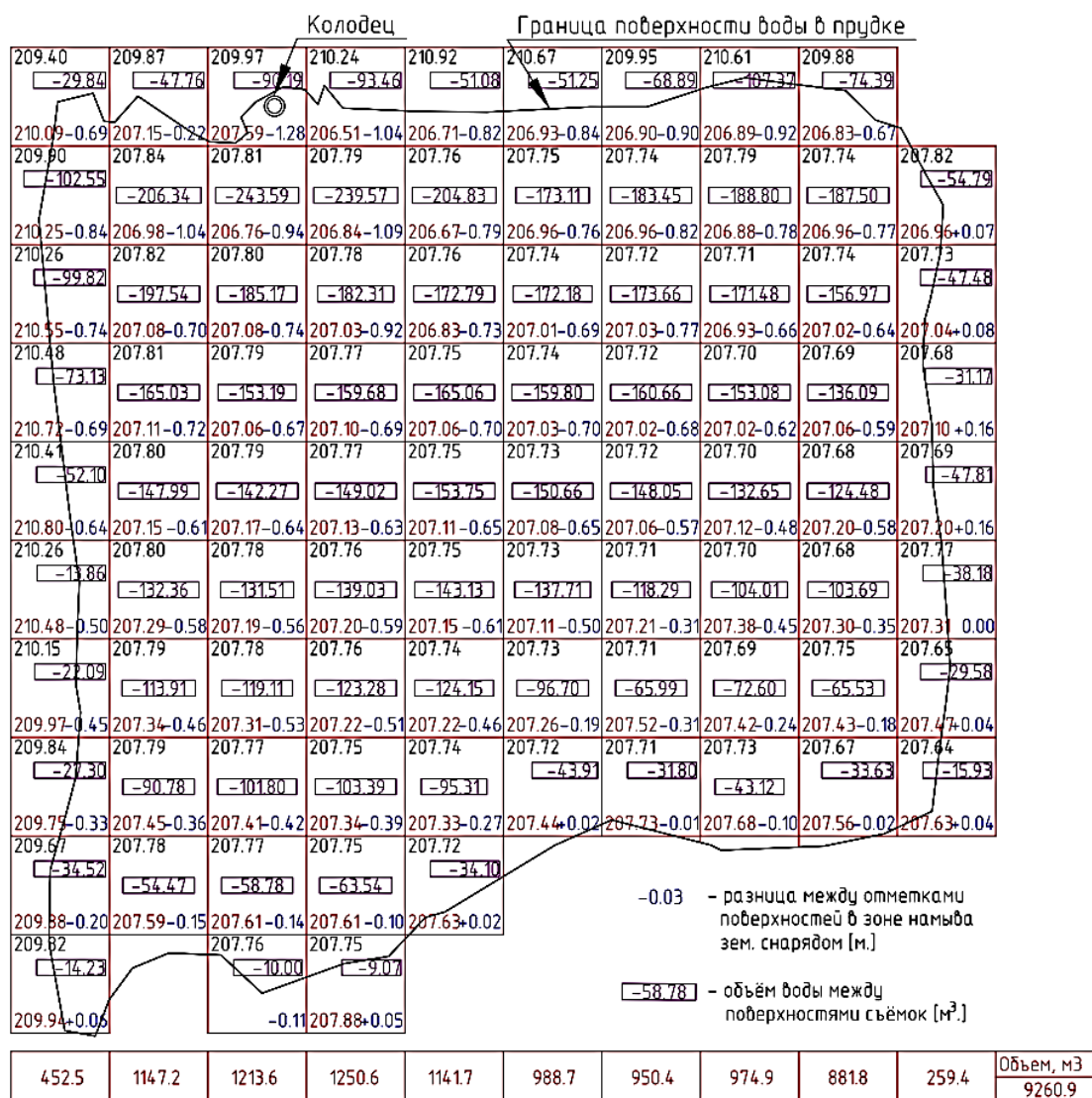


Рис. 3. Сравнение поверхностей карты намыва и вычисление объема между ними

Выводы: полученный в результате исследования коэффициент фильтрации с учетом намыва пылеватых частиц, выносимых из хвостохранилища значительно ниже исходного $0,06 \text{ м/сут.} < 1,7 \div 2,5 \text{ м/сут.}$ Тем не менее он не удовлетворяет условию для возможности использования мелкой фракции для создания противифльтрационного экрана в хвостохранилище $0,06 \text{ м/сут.} > 0,0001 \text{ м/сут.}$ Следовательно, можно сделать вывод о том, что помимо намыва экрана из пылеватых частиц на откосы ограждающих дамб необходимо предусмотреть дополнительные меры для понижения фильтрации через тело дамбы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций. П20-74/ВНИИГ, Л., 1974 г., 127 с.
2. ГОСТ 25100–2020 Грунты. Классификация. 38 с.
3. Пелевина И.А. Самоучитель AutoCAD Civil 3D 2011. СПб: БХВ-Петербург, 2011. С. 161–164.
4. Кибирев В.И., Райлян Г.А., Сазонов Г.Т. Гидравлическое складирование хвостов обогащения, справочник. – М.: Недра, 1991 г., с. 186–196.
5. Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности / ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1986. С. 39.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА
МОРСКИХ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Морские ветряные электростанции (МВЭС) становятся неотъемлемой частью глобального энергетического перехода, направленного на сокращение выбросов углекислого газа и снижение зависимости от ископаемого топлива. Ветровая энергия на море обладает значительным потенциалом благодаря стабильным ветровым потокам и возможности размещения крупных турбин вдали от населённых пунктов. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), мощность морских ветряных электростанций в 2022 г. достигла 64,3 ГВт, а лидерами стали Китай, Великобритания и Германия. Однако, несмотря на экологические преимущества, связанные с производством чистой энергии, строительство и эксплуатация МВЭС оказывают влияние на морские экосистемы, что требует детального анализа и разработки мер по минимизации негативного воздействия.

Масштабное строительство морских ветропарков требует серьёзного вмешательства в естественные морские процессы. Установка оснований турбин, прокладка кабельных трасс и вспомогательная инфраструктура приводят к изменениям в морской среде. В частности, исследования показывают, что процессы забивки свай могут вызывать значительные гидродинамические возмущения, приводящие к эрозии морского дна и изменению локальных течений [1]. Эти изменения могут негативно сказаться на бентосных организмах и нерестилищах рыб.

Дополнительно, исследования показали, что МВЭС могут изменять циркуляцию воды и распределение питательных веществ в морской среде, что влияет на пищевые цепи и миграцию морских животных [2].

Строительство и эксплуатация МВЭС также могут приводить к загрязнению морской среды. Хотя сами ветряные турбины не производят выбросов во время работы, на этапе их установки и технического обслуживания возможно попадание в воду масел, смазочных материалов и микропластика. Опасность представляют утечки из гидравлических систем, используемых в механизмах поворота турбин, а также размывание защитных покрытий конструкций, приводящее к попаданию в воду микропластиковых частиц [3].

Также существует риск утечки тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ при повреждении подводных кабелей, что может привести к локальному загрязнению морской воды.

Одной из наиболее обсуждаемых проблем является шумовое загрязнение. Во время строительства МВЭС использование тяжёлой техники, забивка свай и подводные работы могут оказывать негативное влияние на морских млекопитающих и рыб. Исследования показали, что интенсивные низкочастотные звуки способны вызывать стресс у морской фауны, снижать их способность к ориентации и нарушать миграционные пути [4].

На этапе эксплуатации уровень шума значительно ниже, однако его кумулятивный эффект остаётся предметом изучения. Особенно важно учитывать влияние вибраций, передающихся через морскую воду, которые могут воздействовать на донные экосистемы и некоторые виды рыб.

Средний срок службы морских ветряных турбин составляет 20–25 лет, после чего возникает проблема демонтажа и утилизации. Наибольшую сложность представляет переработка лопастей, так как их композитные материалы практически не поддаются

традиционным методам утилизации. В мире накоплено уже более 43 000 т старых лопастей, которые складываются или сжигаются, что создаёт дополнительные экологические проблемы [5].

Одним из наиболее острых экологических последствий работы МВЭС является массовая гибель птиц. Перелётные виды наиболее уязвимы, так как не могут адаптироваться к появлению новых препятствий в воздушном пространстве.

Для минимизации негативного влияния МВЭС применяются различные технологии и инженерные решения:

- Использование плавучих платформ, которые снижают воздействие на морское дно и предотвращают его эрозию [2].
- Применение вибропогружателей вместо ударных молотов при установке фундаментов, что позволяет снизить уровень шумового загрязнения [3].
- Использование барботажных систем. Принцип работы следующий, осуществляется выпуск воздуха через трубы, расположенные по периметру установки, создаёт воздушные пузырьковые завесы, которые снижают уровень шума на 30–40 дБ. Эта технология активно применяется в странах ЕС и доказала свою эффективность в снижении шумового воздействия на китообразных и другие чувствительные виды.
- Разработка систем мониторинга и адаптивного управления, которые позволяют временно останавливать турбины при обнаружении крупных скоплений морских млекопитающих.
- Использование экологически безопасных материалов для покрытия турбин и защиты конструкций от коррозии.
- Проектирование турбин с возможностью повторного использования конструктивных элементов, включая разборные узлы и материалы с улучшенной переработкой.
- Использование адаптивных систем управления, которые останавливают турбины при обнаружении птиц, размещение МВЭС вдали от ключевых миграционных маршрутов и использование ультразвуковых и инфразвуковых отпугивателей, которые помогают птицам обходить опасные зоны.

Морская ветроэнергетика представляет собой перспективное направление развития возобновляемых источников энергии. Однако её реализация требует комплексного подхода к управлению экологическими рисками. Основные направления для минимизации негативного воздействия включают разработку более экологичных технологий строительства, внедрение строгих стандартов экологического мониторинга и дальнейшие исследования по долгосрочному влиянию МВЭС на морские экосистемы. Баланс между энергетической эффективностью и сохранением окружающей среды может быть достигнут только путём комплексного подхода и современных инженерных решений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Киреева И.С., Махнюк В.М., Акименко В.Я., Думанский Ю.Д., Семашко П.В. Гигиенические проблемы размещения современных ветровых электростанций при их проектировании. Гигиена и санитария, №6, 2013. С. 45–48.
2. Шишкин И.Л. Некоторые направления развития и перспективы использования морской ветровой и волновой энергетики в современных странах, Владивосток: Изд-во ДВФУ, «Вологодские чтения», 2010. С. 135–136.
3. Рыженков М.А. Экологическая оценка воздействия ВЭС на окружающую среду в процессе эксплуатации. Успехи в химии и химической технологии. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, Том XXV. 2011, №10, 2011. С. 28–32.
4. Говорушко С.М. Воздействие ветряных электростанций на окружающую среду. Альтернативная энергетика и экология, НТЦ ТАТА, 2011. С. 38–42.
5. Парфененкова М. Проблему утилизации лопастей ветряных турбин помогут решить бамбук и грибы. Ведомости. Устойчивое развитие. Экология. 28.08.32.

АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ,
ПОВЫШАЮЩИХ СЕЙСМОУСТОЙЧИВОСТЬ ТОЛМАЧЕВСКОЙ ГЭС-4

Сейсмостойкость гидротехнических сооружений является одной из ключевых задач при проектировании объектов в районах с высокой сейсмической активностью. Разрушение таких сооружений вследствие землетрясений может привести к масштабным техногенным катастрофам. В данной работе рассматриваются конструктивные и инженерные решения, повышающие устойчивость гидротехнических сооружений, на примере компоновки Толмачевской ГЭС-4 [2].

Цель работы: на примере реального объекта проанализировать проектные решения, применяемые при повышении сейсмостойкости гидротехнических сооружений и выявить наиболее эффективные и рациональные из них.

Методы исследования:

Систематизации существующих подходов к обеспечению сейсмостойкости ГЭС. Анализ особенности конструкции основных сооружений Толмачевской ГЭС-4 на основе архивно-библиографических материалов по объекту и выявление конструктивных решений, повышающих сейсмостойкость.

Участок размещения ГЭС-4 расположен на границе всхолмленного вулканического нагорья и ледниковой равнины между реками Толмачева и Карымчина [4]. Здание ГЭС-4 предполагается возвести на правом берегу реки Толмачева у подножья вулканического останца, на площадке с отметками 262 м (рис. 1).

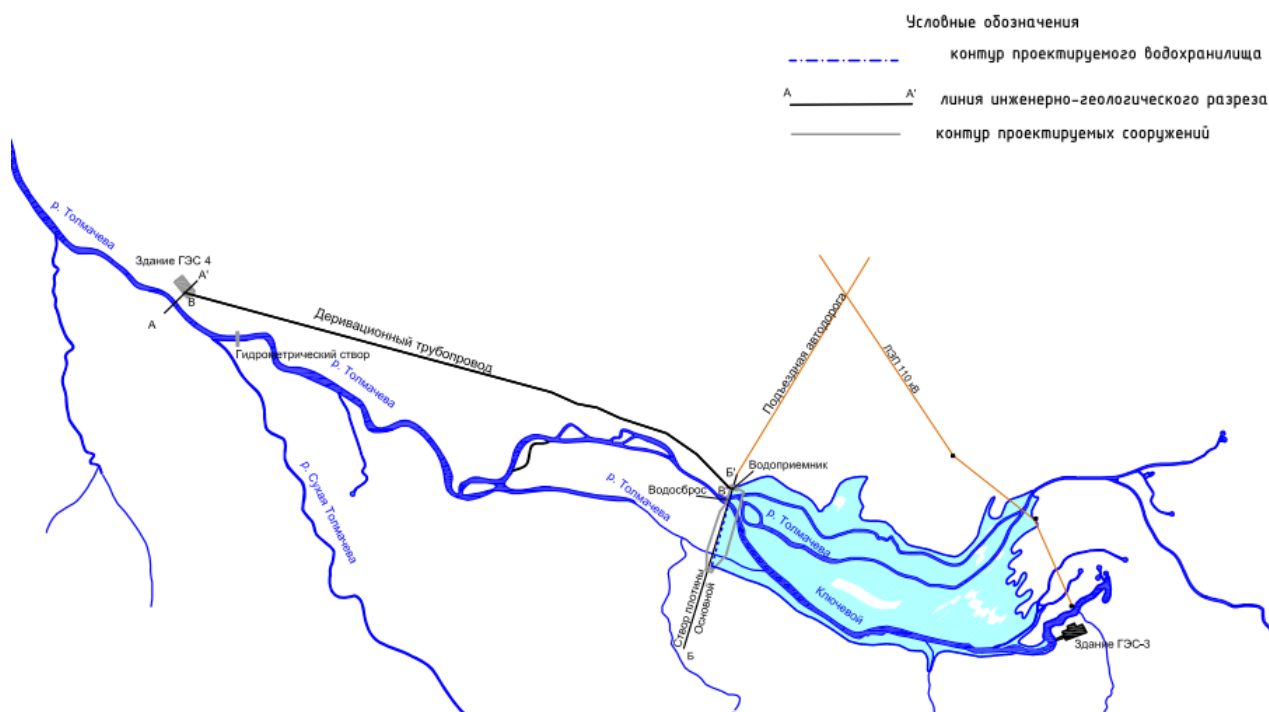


Рис. 1. Схема расположения ГЭС-4

Категория сложности инженерно-геологических условий участка гидроузла по совокупности факторов согласно Приложению Г СП 47.13330.2016 – (III) сложные [5]. Поэтому при проектировании сооружений необходимо учитывать высокую сейсмичность участка строительства гидроузла.

На ГЭС-4 были использованы сразу несколько мероприятий по повышению сейсмостойкости гидротехнических сооружений:

1. Земляная плотина

Для повышения сейсмостойкости земляной плотины применены следующие проектные решения:

- Пологие уклоны откосов (верховой – 1:3, низовой – 1:2,5). Это снижает вероятность оползневых процессов и избыточных деформаций при сейсмическом воздействии [3].
- Дренажная призма из скального грунта со стороны нижнего бьефа. Данный элемент уменьшает поровое давление в теле плотины, снижая риск разжижения грунта при землетрясении [3].
- Послойное уплотнение песчаного грунта в зоне дренажа. Уплотнённый грунт обладает большей устойчивостью к динамическим нагрузкам и менее подвержен деформациям [1].
- В теле грунтовой плотины была установлена глиноцементная «стена в грунте» (рис. 2).
- Укрепление откосов грунтовой плотины наброской из горных масс [3].

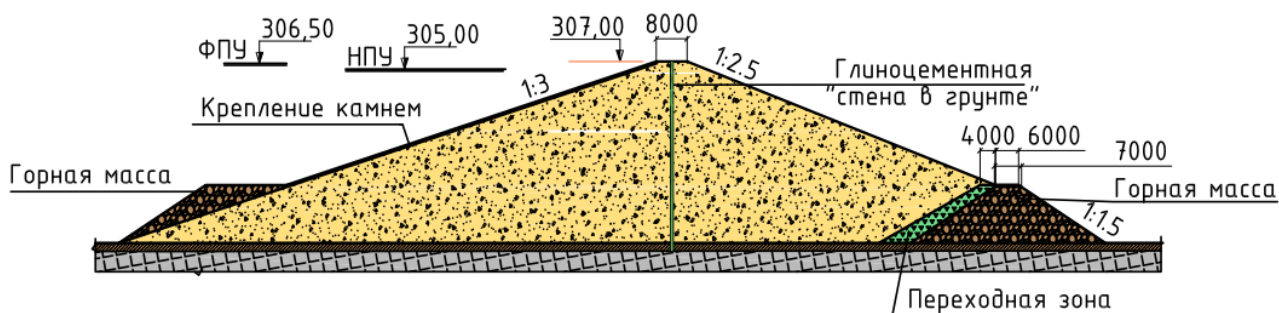


Рис. 2. Разрез по грунтовой плотине Толмачевской ГЭС-4

2. Бетонные сооружения

Бетонные сооружения включают водосброс, водоприёмник и правобережную бетонную плотину. Их сейсмостойкость обеспечивается следующими мерами:

- Монолитная фундаментная плита толщиной 1,0 м обеспечивает равномерное распределение нагрузок и предотвращает неравномерные осадки сооружений [3].
- Использование железобетонных балок для связи бычков с фундаментной плитой, а также сборного железобетонного перекрытия для перекрытия пространства между балками. Эти элементы конструктивно усиливают каналы и водопропускные сооружения, обеспечивая стабильность даже в условиях сейсмических нагрузок.
- Сопряжение водопропускных сооружений с земляной плотиной обеспечивается ребром на крайнем бычке, что помогает укрепить соединение и предотвратить повреждения при сдвигах и сейсмических колебаниях.

4. Напорная деривация

В проекте напорной деривации предусмотрены следующие решения, направленные на повышение её сейсмостойкости:

- Засыпка слоем грунта толщиной не менее 2,0 м для теплоизоляции. Это решение не только предотвращает охлаждение воды, но и способствует снижению динамических нагрузок на конструкцию водоводов, которые могут возникнуть при землетрясениях.

- Использование компенсаторов. Данные элементы предотвращают повреждения трубопровода за счёт компенсации деформаций, вызванных сейсмическими толчками.

5. Здание ГЭС

Сейсмостойкость здания ГЭС обеспечивается следующими решениями:

- Фундамент на скальном основании. Жёсткое основание снижает подверженность здания неравномерным осадкам.
- Монолитная плита основания толщиной 1,0 м равномерно распределяет динамические нагрузки, снижая напряжения в конструкции [1].

Выводы

Принятые проектные решения направлены на повышение сейсмостойкости гидротехнических сооружений за счёт оптимизации конструкции плотины, бетонных сооружений, водоводов и здания ГЭС. Использование дренажных элементов, монолитных плит, уплотнённого грунта и компенсаторов позволяет значительно снизить риск повреждений при динамических воздействиях. Дальнейшие исследования могут быть направлены на численное моделирование поведения данных конструкций при сейсмических нагрузках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 358.1325800.2017. Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах.
2. П 56-76/ВНИИГ. Руководство по учету сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений.
3. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах.
4. Результаты инженерно-геологических работ на площадках основных сооружений ГЭС-2 и ГЭС-3 Каскада Толмачевских ГЭС на р. Толмачева Камчатской области, проведенных в 1995–1998 гг. Книга 1. Площадки основных сооружений ГЭС-3. МПР РФ ГПП «Камчатгеология», г. Петропавловск-Камчатский, 1998.
5. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства.

УДК 696.11

В.М. Васильева, В.Я. Ольшевский
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ИХ СТЕНКАХ

В процессе эксплуатации стальных трубопроводов на их внутренних стенках образуются коррозионные отложения [1]. При увеличении толщины слоя отложений снижается пропускная способность и увеличиваются потери [2]. Наличие скопления частиц в трубопроводе, увеличивает интенсивность нарастания отложений, так как повышается шероховатость и сила трения частиц о стенки трубопровода [3]. Таким образом, чтобы замедлить скорость зарастания труб, необходимо при проектировании систем внутреннего холодного водоснабжения предусматривать скорости, не способствующие оседанию частиц [4]. Для этого необходимо определить значение скоростей течения, вызывающих скопление частиц.

Таким образом, *цель исследования* – определить скорости течения жидкости, при которых возникает скопление частиц на стенках трубопровода.

Задачи исследования:

1. Определение необходимых исходных данных для расчета;
2. Построение расчетной модели;
3. Анализ результатов расчета.

Методы исследования – моделирование потока жидкости с включением твердой фазы через трубопровод.

Для выполнения моделирования необходимо задать исходные параметры для расчета. Режим течения жидкости – турбулентный, трубы – стальные новые с коэффициентом шероховатости 0,1 мм. В составе типовых водомерных узлов предусмотрено устройство сетчатых фильтров с ячейками 1,4 мм, поэтому частицы, поступающие в систему внутреннего водоснабжения, имеют размеры не более 1,4 мм [5]. Для нахождения критической скорости (той скорости потока, при которой частицы приобретают нулевую скорость, не пройдя весь участок до конца), необходимо последовательно изменять параметр скорости жидкости на входе, отслеживая состояние частиц.

Согласно рисунку 1, величина скорости частиц становится равной нулю ранее, чем частицы пройдут весь участок трубы, следовательно, происходит их скопление и последующее оседание, повышая сопротивление участка трубы и ускоряя формирования слоя отложений на данном участке.

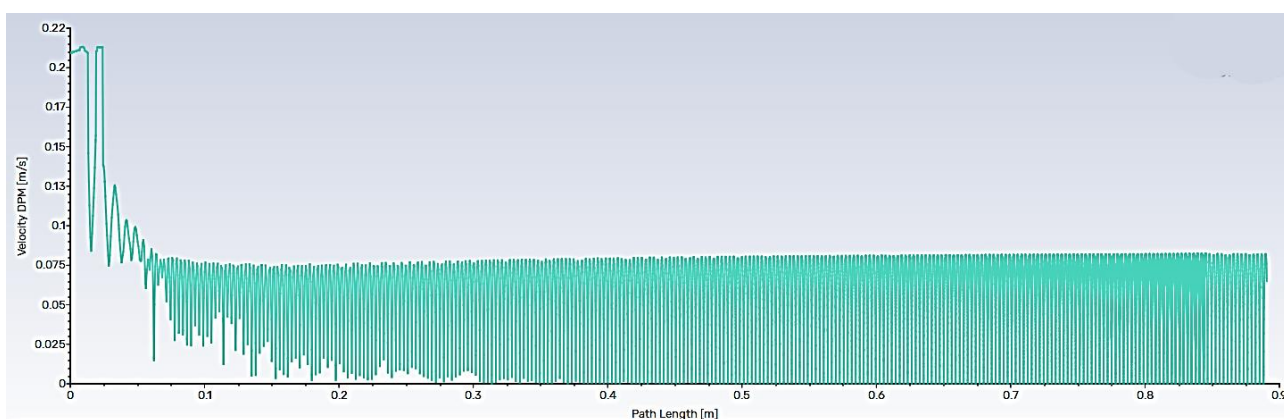


Рис. 1. Изменение скорости частиц в зависимости от пройденного пути

На рисунке 2 можно увидеть траекторию движения частиц, и их скопление у стенки трубы, а также их скорости на каждом участке трубопровода, показывающие, что скорости движения потока недостаточно для дальнейшего движения частиц.

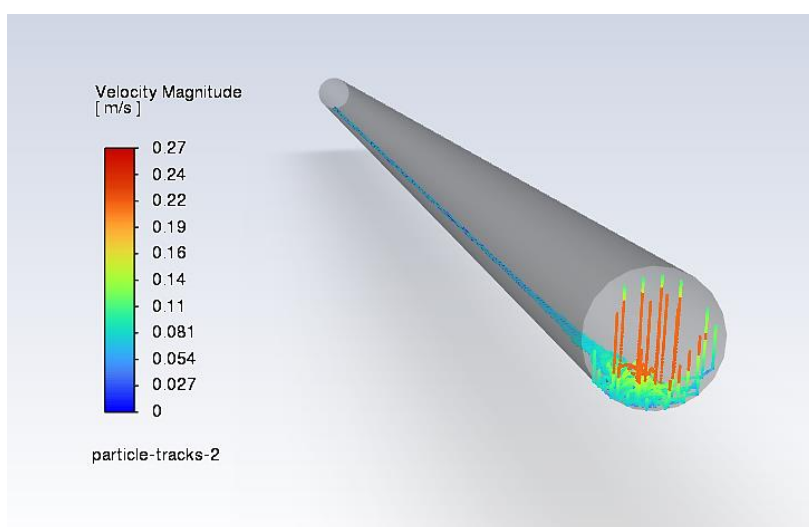


Рис. 2. Траектории и скорости движения частиц через фрагмент трубы

Полученные в результате расчетов данные для наиболее часто используемых диаметров труб в системах холодного водоснабжения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Скорости движения жидкости, способствующие скоплению частиц

Диаметр условного прохода трубы, мм	Скорость потока, способствующая оседанию частиц, м/с	Время оседания частиц, с
10	0,15	1,2
15	0,16	1,7
20	0,21	1,9
25	0,38	1,3
32	0,47	1,4
40	0,52	1,5
50	0,66	1,5
65	0,79	1,6
80	0,96	1,7
100	1,03	1,9

Анализируя полученные результаты, можно сделать *вывод* о том, что в случае возникновения скопления частиц, частицы скапливаются на начальных участках трубопроводов ввиду малого времени необходимого для оседания при данных скоростях. Полученные скорости являются минимальными на сетях внутреннего водоснабжения соответствующих диаметров для обеспечения долговечности и надежности системы водоснабжения. Результаты расчета также свидетельствуют, что при выполнении гидравлических расчетов не следует подбирать необоснованно большие диаметры труб, так как это ведет к уменьшению скорости течения жидкости в них и, как следствие, ускоряет образование отложений на их стенках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ильдерякова П.С. Анализ отказов на внутренних сетях водоснабжения и водоотведения // Наука и молодежь : материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. С. 138–140.
2. Зотов Ю.Н. Выбор исходных данных для гидравлического расчета внутренних систем водоснабжения при проектировании капитального ремонта жилых зданий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: Сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 228–232.
3. Krocova S., Barcova K. Checking the hydraulic efficiency and improving safety of the internal water supply // Communications – Scientific Letters of the University of Žilina. University of Žilina, 2018. Vol. 20, № 2. P. 121–125.
4. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Систематизация гидравлического расчета металлических сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на стенках труб // Строительство: наука и образование. 2022. № 12. С. 115–124.
5. Бохон И.Н. Влияние скорости потока в водоисточнике на потери напора в сетчатом фильтре водозаборного сооружения / И.Н. Бохон // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 1(17). – С. 88–96.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ В РОССИИ И ЗАРУБЕЖОМ

Цель работы заключается в проведении сравнительного анализа зарубежной и отечественных нормативных методик расчёта ледовых нагрузок от ровного ледяного поля и оценке возможности их применения для расчётов сооружений на шельфе российских морей.

Рассмотрим расчет по нормам ISO 19906:2019. Первоначально лед будет раздавливаться в ходе взаимодействия с вертикальным барьером. Методология расчета ледовой нагрузки для вертикальных поверхностей основана на теории раздавливания, а также на измеренных данных с реальных платформ, обладающих вертикальными (или близкими к вертикальным) поверхностями [1]. Это выражено в стандартной зависимости на рисунке 1.



Рис. 1. Стандартная зависимость ледовой нагрузки от движения льда при воздействии льда на широкую вертикальную конструкцию на мелководье [2]

Эмпирический подход описывается в стандарте [3]. При взаимодействии ровного (и наслоенного) льда заданной толщины h с вертикальной поверхностью шириной D в м, уравнение для давления раздавливания льда p в МПа выглядит так:

$$p = C_R h^n (D/h)^m, \quad (1)$$

где m – эмпирический коэффициент, принятый равным $-0,16$; $n = -0,3$ – еще один эмпирический коэффициент, принятый равным $-0,5 + h/5$ при h меньше 1 м и $-0,3$, если h больше или равняется 1 м; C_R – коэффициент прочности льда, который для холодного арктического льда принят равным 2,8.

Еще одним важным параметром является толщина льда. В детерминированной модели самый простой вариант сводится к использованию номинального значения для максимальной толщины. В исходных данных для проектирования [4] в качестве максимального указана толщина льда в 2,5 м.

Глобальная ледовая нагрузка на сооружение в зависимости от толщины ледяного поля определяется по формуле (2) [3], МН:

$$F = phD. \quad (2)$$

Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Нагрузки в связи с раздавливанием льда в зависимости от ширины приложения нагрузки [1]

Ширина, м	Толщина, м	Арктические условия: холодно	Арктические условия: холодно	Арктические условия: тепло	Арктические условия: тепло
		p , МПа	Нагрузка, МН/м	p , МПа	Нагрузка, МН/м
5	2,5	1,90	4,76	0,57	1,43
10	2,5	1,70	4,26	0,51	1,28
25	2,5	1,47	3,68	0,44	1,10
50	2,5	1,32	3,29	0,40	0,99
75	2,5	1,23	3,09	0,37	0,93
100	2,5	1,18	2,95	0,35	0,88
150	2,5	1,10	2,76	0,33	0,83
200	2,5	1,06	2,64	0,32	0,79

Проведем расчет по нормативному документу ВСН 41.88. Ледовые нагрузки рассчитываются при скорости дрейфа ледяных полей менее 0,5 м/с. Сила от воздействия движущихся ледяных полей на сооружение (в МН), в зависимости от фактора D/h рассчитывается по формулам (3) или (4) [5]:

$$F = R d h, \text{ при } d/h \geq 30; \quad (3)$$

$$F = 6,106 R d^{0,43} h^{1,57}, \text{ при } d/h < 30, \quad (4)$$

где $R = 1,5$ – прочность льда на одноосное сжатие [5] при солёности льда $S \text{ ‰} = 0,72$ [6] по среднесуточной температуре $t = -20^\circ\text{C}$; d – ширина опоры сооружения по фронту действия льда, м; h – толщина ровного ледяного поля.

Перейдем к последней фазе расчетов, а именно по СП 38.13330.2018. На отдельно стоящую опору с передней гранью в виде треугольника, многогранника или цилиндрического очертания нагрузка $F_{c,p}$, МН определяется по формуле (5) [7]:

$$F_{c,p} = 1,26 \cdot 10^{-3} V h_d \sqrt{m A k_b k_v \rho R_c \operatorname{tg} \gamma}, \quad (5)$$

но не может быть более:

$$F_{b,p} = m k_b k_v R_c b h_d, \quad (6)$$

где $V = 0,5$ м/с – скорость движения ледяного поля; $h_d = 2,5$ м – толщина ровного льда; m – коэффициент формы опоры в плане [7, табл. 17], в данном случае $m = 1,0$; $A = 3b^2$ – максимальная площадь ледяного поля, которая может воздействовать на рассчитываемый элемент сооружения, принимаемая в зависимости от поперечных размеров сооружения; $R_c = 1,5$ МПа – предел прочности льда при сжатии; $\rho = 1000,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воды при солёности $S \text{ ‰} = 0,72$ [7]; γ – половина угла заострения передней грани опоры в плане на уровне действия льда, град, для опоры в виде многогранника составляет 70; k_b, k_v – коэффициенты, принимаемые [7, табл. 18, 19] в зависимости от отношения ширины сооружения к толщине льда и эффективной скорости деформации льда в зоне его взаимодействия с опорой.

Сведем полученные значения в таблицы 2 и 3.

Для нормативного расчета воздействия льда в настоящее время используют два подхода к составлению структурной зависимости определения ледовой нагрузки: с введением в расчет эффективного давления льда как обобщенного параметра и с использованием дифференцированных коэффициентов-параметров [8].

Рассмотренные методы с применением коэффициентов показали сильную разницу в значениях, так как СП 38.13330.2018 учитывает больше факторов, в то время как ВСН 41.88 использует более упрощенную модель взаимодействия льда с сооружением.

Таблица 2 – Ледовые нагрузки от движущихся полей

Ширина, м	Толщина, м	Нагрузка, МН
5	2,5	77,1
10	2,5	103,9
25	2,5	154,1
50	2,5	207,6
75	2,5	247,1
100	2,5	375
150	2,5	562,5
200	2,5	750,0

Таблица 3 – Ледовые нагрузки от движущихся полей на отдельно стоящее сооружение

Ширина, м	k_b/k_v	Нагрузка, МН
5	2,7/0,300	0,79
10	2,0/0,300	1,36
25	1,3/0,300	2,73
50	1,05/0,625	7,10
75	0,9/0,750	10,79
100	0,7/0,781	12,95
150	0,5/0,867	17,30
200	0,5/0,950	24,15

Выводы

При сравнении полученных значений выявлено, что результаты с применением коэффициентов оказались выше, чем при расчете по давлению, например, для ширины 5 м – 77,1 МН > 23,8 МН. Таким образом, можно сделать вывод, что второй способ, изложенный в ВСН 41.88 можно применять только для предпроектной стадии разработки, поскольку в дальнейшем это приведет к неоправданному усилению конструкции, перерасходу материалов и бюджета. В то же время, результаты с применением коэффициентов по методу из СП 38.13330.2018 оказались меньше. Так происходит поскольку СП 38.13330.2018 учитывает специфику российских ледовых условий и многолетний опыт эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Порт отгрузки «Ямал СПГ» – предварительный анализ взаимодействия с ледовыми образованиями. Отчет подрядчика KR Croasdale & Associates Ltd., документ KRCA №: KRCA Yamal 1201, 12 января 2013 г.
2. Palmer A.C. and Croasdale K.R. Arctic Offshore Engineering. World Scientific Publishing Co. Ltd., Singapore, 2012.
3. ISO 19906:2019. Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures.
4. Гудошников Ю.П. и др. Инженерные и гидрометеорологические изыскания для проектирования объектов для сжижения и отгрузки природного газа в поселке Сабетта. Технический отчет, 2011.
5. ВСН 41.88. Проектирование ледостойких стационарных платформ. Миннефтепром СССР, М., 1988, с. 136.
6. Освоение Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения. Строительство объектов морского порта и районе пос. Сабетта. Технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях. ОАО ЛенморНИИпроект.
7. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) СНиП 2.06.04-82*.
8. Шарапов Д.А., Большев А.С. Гидротехническое строительство. Ледовые воздействия на морские сооружения Арктики: учебное пособие. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023.

ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ТУРБИННОГО ТРУБОПРОВОДА МАЛОЙ ГЭС НА КИРОВСКОЙ ПЛОТИНЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ОБЪЕМОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOW-3D

С развитием информационных технологий и увеличением производительности и мощности современных ЭВМ увеличилось количество, качество и разнообразие расчетных программных комплексов (ПК), используемых для расчетов тех или иных конструкций в области инженерного дела [1]. Так и в гидротехнике ПК способны комплексно решать задачи по расчету конструкций. Например, ПК FLOW-3D, способный методом конечных объемов производить различные расчеты гидродинамических систем [2, 3].

В работе предлагается принцип расчета турбинного трубопровода малой ГЭС на Кировской плотине методом конечных объемов в программном комплексе FLOW-3D.

Цель работы – сконцентрировать внимание студенческого сообщества на изучении и использовании современных ПК в гидротехническом строительстве. *Общие задачи проекта*: 1) изучить принципы работы и интерфейс ПК FLOW-3D [4]; 2) запроектировать цифровую 3D модель трубопровода для загрузки ее в ПК FLOW-3D; 3) произвести расчет в ПК FLOW-3D и проанализировать полученные результаты.

FLOW-3D – мощный инструмент для моделирования гидродинамических процессов, который активно используется в гидротехническом строительстве, включая проектирование турбинных трубопроводов. Его основные преимущества: 1. Точное моделирование течений, что позволяет анализировать сложные гидродинамические процессы, включая турбулентность, кавитацию и свободно поверхностные течения. 2. Оптимизация конструкции, что помогает выявить и устранить проблемные зоны (например, зоны повышенного давления или кавитации), что в свою очередь повышает эффективность и долговечность трубопровода. 3. Экономия ресурсов, позволяющая снизить затраты на физические эксперименты и доработки за счет виртуального тестирования различных сценариев. 4. Анализ кавитации и минимизирование рисков повреждения элементов трубопровода и турбин из-за кавитации. 5. Учет сложной геометрии: FLOW-3D эффективно работает с трехмерными моделями, учитывая особенности конструкции трубопровода. 6. Повышение энергоэффективности: ПК предлагает решения для оптимизации потоков воды, что увеличивает КПД турбины и снижает потери энергии. Таким образом, использование FLOW-3D в проектировании турбинных трубопроводов позволяет создавать более надежные и эффективные системы, минимизируя риски и затраты.

Первым этапом работы с ПК является разработка цифровой модели напорного турбинного трубопровода (рис. 1) и внедрение ее в программу. Далее описывается численная модель трубопровода. Начальные и граничные условия были приняты согласно заданию на проектирование. Теперь, когда расчетная модель готова, выполняется моделирование эксплуатации трубопровода. Результаты моделирования представлены далее.

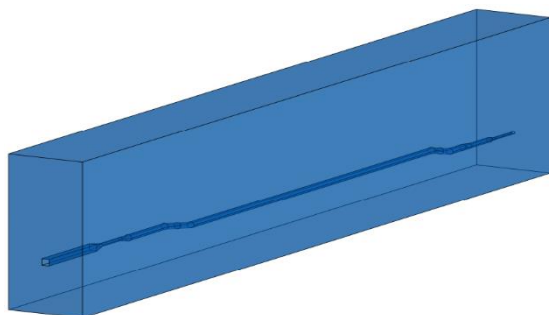


Рис. 1. Трехмерная численная модель трубопровода

В результате численного моделирования было получено распределение скорости потока (рис. 2) и распределение гидродинамического осредненного давления (рис. 3) внутри турбинного водовода.

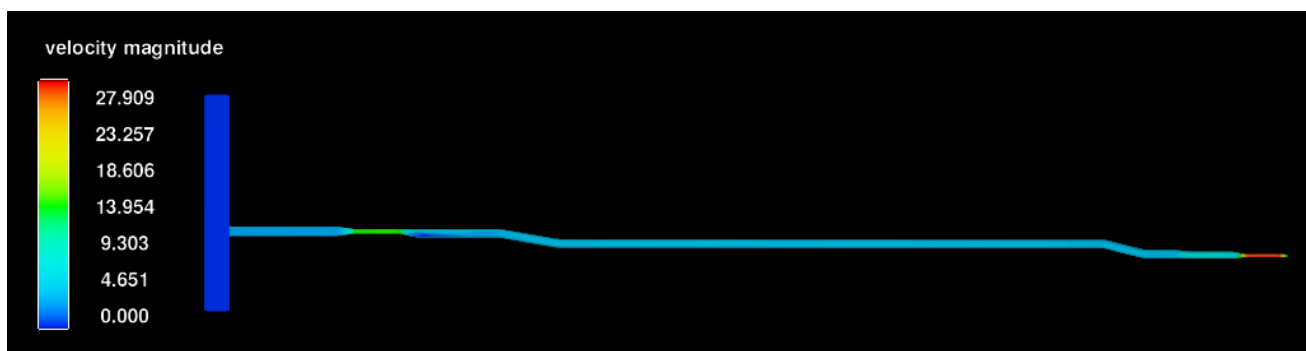


Рис. 2. Распределение скорости потока по длине трубопровода. Цветом показана шкала скорости

По рисунку 2 установлено, что максимальная скорость потока составляет $V = 27,9$ м/с. Данные о скорости потока воды на выходе трубопровода представляют собой особую ценность в гидроэнергетических расчетах, так как от этого значения и будет рассчитываться энергетическая эффективность и мощность малой ГЭС, к турбинам которой подводит поток трубопровод [5].



Рис. 3. Распределение гидродинамического осредненного давления.
Цветом показана шкала давления

Из рисунка 3 видно, что максимальное гидродинамическое давление составляет $\bar{p} = 529,7$ кПа.

Также важными данными, которые предоставляет расчет, при проектировании являются значения турбулентной энергии и значение турбулентной диссипации энергии [6]. Максимальные значения этих величин (рис. 4 и 5) в рассматриваемом трубопроводе возникают в его концевой части, где диаметр трубопровода минимальный, скорости потока максимальные.

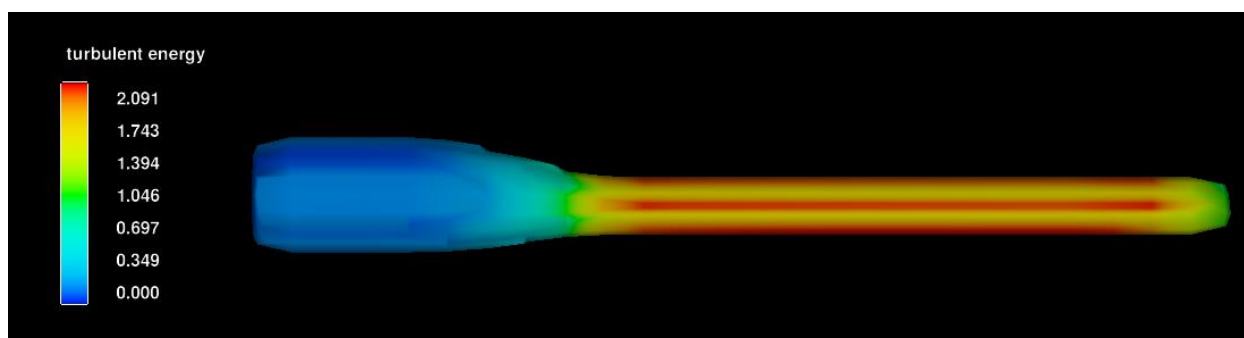


Рис. 4. Фрагмент участка трубопровода с максимальной турбулентной энергией.
Разным цветом показана шкала турбулентной энергии

Из рисунка 4 видно, что максимальное значение турбулентной энергии составляет $k = 2,091$. Значение $k = 9,135$, представленное на рис. 5 является значением, достигаемым в локальной точке цифровой модели на участке расширения трубопровода, и в натурном трубопроводе достигаться не будет.

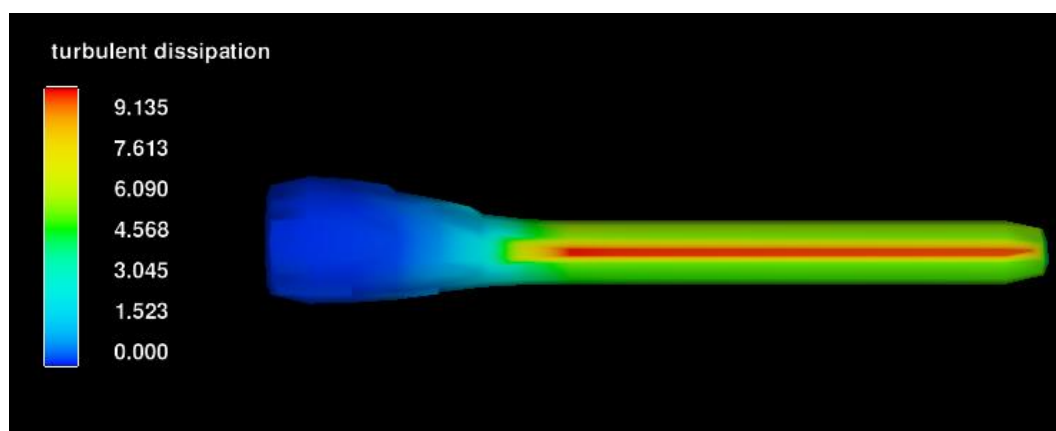


Рис. 5. Фрагмент участка трубопровода с максимальной турбулентной диссипацией энергией.
Цветом показана шкала давления

Подобные расчеты, представленные в работе, выполнены с помощью программного комплекса FLOW-3D, трудоемки и сложны при их аналитическом выполнении. ПК решает проблему трудозатратности, скорости и точности выполнения расчетов [7].

Выводы:

1. В работе изучены принципы работы в ПК FLOW-3D и продемонстрированы достоинства программы.
2. Создана трехмерная цифровая численная модель напорного турбинного трубопровода длиной 300 м с переменным диаметром и уклоном.
3. Произведен расчет и получено значение максимальной скорости потока в конце трубопровода: 27,9 м/с, а также наибольшее гидродинамическое давление 540 кПа.
4. Получены детальные результаты о максимальных значениях турбулентной энергии потока и о турбулентной диссипации энергии внутри трубопровода

ЛИТЕРАТУРА:

1. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных САЕ-системах // Компьютерное моделирование. СПб.: СПбПУ, 2008.
2. Pan B., Belyaev N. FLOW-3D Software for Substantiation the Layout of the Port Water Area. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. С. 012020.
3. Пань Б., Беляев Н.Д. Применение FLOW-3D для обоснования технологии намыва. Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции, лучшие доклады. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. С. 3–7.
4. Руководство пользователя ПК FLOW 3D: FLOW-3D User Manual, Release 1.0.0. URL: https://www.flow3d.com/wp-content/uploads/2020/10/FLOW-3D_HYDRO_installation_instructions.pdf (Дата обращения 26.02.2025).
5. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: учебное пособие / П.П. Безруких, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко, Ю.С. Васильев; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
6. Гиргидов А.Д. Диссипация механической энергии в круглоцилиндрической трубе // Инженерно-строительный журнал, №6, 2012. ФГБОУ ВПО СПбПУ, 2012.
7. Шкода И.В., Облетов Е.Н., Хазов П.А. К вопросу о необходимости расчёта строительных конструкций с использованием независимых вычислительных комплексов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2019. № 1(58). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6852> (дата обращения 26.02.2025).

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА РАБОТУ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

В работе рассматриваются проблемы в хозяйственной деятельности прибрежных регионов Каспийского моря в связи с происходящими изменениями уровня, в частности раскрываются сложности, которые испытывает морское транспортное хозяйство стран Каспийского региона при его снижении. Приводятся меры, предпринимаемые для повышения грузооборота в морской транспортной отрасли и безопасности прохождения судов.

Каспийское море – самое большое озеро в мире со средней глубиной 208 м (максимальная глубина 1025 м). Северный Каспий – наименьшая по площади и самая мелководная часть моря с глубинами 4–5 м, средняя часть имеет глубину 600–700 м и южная – самая глубоководная.

Каспий с его водосборным бассейном играет важную роль в экономике стран Каспийского региона – России, Azerbaijan, Ирана, Казахстана и Туркменистана. Общая протяженность береговой линии – 5970 км, из них 2320 км относится к Казахстану, 1200 км – к Туркменистану, 900 км – к Ирану, 850 км – к Azerbaijanу и 700 км – к России.

В 2018 году подписана Конвенция о правовом статусе Каспийского моря [4], где зафиксированы договоренности об основных принципах и порядке взаимодействия этих пяти прибрежных государств. В странах каспийского региона высоко развиты рыбное хозяйство, водный транспорт, гидроэнергетика, нефтегазодобывающая и химическая промышленность, сельское хозяйство и ряд других отраслей. Колебание уровня Каспия является сдерживающим фактором развития многих отраслей экономики прибрежных регионов.

Согласно историческим данным, регрессия моря, продолжавшаяся до конца 1970-х гг. (рисунок 2), привела к опустыниванию прибрежных территорий.



Рис. 1. Карта стран Каспийского региона

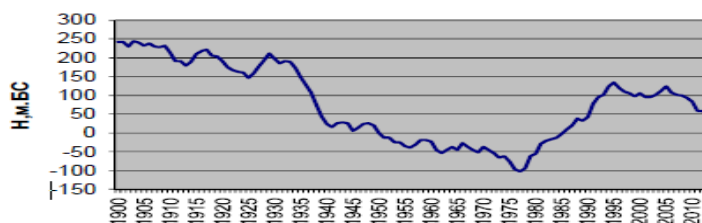


Рис. 2. Динамика среднегодового уровня моря в районе Махачкалы (уровень приведен относительно единого нуля Каспийского моря, равного -28,00 м БС)

Отступление моря в этот период в мелководной северной части на 120–140 км отрицательно повлияло на нефтегазодобывающую промышленность в шельфовой зоне, нарушило работу многочисленного флота, обслуживающего нефтяников, вывело из строя портовые, причальные и водоприемные устройства. Возникли трудности судоходства в низовьях рек. Обмелели порты и подходящие к ним пути, проход через Волго-Каспийский морской судоходный канал был затруднен и почти невозможен. Потребовались огромные средства на дноуглубительные работы, для поддержания портов в рабочем состоянии. К концу 1977 г. уровень моря опустился до самой низкой отметки за последние 500 лет – -29,0 м БС [1], после этого начался период его подъема, который затем вновь сменился периодом спада.

Учитывая динамику снижения уровня моря за последние 20 лет, является очевидным, что Каспий на текущем этапе столкнулся с угрозой обмеления. С 2006 года, по данным Министерства экологии и природных ресурсов, площадь водной поверхности моря сократилась более чем на 31 тыс. км², большая часть которой приходится на казахстанскую акваторию Северного Каспия [4]. По словам казахстанского общественного деятеля А. Сарсенбаева, в акватории города Актау из-за спада воды расстояние от берега увеличилось на десятки метров, а в северной части море ушло на несколько километров. В настоящее время уровень моря достиг отметки -28,7 метров БС, что находится ниже критической отметки уровня на 20 см [2].

В Дагестане и Азербайджане ситуация на побережье схожа – уровень воды с набережной Махачкалы и Баку ушел на десятки метров.

Согласно отчету ФГБУ «КаспМНИЦ», уровень Каспийского моря до 2032 г. продолжит дальнейшее снижение до отметки -30,14 м. Согласно расчетам немецких ученых из Гессенского и Бременского университетов, снижение ускорится в ближайшие десятилетия и к 2100 г. уровень моря упадет на 9–18 м, а площадь морского бассейна сократится на 23–34%. По прогнозу Минэкологии Республики Казахстан («Казгидромет»), в 2030 г. уровень моря может достигнуть -29,23 м БС [2]. В связи с обмелением северной части Каспийского моря порты России и Казахстана сталкиваются с большими проблемами в судоходстве.

В акватории Республики Казахстан падение уровня Каспийского моря у сухогрузных причалов порта в г. Актау составило более 2,5 м, у порта «Курык» – почти на 1,5 м. Средняя глубина моря достигла 4,9 м при стандартном уровне судоходства 6,1 м, в результате загрузка судов в казахстанских портах составила менее 75% от максимальной. Танкеры, способные взять на борт 12 тыс. т нефти, заполняют всего до 8–8,5 тыс. т, в то время как сухогрузы недогружают на 300–400 т. В дальнейшем при каждом снижении уровня Каспия на 10 см недогруз сухогрузов составит от 150 до 200 т, а также возникнет недогруз танкеров, все это увеличит стоимость транспортировки и существенно снизит грузооборот.

Для решения данных проблем в портах Курык и Актау с 2023–2024 гг. начаты дноуглубительные работы, на которые Казахстан планирует потратить около 40 млрд тенге (90,8 млн \$). Это позволит привлечь крупнотоннажные суда и расширить грузоперевозки по «Среднему (Транскаспийскому) коридору» [6].

В акватории Республики Азербайджан уровень воды в районе г. Баку ушел на десятки метров, но в целом ситуация в портах относительно стабильна. В настоящее время глубины фарватера во входном канале и акватории для маневров в морской части Бакинского международного торгового порта в среднем находятся в пределах 7,5–6,9 м, что позволяет судам с большой осадкой свободно швартоваться у его причалов. С 2023 г. здесь осуществляется строительство земснаряда CSD 650 водоизмещением 535 т, общей длиной 61,2 м, оснащенного резцом (700 кВт) для углубления до 18 м. Общая мощность судна составляет 2,97 тыс. кВт, его производительность – около 7000 м³/ч грунтовой смеси. Работа судна будет направлена на углубление фарватеров в портах Азербайджана для обслуживания судов с осадкой более 6–8 м, например, танкеров-восьмитысячников. Объем транзитных грузоперевозок через Азербайджан планируется увеличить к 2027 г. до 13,6 млн т [6].

Акватории Республики Туркменистан и Исламской Республики Иран, расположенные в южной части моря, меньше пострадали от его обмеления, однако затраты на поддержание портовых операций на севере Ирана ежегодно растут примерно на 13%. Дополнительные расходы требуются на дноуглубительные работы судоходных каналов, укрепление морских объектов, строительство новых дамб вдоль побережья Ирана для предотвращения накопления морской пыли, в том числе в проливе Ашурате [7].

В акватории Российской Федерации уровень воды в порту Махачкалы опустился настолько, что суда с осадкой более 4 м не могли зайти в порт вследствие заноса каналов

песком [5]. Кроме того, большинство судоходных участков в русле реки Волги не ремонтировались и даже не углублялись с 90-х годов, что увеличивает риск серьезных аварий и делает участки реки непроходимыми для крупнотоннажных и средних судов, усложняет движение судов по Волге и Волго-Донскому каналу [3]. Недозагрузка торговых судов снизила экономическую эффективность морских грузоперевозок через Транскаспийский международный транспортный маршрут.

В 2022–2024 гг. Российской Федерацией в рамках работы по ускоренному развитию международного транспортного коридора «Север–Юг» проведены дноуглубительные работы в Волго-Каспийском морском судоходном канале с целью обеспечения прохода судов с осадкой 4,5 м. В работах было задействовано 28 единиц дноуглубительной техники, в том числе несколько барж и 12 земснарядов. Данные операции значительно улучшили судоходство и позволили увеличить нагрузку на суда, следующие по Волго-Каспийскому морскому судоходному каналу в порты Астрахань и Оля [6].

Выводы. В работе проведена оценка степени влияния обмеления Каспийского моря на работу морской транспортной отрасли каждой из стран Каспийского Региона, а также отмечены предпринимаемые меры для улучшения функционирования морских объектов. Выявлена необходимость наращивания прикаспийскими государствами объемов дноуглубительных работ в портах, каналах и на часто используемых судоходных путях с ориентиром на проходку крупнотоннажных судов, а также более масштабное использование малотоннажных грузовых судов с малой осадкой на наиболее рискованных участках судоходных путей. В дальнейшем целесообразно проводить постоянный мониторинг глубин, на основе которого своевременно выполнять локальные дноуглубительные работы на проблемных участках. Рекомендуются также рассмотреть возможность восстановления дамбы, отделяющей залив Кара-Богаз-Гол, которая была разобрана в 1992 году по причине повышения уровня Каспия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Нестеров Е.С. Водный баланс и Колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз: Научно-методическое пособие / Нестеров Е.С. – М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2016 г. – Текст: непосредственный.
2. Умаров Т. Каспий перешел критическую отметку обмеления. В чем причина резкого понижения уровня воды? / Умаров Т., – Уральск, 2023. – URL: <https://cabar.asia/ru/kaspij-pereshel-kritic-heskuyu-otmetku-obmeleniya-v-chem-prichina-rezkogo-ponizheniya-urovnya-vody> (дата обращения: 23.02.2025). – Текст: электронный.
3. Каледжи В. Снижение уровня воды в Каспийском море: причины и последствия / Каледжи В. – Тегеран, 2023. – URL: <https://www.cacianalyst.org/publications/analytical-articles/item/13769-decreasing-water-levels-in-the-caspian-sea-causes-and-implications.html> (дата обращения: 21.02.2025). – Текст: электронный.
4. Каспийское море: путешествие сквозь тысячелетия. – Текст: электронный // АЗЕРТАДЖ. – Баку, 2024. – URL: https://azertag.az/ru/xeber/kaspiiskoe_more-puteshestvie-skvoz-tysyacheletiya-3133710 (дата обращения: 12.01.2025).
5. Магомедов М. Суда не могут заходить в порт: почему Каспийское море обмелело / Магомедов М. – Астрахань, 2023. – URL: <https://social.ren.tv/blog/43194412243/Korabli-ne-mogut-voyti-v-port-pochemu-Kaspiy-stal-melet> (дата обращения: 26.02.2025). – Текст: электронный.
6. Ахундов Х. Судоходство на мелеющем Каспии: вызовы и решения / Ахундов Х. – Баку, 2024. – URL: <https://caliber.az/post/sudohodstvo-na-meleyushem-kaspii-vyzovy-i-resheniya> (дата обращения: 23.02.2025). – Текст: электронный.
7. Zhigadlo M. Can the Caspian Sea Be Saved? Exploring Solutions for a Regional Challenge / Zhigadlo M. – Текст: электронный // The Caspian Post – 2025. – URL: <https://caspianpost.com/interview/can-the-caspian-sea-be-saved-exploring-solutions-for-a-regional-challenge-interview> (дата обращения: 22.02.2025).

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО
СООРУЖЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА КАСПИИ

Нефтяное месторождение находится в Мангистауской области Республики Казахстан и его западная часть расположена в пределах прибрежной зоны Каспийского моря.

В процессе продолжающейся регрессии Каспия фактическая линия уреза воды в западной части отступила от границ горного отвода месторождения более чем на 3 км.

До настоящего времени западная прибрежная зона месторождения не разрабатывалась, но в связи с открывающимися перспективами, которые в настоящее время уточняются, в ближайшей перспективе появится необходимость в создании берегоукрепительного сооружения по периметру прибрежной зоны в пределах горного отвода месторождения с замыканием (закольцеванием) с существующей дорогой для защиты границ месторождения от затопления нагонными водами Каспийского моря и защиты от вредного воздействия производства на окружающую среду (рис. 1).

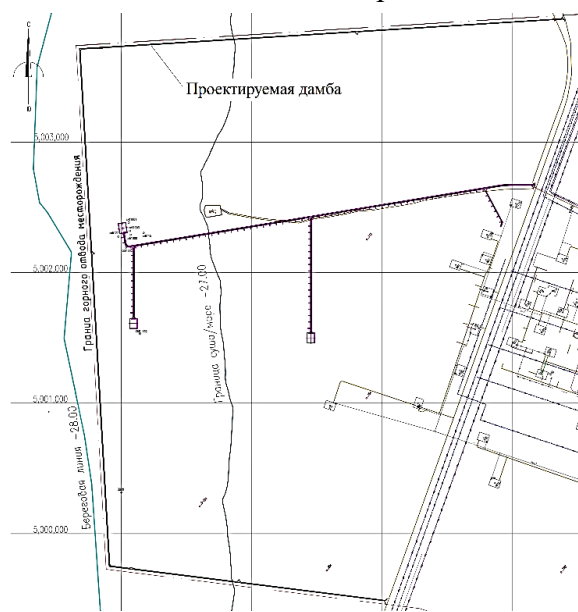


Рис. 1. Ситуационный план

Статистика сгонно-нагонных явлений в исследуемом районе Каспия, выполненная по данным морских гидрометеорологических станций З.В. Шалыга и М. Пешной за период наблюдений 1940–2022 гг., показывает, что за месяц здесь происходит в среднем 3–5 нагонов и 4–5 сгонов различной интенсивности. Поэтому 80–85 % времени береговая черта у северо-восточного побережья Северного Каспия неустойчива и практически все время мигрирует. За небольшой период времени (несколько часов) уровень может измениться на 1,5–2,5 м. Размах миграции составляет 3–5 км, в экстремальных – при сгоне величина осушки может достигать 8–12 км, а при нагоне проникновение воды – до 15 км. При сильном нагоне побережье затопляется более чем на 30 км от уреза воды [5, 6].

По данным Казгидромет среднее значение уровня моря находится около отметки минус 28,54 м, с колебаниями от минус 28,18 до 28,92 м [4]. Согласно статьи 272 п.1 Экологического Кодекса РК [1] и Постановления акимата Мангистауской области от 20 марта 2008 года № 181 Об установлении водоохранных зон и полос в городах Актау, Форт-Шевченко, селе Курык и в зоне отдыха Кендерли от 09.01.2007 г. [2] за расчетный уровень моря была принята отметка средне-многолетнего уровня моря за последнее десятилетие, равная минус 27,0 м. Согласно докладом на международной научной конференции посвященной Изменениям климата в регионе Каспийского моря от 27–28 октября 2021 г. на период прогноза с заблаговременностью от 5 до 40 лет, наиболее неблагоприятный прогноз (уровень 0,1% обеспеченности) составляет -25,84 м, а наиболее низкий уровень (99% обеспеченности) составляет -30,67 м [3].

Проектируемое защитное сооружение расположено в западной части месторождения в пределах горного отвода, в прибрежной зоне Каспийского моря. При расчете высоты насыпи учитывался не только сам подъем уровня моря, но и развивающиеся на его фоне сгонно-нагонные

явления. Во избежание перелива нагонных вод через насыпь дамбы минимальная незатопляемая отметка верха дамбы определялась по формуле:

$$\downarrow_{\text{дамбы}} = \downarrow_{\text{моря}} + h_{\text{нагона}} + h_{\text{наката}} + a,$$

где $\downarrow_{\text{моря}}$ – отметка расчетного уровня моря равна минус 27,0 м; $h_{\text{нагона}}$ – высота нагона волны равна 1,90 м; $h_{\text{наката}}$ – высота наката волны на откос равна 0,50 м; a – конструктивный запас – 0,50 м.

$$\downarrow_{\text{дамбы}} = -27,0 + 1,90 + 0,50 + 0,50 = -24,10 \text{ м.}$$

При проектировании водоохранного сооружения вблизи береговой линии и до границы суша/море на минус 27,0 горизонтали предусмотрена конструкция дамбы с укреплением откосов со стороны моря каменной наброской крупнообломочным грунтом горной массы диаметром $d = 75\text{--}100$ мм на толщину $t = 20$ см, $d = 210\text{--}250$ мм на толщину $t = 45$ см, $d = 750\text{--}900$ мм на толщину $t = 160$ см и устройством рисбермы $h = 1,2$ м для обеспечения защиты откосов насыпи от размывания и подмывания текущей водой и разрушающего воздействия волн [7–10]. Каменная наброска, благодаря простоте осуществления, надежности и долговечности защиты, является распространенным типом крепления земляных откосов дамб обвалования.

От границы суша/море на минус 27,00 горизонтали и до примыкания к автодороге для укрепления откосов применяется конструкция с матрацно-тюфячными габионами размером $4,0 \times 2,0 \times 0,5$ м и коробчатыми габионами размером $2,0 \times 2,0 \times 1,0$ м вдоль низа откоса в качестве упора. Габионные каркасы заполняются камнем горных пород $d = 210\text{--}250$ мм. Под габионы укладывается щебеночная или гравийная подготовка толщиной 20 см (табл. 1).

Таблица 1 – Технические показатели материалов защитного сооружения

Технические показатели, м ³	Объем
Камень 0,5~1,2 кг (75~100 мм)	17640,0
Камень 12~21 кг (210~250 мм)	21710,0
Камень 60–100 кг (360~420 мм)	22812,0
Камень 400–700 кг (750~900 мм)	140507,0

Защитное сооружение должно обеспечивать постоянные транспортные связи между объектами месторождения, обслуживание, проезд пожарных и аварийных машин. Покрытие дороги из песчано-гравийной смеси. Согласно СП РК 3.04-101-2013 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования» [8], защитные сооружения высотой до 5 м относятся к IV классу, но, учитывая, что защищаемая территория промышленная по добыче нефти и последствия затопления могут привести к катастрофе, класс сооружения повышается до III. Основные технические параметры защитного сооружения:

- количество полос движения – 1 шт.;
- ширина земляного полотна – 6,5 м,
- общая ширина земляного полотна с учетом укрепления откосов вблизи моря – 11,5 м;
- общая ширина земляного полотна с учетом укрепления откосов – 8,0 м;
- ширина проезжей части – 6,5 м, поперечный уклон при двускатном профиле – 35%;
- ширина обочин – 1,0 м, поперечный уклон – 50%.

Дамба проходит по равнинной, спокойной местности с уклоном в сторону моря. В высотном отношении дамба запроектирована продольным профилем по оси проезжей части с соблюдением условий обеспечения расчетной скорости 30 км/ч, необходимой видимости встречного автомобиля и поверхности дамбы. Проектная линия с отметкой минус 23,97 назначена с учетом расчетного уровня моря и воздействия сгонно-нагонных явлений и увязана с насыпью примыканий.

Для отсыпки насыпи используют грунт карьера. Минимальный требуемый коэффициент уплотнения насыпи – 0,95. Для защиты земляного полотна подъездов в сложных грунтово-гидрологических условиях (воздействие на насыпь сгонно-нагонных явлений, близкое

залегание грунтовых вод) в проекте предусмотрены двойная защитно-армирующая прослойка в основании насыпи, состоящая из геосетки и геотекстиля и укрепление откосов насыпи геотекстилем с каменной наброской [7–10].

На рис. 1 представлены конструктивные разрезы дамбы. Тип I принимается вблизи береговой линии до границы суша/море на горизонтали -27.00, где вероятность подтопления наиболее высока.

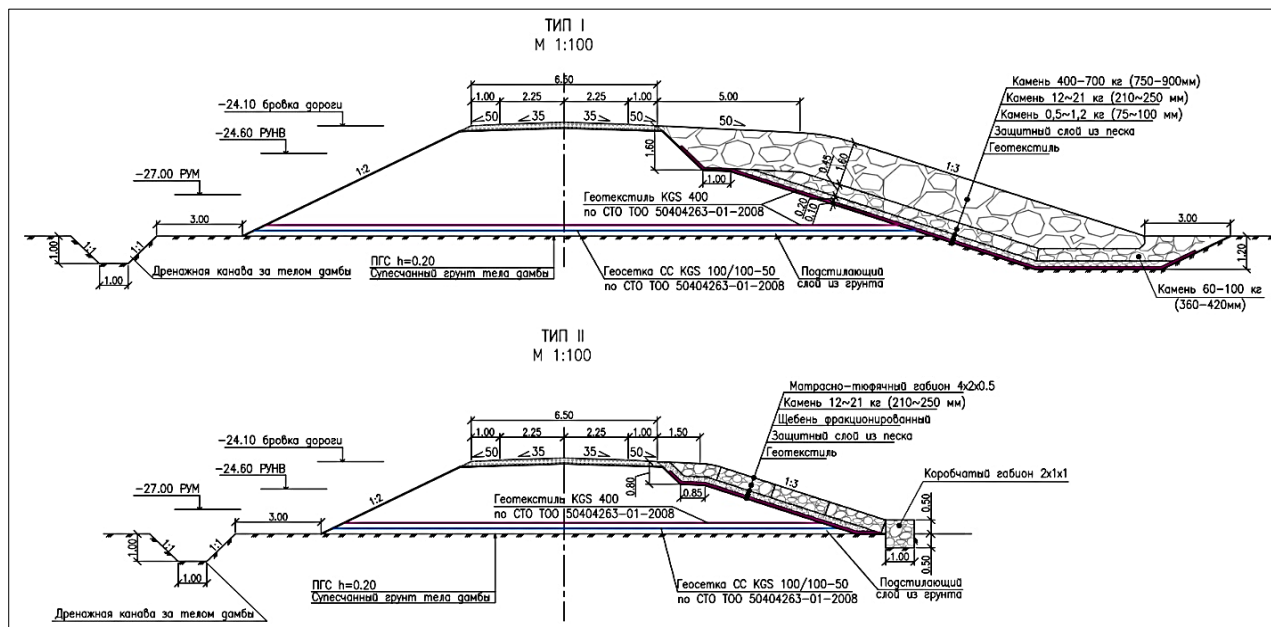


Рис. 2. Конструктивные разрезы

Выводы. Предложенная конструкция обоснована расчетами, выполненными в соответствии с нормативными документами РК и должна обеспечить безопасную эксплуатацию объекта с учетом внешних нагрузок и предполагаемого изменения уровня воды в Каспийском море. Особенность строительных решений в данной работе заключаются в использовании габионных конструкций, которые являются одним из высокоэффективных и универсальных способов укрепления откосов, усиления, стабилизации и защиты эксплуатируемого земляного полотна. Эффективность габионных конструкций со временем только возрастает.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Экологический кодекс Республики Казахстан;
2. Об установлении водоохранных зон и полос в городах Актау, Форт-Шевченко, селе Курык и в зоне отдыха Кендерли от 20.03.08 г. Постановление акимата Мангистауской области № 181 от 09.01.2007;
3. Материалы Международной научной конференции «Изменение климата в регионе Каспийского моря». Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., 2022. – 262 с.;
4. Данные о состоянии Каспийского моря с сайта «Казгидромет» <https://www.kazhydromet.kz/ru/kaspiyskoe-more/ezhenedelnyy-obzor-sostoyaniya-poverhnosti-kaspiyskogo-morya>;
5. Расчет тренда многолетних изменений среднего уровня Каспийского моря на период с 2022 по 2032 гг. Отчет о научно-исследовательской работе, Астрахань, 2022 г.;
6. Нестеров Е.С. Водный баланс и Колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз: Научно-методическое пособие. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2016 г.
7. СН РК 2.03-02-2012, СП РК 2.03-102-2012. Инженерная защита в зонах затопления и подтопления;
8. СН РК 3.04-01-2018, СП РК 3.04-101-2013. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования;
9. СП РК 3.04-105-2014 Плотины из грунтовых материалов;
10. СП РК 3.04-107-2014 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).

АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЕ
СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ТИПОВ ПРИЧАЛОВ

Причалы играют ключевую роль в развитии портовой инфраструктуры и торговли в целом. Они служат не только местом для стоянки, но и важным элементом, способствующим логистике, экономическому росту и туристической привлекательности региона. Разнообразие конструкций причалов, от традиционных деревянных до современных бетонных и железобетонных конструкций, позволяет учитывать различные условия эксплуатации и требования к функциональности территории. С учетом постоянного роста объемов морского трафика выбор наиболее экономически эффективного и технически целесообразного типа причала становится все более актуальным [1].

Основными критериями, определяющими конструктивный вид причала, являются: длина сооружения, отметка дна, отметка кордона, эксплуатационные нагрузки, габариты расчетного судна, геологическое строение грунтов основания [1–4].

В работе выполнено сопоставление различных вариантов сооружения. Принятые исходные данные для подбора вариантов конструкций причалов и их сравнения: длина секции причала – 30 м, отметка дна минус 16.00 м, отметка кордона плюс 4.00 м, наличие порталного крана, грунты – морской песок, суглинки, скальный грунт.

Руководствуясь табл. 5.1 СП 2871325800.2016 [3], предложены три варианта конструкции:

1. Экранированный больверк. Лицевой ряд из шпунта Ларсен 5-УМ сталь 345, погруженного до отметки минус 26,000 м. Экранирующий ряд выполнен из стальных труб диаметром 1020×12 сталь С245, погруженных до отметки минус 28,000 м с шагом 2,024 м вдоль линии кордона причала. Лицевая стенка заанкерована стальными анкерными тягами диаметром 95 мм сталь 295 за анкерную стенку из стальных труб диаметром 1020×12 сталь С245, погруженных до отметки минус 13,000 м с шагом 2,024 м. На расстоянии 10,50 м от оси свай экранирующего ряда погружаются сваи из стальных труб диаметром 1020×12 сталь С245 до отметки минус 28,000 м в основание тыловой подкрановой балки. Шаг свай 6,072 м вдоль линии кордона. На рисунке 1, *а* представлена схема данного варианта причала.
2. Заанкеренный больверк. Лицевая стенка из трубошпунта диаметром 1020×12 сталь К55 и замкового профиля. Шаг труб 1,20 м вдоль линии кордона, отметка погружения минус 28,000 м. Лицевая стенка заанкерована стальными анкерными тягами диаметром 110 мм сталь 355 за анкерную стенку из стальных труб диаметром 1020×12 сталь С245, погруженных до отметки минус 13,000 м с шагом 2,40 м. На расстоянии 10,50 м от оси прикордонной подкрановой балки погружаются сваи из стальных труб диаметром 1020×12 сталь С245 до отметки минус 28,000 м в основание тыловой подкрановой балки. Шаг свай 4,80 м вдоль линии кордона. На рисунке 1, *б* представлена схема заанкеренного больверка.
3. Эстакада. Причал пяти рядах свай из стальных труб диаметром 1220×14 сталь К56, погруженных до отметки минус 32,000 м. Первый, третий и пятый ряд свай погружены вертикально, второй и четвертый – с уклоном 4:1 в противоположные стороны. Шаг свай вдоль линии кордона причала составляет 5,25 м. В поперечном направлении шаг свай 5,25 м, 6,00 м, 7,50 м. На рисунке 1, *в* представлена схема эстакадного сооружения. Граница подсчета объемов работ 38,0 м.

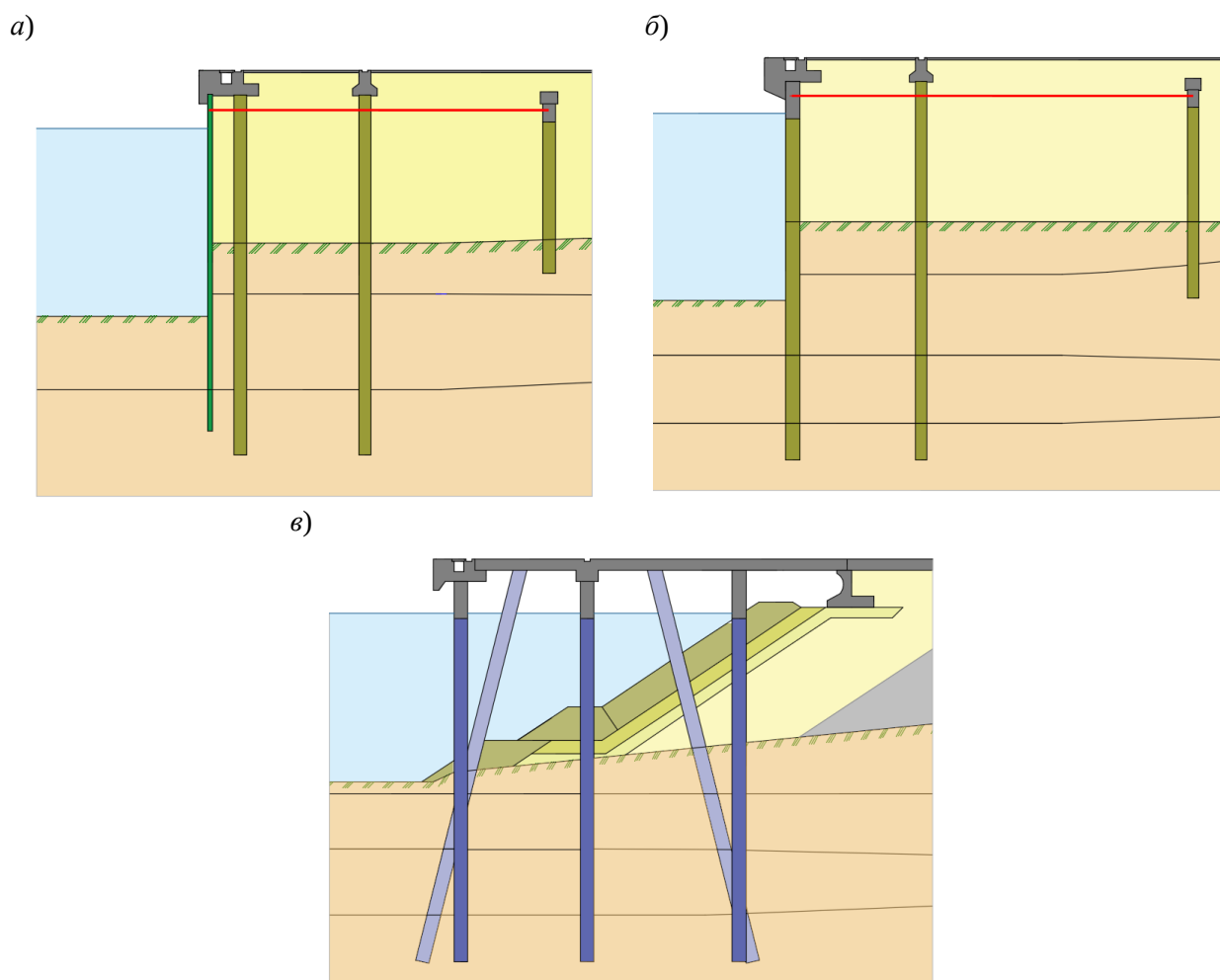


Рис. 1. Разрезы причала: а – заанкеренный экранированный больверк, б – заанкеренный больверк без экранирования, в – эстакада

При сопоставлении вариантов конструкций сравнивается большое число показателей, основными из которых являются объем используемых строительных материалов; их доступность и близость относительно места производства работ; затраченное время на работу [5, 6].

В таблице 1 представлено сравнение используемого объема материалов для каждого из вариантов конструкции причала.

Таблица 1 – Объем материалов для конструкций причала

Наименование материала	Экранированный больверк	Заанкеренный больверк	Эстакада
Сталь для шпунта, трубошпунта, свай, т	449,11	316,81	406,73
Бетон для железобетонной надстройки и заполнения полости свай, м ³	594,30	809,10	1936,20
Антикоррозионное покрытие стальных элементов, м ²	1048,14	1440,00	1808,80
Объем засыпки сооружения, м ³	15466,80	15668,40	9504,00

При сравнении трех представленных вариантов очевидно, что более технологичной и менее трудоемкой при возведении является конструкция типа больверк по вариантам 1 и 2. Если сравнивать стоимость материалов, то у больверков грунт засыпается в тело сооружения и представляет собой песок не ниже мелкого, а у конструкции эстакадного типа необходимо укреплять дно перед сооружением щебнем и валунами разного диаметра.

Помимо учета сравнения объемов основных строительных материалов трех предложенных конструкций, при выборе оптимального варианта необходимо также обращать внимание и на другие существенные факторы. Как видно из табл. 1 конструкция эстакады выигрывает по объему металла, но при этом значительно увеличивается площадь антикоррозионного покрытия свайных элементов [7]. Также для эстакады обязательна организация подпричального откоса и его сопряжения с территорией, что приводит к большому количеству работ по укладке под воду каменных массивов. Такие работы необходимо производить после дноуглубления, но перед возведением верхнего строения эстакады.

Выводы.

Проведенный анализ конструктивных решений показал, что при заданных исходных данных с глубиной у причала равной 16 м, самой дешевой является конструкция заанкеренного больверка – с экранированием или без него. При экранировании используется шпунт Ларсен 5-УМ, а при его отсутствии – трубошпунт Ø1020×12. Для окончательного выбора конструкции существенным является решение вопросов, связанных с наличием у строительной организации соответствующей сваебойной и другой строительной техники, опыта возведения аналогичных сооружений, типов конструкций прилегающих сооружений и т.п.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния;
2. РД 31.31.55-93. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений;
3. СП 287.1325800.2016. Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства;
4. Беляев Н.Д., Миронов М.Е. Морские гидротехнические сооружения. Основы, содержание и методика курсового проектирования. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014.
5. Вилькевич В.В., Вилькевич Е.В., Беляев Н.Д. Особенности оценки состояния причальных сооружений на свайном основании с передней шпунтовой стенкой. Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2004. Т. 243. С. 123–130.
6. Пучков А.Л., Беляев Н.Д. Основные виды повреждений глубоководной достроечной набережной ОАО «Адмиралтейские верфи». XL Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 16–17.
7. Колгушкин А.В., Беляев Н.Д. Об учете коррозии при проектировании сквозных металлических ГТС. Предотвращение аварий зданий и сооружений. Магнитогорск, 2007. С. 159–168.

УДК 627.335.2

А.А. Губанова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОГРАММЫ PLAXIS

Целью работы является анализ и оценка устойчивости проектируемого причального сооружения с использованием программы PLAXIS, а также подтверждение его надежности и соответствия установленным стандартам безопасности [1–4].

Актуальность – в современных нормативных документах расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) и устойчивости системы «сооружение – основание» рекомендуется выполнять путем применения современных численных методов механики сплошной среды с учетом реальных свойств материалов и грунтов оснований, реализуемых в соответствующих упругопластических и нелинейных моделях.

При определении устойчивости сооружения, выполняемом в программе PLAXIS, с учетом требований [5] коэффициент условий работы принимается $\gamma_c = 1$. Это приводит к увеличению значений минимально допустимых коэффициентов устойчивости, и, как следствие, ведет к повышению надежности проектируемого сооружения. Коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый для III класса $\gamma_n = 1,15$. Коэффициент сочетаний нагрузок, принимаемый в соответствии с [6] $\gamma_k = 1,0$. В итоге минимальный коэффициент запаса устойчивости $K_{уст}$ при расчете в программе PLAXIS для основного сочетания нагрузок находится по формуле (1).

$$K_{уст} = \frac{\gamma_k \gamma_n}{\gamma_c} = \frac{1,00 \cdot 1,15}{1,00} = 1,15. \quad (1)$$

Также горизонтальное смещение кордона заанкеренного больверка на должно превышать предельной допустимой величины, равной 80 мм [7].

Расчетные нагрузки приведены в таблице 1.

Коэффициент надежности по нагрузке при расчетах сооружений по первой группе предельных состояний, принимаемый согласно [6].

Таблица 1 – Расчетные нагрузки

Обозначение	Вид, величина нагрузки	γ_f	Примечание
	Постоянные		
<i>L1</i>	Собственный вес элементов сооружения, вес грунта, воды	1,00	Так как использование повышающего значения $\gamma_f = 1,05$ или понижающего – 0,95 [6] может привести к искусственному улучшению результатов расчета
	Временные		
	<i>а) длительного действия</i>		
<i>L2</i>	Эксплуатационная нагрузка от складированных грузов. Нормативная величина нагрузки составляет $q = 19,6 \text{ кН/м}^2$	1,20	Коэффициент надежности по нагрузке принят по [8]
	<i>б) кратковременного действия</i>		
<i>L3</i>	Швартовная от тумбы на усилие 16 тс с шагом 23 м $R = 1,2 \cdot 9,81 \cdot \frac{16}{23} = 8,18 \approx 8,2 \text{ кН/м}$	1,20	

При расчетах в программе PLAXIS используются нормативные значения деформационных и расчетные значения прочностных характеристик грунтов [5].

В таблице 2 представлены физико-механические характеристики грунтов.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики грунтов

Номенклатурное наименование грунта	Удельный вес грунта естественной влажности γ , кН/м ³	Удельный вес водонасыщенного грунта γ , кН/м ³	Модуль деформации E , $\cdot 10^3$ кН/м ²	Коэффициент Пуассона ν	Расчётное сцепление c , кН/м ²	Расчётный угол внутреннего трения ϕ , град	Угол дилатансии ψ , град
ИГЭ 2 Суглинки тяжелые, пылеватые, текучие	19,52	20,04	4	0,35	6	10	0
ИГЭ 3 Суглинки тяжелые, пылеватые, текучепластичные	19,60	20,14	6	0,35	9	13	0
ИГЭ 4 Моренные супеси пластичные и суглинки мягкопластичные	19,10	19,50	10	0,33	9	18	0
ИГЭ 5 Крупнозернистый песок	19,43	19,61	19,4	0,3	1	33	4
ИГЭ 6 Глины легкие, пылеватые, полутвердые и твердые	21,87	22,07	25	0,32	45	23	0
ИГЭ 7 Насыпной грунт: песок с включением щебня, гравия, валунов	16,38	18,62	20	0,3	-	31,5	0

Характеристики элементов, заданные в PLAXIS 2D приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики элементов расчетной модели PLAXIS 2D

Элемент	Тип элемента	Продольная жесткость, EA , кН/м	Изгибная жесткость, EI , кН·м ² /м	Удельный вес, w , кН/м/м	Коэффициент Пуассона ν
Существующая лицевая стенка (Л5)	<i>plate</i>	$3,740 \cdot 10^6$	$63,0 \cdot 10^3$	2,3	0,15
Лицевая стенка (Л5-УМ)	<i>plate</i>	$5,970 \cdot 10^6$	$157,4 \cdot 10^3$	2,2	0,15
Анкерная стенка (Л5-УМ)	<i>plate</i>	$5,970 \cdot 10^6$	$157,4 \cdot 10^3$	2,2	0,15
Анкерная тяга Ø85	<i>node to node anchor</i>	$1,190 \cdot 10^6$	-	-	-

Вокруг конструкций, моделируемых элементами типа *plate*, задаются специальные контактные элементы – интерфейсы, используемые для корректного учета взаимодействия между грунтом и сооружением. Прочность интерфейсов принята: для взаимодействия песчаный грунт/металл $R_{inter} \approx 0,60 \dots 0,70$ (при расчетах принимается значение 0,65); для взаимодействия глинистый грунт/металл $R_{inter} \approx 0,50$.

Основные результаты расчета НДС приведены в таблице 4 и представлены в графическом виде на рис. 1 и 2.

В таблице 4 используются следующие обозначения: M – изгибающий момент в лицевой стенке; N – продольное усилие в лицевой стенке; Q – усилие в анкере; Δ – перемещение верха стенки (расчет по II группе предельных состояний); $K_{уст}$ – коэффициент общей устойчивости сооружения.

Таблица 4 – Основные результаты расчета НДС

Отметка низа лицевой стенки	M , кНм/м	N , кН/м	Q , кН	Δ , мм	$K_{уст}$
-12,500	282	-118	293	78	1,514

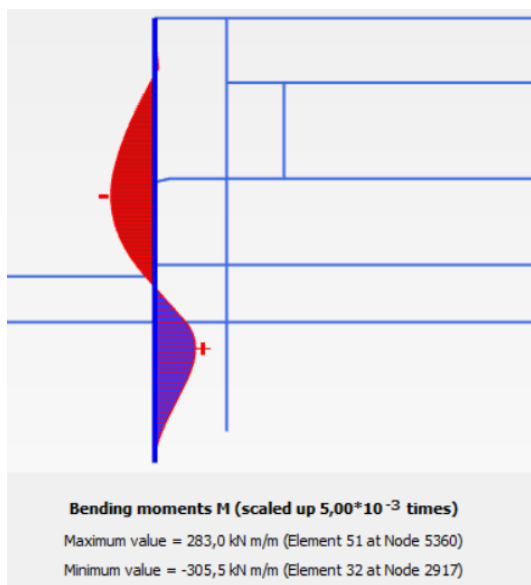


Рис. 1. Эпюра изгибающего момента в
лицевой стенке

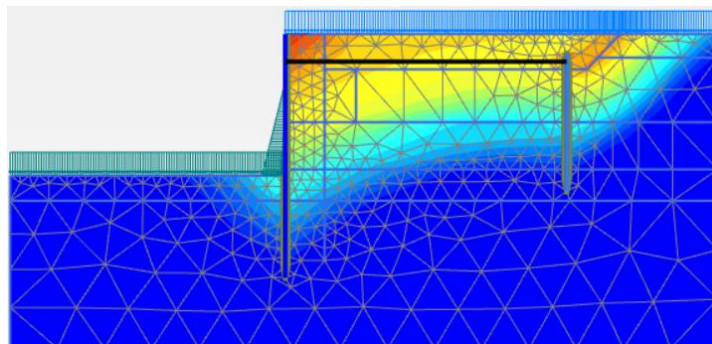


Рис. 2. Механизм разрушения грунта

Выводы:

1. Коэффициент запаса устойчивости, составивший 1,514, значительно превышает минимально допустимый 1,15, что свидетельствует о надежности конструкции;
2. Горизонтальное смещение кордона, не превышающее 80 мм, соответствует предельным значениям и соответствует расчетам по II группе предельных состояний;
3. По первым двум пунктам приняты отметки заглубления: для лицевой стенки – минус 12,500; для анкерной стенки – минус 7,000.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Олехнович Я.А., Ялышев А.И. Анализ дефектов причальных и берегоукрепительных сооружений по результатам обследований 2013 г. XLII Неделя науки СПбГПУ. Материалы НПК. НОЦ ВИЭ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. С. 85–88.
2. Малеванов К.А., Беляев Н.Д. Характерные повреждения причалов типа «больверк» и мероприятия по их устранению. Ч. I. Материалы межвузовской конференции. XXXII Неделя науки СПбГПУ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. С. 17–19.
3. Малеванов К.А., Шхинек К.Н., Беляев Н.Д. Сравнительный анализ технического состояния морских гидротехнических сооружений за пятилетний период эксплуатации. XXXIV неделя науки СПбГПУ. Материалы Всероссийской межвузовской НТК. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С. 3–4.
4. Пучков А.Л., Беляев Н.Д. Основные виды повреждений глубоководной достроечной набережной ОАО «Адмиралтейские верфи». XL Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной НПК. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 16–17.
5. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений (Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85).
6. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения (Актуализированная редакция. СНиП 33-01-2003).
7. РД 31.35.10-86. Правила технической эксплуатации портовых сооружений и акваторий.
8. РД 31.31.55-93. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАГРУЗОК
НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ КОНСОЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СТЕН

Актуальность работы. В связи с быстрым развитием городов устройство котлованов часто проводится в условиях плотной застройки, перегруженной строительными конструкциями и инженерными коммуникациями. Поверхностные нагрузки от соседних зданий и сооружений могут вызывать деформацию и перемещение грунта вокруг котлована, что приводит к потере устойчивости или деформации конструкции [1]. Исследование влияния поверхностных нагрузок на ограждающие конструкции котлована помогает разработать подходящие проектные и строительные решения, обеспечивающие безопасность и устойчивость конструкции. В последнее время методы численного анализа, модельные эксперименты и полевые наблюдения часто используются для моделирования и оценки воздействия поверхностных нагрузок на ограждающие конструкции [2, 3]. Аналитические методы исследования воздействия дополнительной нагрузки от соседних построек на шпунтовые стены пока ограничены.

В статье представлен метод расчета, основанный на теории предельного равновесия [4]. Метод предназначен для оценки влияния расстояния равномерной поверхностной нагрузки от консольной шпунтовой стенки на необходимую глубину погружения и изгибающий момент в стене. Результаты этого исследования могут быть применены для устройства котлованов на строительных площадках, где присутствует дополнительная нагрузка в виде зданий, транспортных средств и других строительных конструкций. Результаты показывают, что присутствие поверхностной нагрузки существенно влияет на устойчивость шпунтовой стены, и по мере увеличения расстояния дополнительной нагрузки этот эффект постепенно уменьшается. Когда это расстояние превышает вдвое глубину выемки, эффект становится незначительным.

Цель работы. Выявление влияния расстояния от стены до места приложения равномерной поверхностной нагрузки на необходимую глубину погружения и максимальный изгибающий момент консольных шпунтовых стен.

Постановки задачи исследований. Устойчивость шпунтовой стены незаанкерованного типа обеспечивается защемлением в основание участка стены ниже дна котлована. Под действием бокового давления грунта на консольной части стенка изгибается и поворачивается относительно некоторой точки, лежащей на глубине h_0 от поверхности грунта. В данной работе активное и пассивное давление грунта и давление от поверхностной нагрузки, действующие на часть шпунтовой стены ниже точки поворота, не игнорируются, как в традиционных методах, а учитываются. На любом уровне основания сумма давлений грунта (рис. 1,а) и дополнительного давления поверхностной нагрузки (рис. 1,б), действующих с обеих сторон шпунтовой стенки выше расчетного сечения, заглубленного относительно поверхности грунтового массива на глубину h можно записать как функцию $p(h)$. Функция (1) – сумма бокового давлений грунта и поверхностной нагрузки на консольную шпунтовую стену, ограждающую котлован высотой h_k на однородном основании с прочностными характеристиками грунта: удельный вес $\gamma_{тр}$, сцепление c и угол внутреннего трения φ , коэффициент активного и пассивного давления k_a, k_p определяются по формуле (2) [5].

$$p(h) = \begin{cases} 0, & h \in [0; h_t], \\ \gamma_{\text{гр}} k_a h - 2c\sqrt{k_a} + e_q, & h \in [h_t; h_k], \\ \gamma_{\text{гр}} (k_a - k_p) h + \gamma_{\text{гр}} h_k k_p - 2c(\sqrt{k_a} + \sqrt{k_p}) + e_q, & h \in [h_k; h_o], \\ \gamma_{\text{гр}} (k_p - k_a) h + \gamma_{\text{гр}} h_k k_p + 2c(\sqrt{k_a} + \sqrt{k_p}) + e_q, & h \in [h_o; h_c] \end{cases} \quad (1)$$

$$k_a = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right); k_p = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (2)$$

где $h_t = \frac{2c}{\gamma_{\text{гр}} \sqrt{k_a}}$ – высота свободно стоящего вертикального откоса из связного грунта; e_q – дополнительное боковое давление нагрузки, передающее от поверхностной нагрузки q шириной a , на расстояние L от стены, определяется по формуле (3) [5].

$$e_q = k_a \frac{a}{a + 2L} q. \quad (3)$$

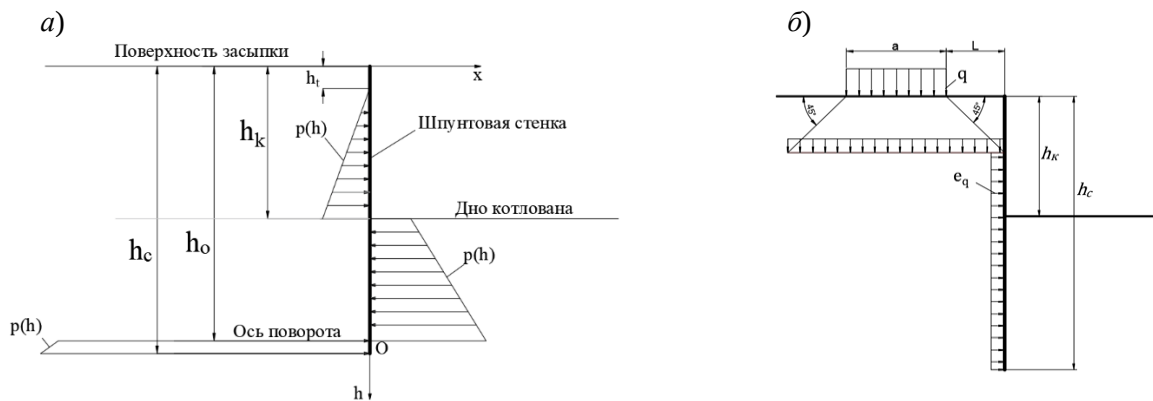


Рис. 1. Расчетная схема шпунтового ограждения:

a – схема к определению бокового давления грунта на стенку, b – схема к определению дополнительного давления на стенку от поверхностной нагрузки

Глубина погружения стены h_c и положение точки поворота h_o определяются из одновременного равновесия горизонтальной силы и момента вокруг оси поворота, то есть достигаются нулевые значения поперечной силы и изгибающего момента в нижней кромке сваи. Представленные два уравнения равновесия (4) решаются с помощью программирования в программе Matlab.

$$Q(h_c) = \int_0^{h_c} p(h) dh = 0; M(h_c) = \int_0^{h_c} Q(h) dh = 0. \quad (4)$$

Результаты исследований. На рис. 2 показан график зависимости отношения требуемого заглубления шпунтовой стенки к глубине котлована от поверхностной нагрузки при различных ее расстояниях до котлована. Расчеты проведены при следующих данных: $h_k = 5$ м, $\gamma_{\text{гр}} = 18 \text{ кН/м}^3$ и расчетные значения $c = 10 \text{ кН/м}^2$; $\varphi = 20^\circ$, нормативный коэффициент запаса $K_z = 1,5$. На рис. 3 представлен график зависимости максимального значения изгибающего момента в стенке от действия поверхностной нагрузки при различных расстояниях L от шпунтовой стенки. При действии поверхностной нагрузки с интенсивностью $q = 100 \text{ кН/м}^2$ на расстоянии $0,5h_k$ от котлована, требуемая глубина погружения шпунтовой стенки увеличивается на 53,8% и максимальный изгибающий момент увеличивается на 382% по сравнению со случаем расчета при отсутствии поверхностной нагрузки.

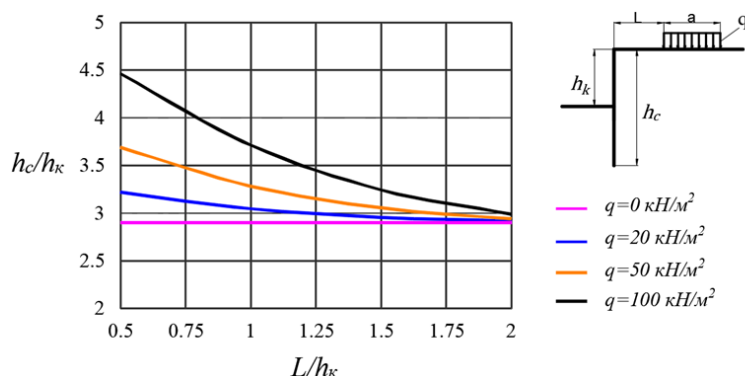


Рис. 2. График зависимости требуемого заглубления шпунтовой стенки от q при различных L

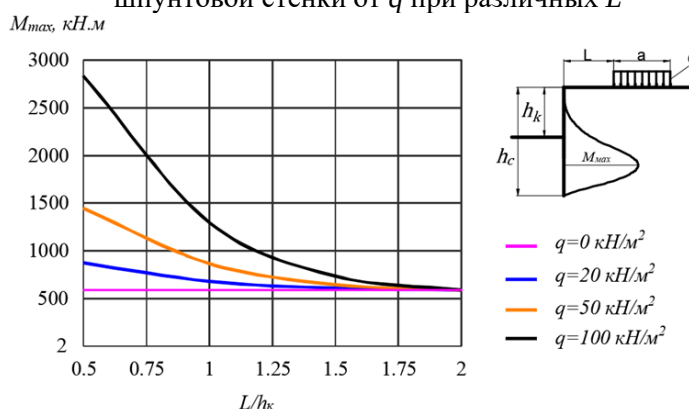


Рис. 3. График зависимости максимального изгибающего момента в стенке от действия q при различных расстояниях L

Вывод. Результаты исследования показывают, что интенсивность поверхностной нагрузки и ее расстояние до строительного котлована оказывают значительное влияние на требуемую глубину погружения шпунта и максимальный изгибающий момент в стенке. При увеличении расстояния приложения поверхностной нагрузки от верха стены, требуемая глубина погружения стенки и максимальный изгибающий момент в стенке уменьшаются. Однако, за пределом $2h_k$, присутствие поверхностной нагрузки практически не влияет на эти значения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аль-Хафаджи, Р.С. Влияние местоположения дополнительной нагрузки на поведение консольной подпорной стенки/ Аль-Хафаджи, Р.С., Аль-Обайди, М.А., & Аль-Саффар, К.Н // Журнал механического поведения материалов, 2023, 32(1), 20220247.
2. Аль-Джуари, К.А. Экспериментальное и численное моделирование подвижной подпорной стенки в набухающем грунте/ Аль-Джуари, К.А., Фаттах, М.Я., Хаттаб, С.И., & Аль-Шамам, М.К. // Геомеханика и геоинженерия, 2022, 16(2), С.116–132.
3. Богомолов А.Н. Сравнение результатов расчета величины активного давления на ограждение котлована, вызванного собственным весом грунта и равномерно нагрузкой/ А.Н. Богомолов, А.С. Иванов, О.А. Богомолова, А.В. Прокопенко // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч 2. Строительные науки, С.233–239.
4. Бухарцев В.Н. Определение заглубления шпунтовых стен в условиях обводненных грунтов/ В.Н. Бухарцев, Т.Т. Данг // Гидротехническое Строительство, 2020, №7, С. 23–27.
5. СП 381.1325800.2018. Свод правил. Сооружения подпорные. Правила проектирования.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧЕЙ СВАИ ПО СП 24.13330.2021 ВРУЧНУЮ И В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD

В современном строительстве точность и надежность расчетов играют ключевую роль в обеспечении безопасности и долговечности конструкций. Одними из наиболее распространенных подходов к осуществлению расчетов являются:

- использование сводов правил проектирования (далее – СП)
- специализированных программных комплексов, таких как SCAD.

В данной статье представлен сравнительный анализ расчетов, выполненных согласно методам, изложенным в СП, и результатов, полученных с помощью программного комплекса SCAD.

Целью исследования является выявление сильных и слабых сторон обоих методов, а также различий в полученных значениях несущей способности сваи по грунту. Особое внимание уделено анализу точности расчетов, удобству использования программного обеспечения и возможностям автоматизации проектирования [1–5].

На основании рекомендаций СП 24.13330.2021 [6] был проведен расчет несущей способности забивной висячей сваи, работающей на вертикальную нагрузку F_d и работающей на выдергивающую нагрузку F_{du} (козловые сваи – рис. 1). В таблице 1 приведены основные расчетные характеристики. В таблице 2 приведены расчетные характеристики грунтов для передней козловой сваи.

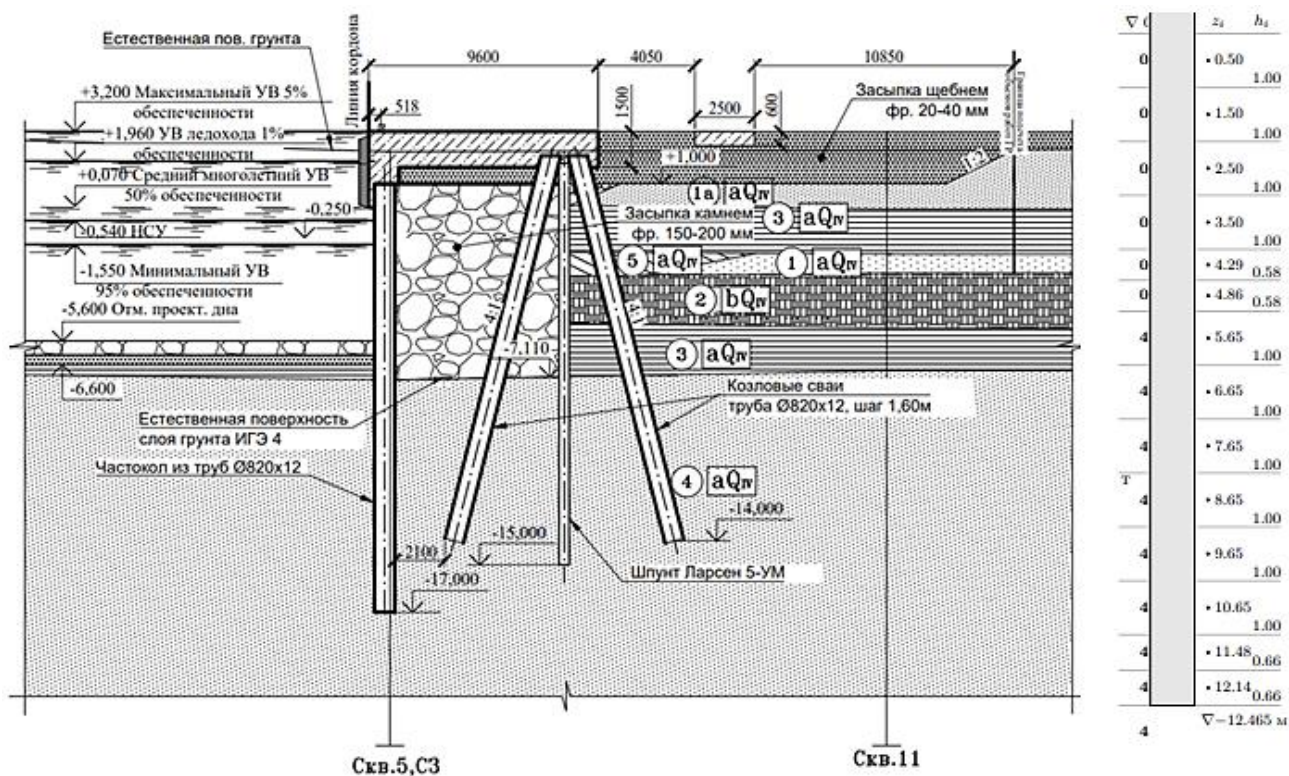


Рис. 1. Конструкция сооружения и расчётная схема для передней козловой сваи

Таблица 1

Характеристика	Свая 820×12	
	F_d (вдавливающее усилие)	F_{du} (выдергивающее усилие)
Длина свай, м	16,7	
Максимальная продольная сила $N_{\max}$, Т	35,3	18,37
Коэффициент условий работы свай γ_c	1,0	0,8
Коэффициент условий работы грунта γ_{cR}	1,0	1,0
Коэффициент надежности по грунту γ_k	1,4	1,4
Коэффициент надежности по назначению γ_n	1,15	1,15
Коэффициент условий работы, учитывающий количество свай в фундаменте γ_0	1,0	1,0
Глубина погружения нижнего конца свай H , м (для ПК SCAD)	12,465	14,95
Глубина котлована h_k , м (для ПК SCAD)	0	0

Таблица 2

N п/п	Наименование	Толщина слоя, м	Тип грунта	Разновидность песка	Удельный вес, кН/м³	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент пористости	Коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности γ_{cf}
1	Засыпка	5,15*	Песчаный	Гравелистый	18	42	0,5	1,0
2	Песок пылеватый	20	Песчаный	Мелкий	20, 21	32	0,64	1,0

* В соответствии с Примечанием к таблице 7.2 СП 24.13330.2021 среднюю глубину расположения слоя грунта следует принимать на 3 м ниже уровня подсыпки

Несущую способность F_d , кН, висячей забивной свай, работающей на вдавливающую нагрузку, следует определять как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом свай и на ее боковой поверхности из п. 7.2.4 СП 24.13330.2021 [6] по формуле (7.9) [6]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{R,R} R A + u \sum \gamma_{R,f} f_i h_i),$$

где γ_c – коэффициент условий работы свай в грунте, принимаемый равным 1,0; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности свай, кПа, принимаемое по таблице 7.3 [6]; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью свай, м; $\gamma_{R,R}$, $\gamma_{R,f}$ – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности свай, учитывающие влияние способа погружения свай на расчетные сопротивления грунта и принимаемые по таблице 7.4 [6]; A – площадь опирания на грунт свай, м², принимаемая по площади поперечного сечения свай брутто или по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади свай-оболочки нетто:

$$A = \pi(D - d)^2/4 = 3,14(0,820 - 0,796)^2/4 = 0,0304 \text{ м}^2;$$

u – наружный периметр поперечного сечения ствола свай, м:

$$u = \pi d = 3,14 \cdot 0,82 = 2,58 \text{ м};$$

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай, кПа, принимаемое по таблице 7.2 [6]:

$$R = 274,8 \cdot 1,000 = 274,8 \text{ Т/м}^2.$$

В качестве грунта под острием свай принят пылеватый песок.

Расчетное сопротивление на боковой поверхности свай определяется на основании данных табл. 7.3 [6] и суммируется по длине свай:

$$\Sigma f_i h_i \gamma_c f = (3,150 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (3,850 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (4,500 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + \\ + (5,050 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (5,386 \cdot 1,0)0,58 \cdot 1,0 + (5,559 \cdot 1,0)0,58 \cdot 1,0 + \\ + (4,130 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (4,265 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (4,365 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + \\ + (4,465 \cdot 1,0)1,001,0 + (4,565 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + (4,665 \cdot 1,0)1,00 \cdot 1,0 + \\ + (4,748 \cdot 1,0)0,66 \cdot 1,0 + (4,814 \cdot 1,0)0,66 \cdot 1,0 = 55,59 \text{ т/м.}$$

Тогда несущая способность сваи на сжимающую нагрузку:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{R,R} R_A + u \Sigma \gamma_{R,f} f_i h_i) = 1,00 (1,00 \cdot 274,8 + 0,0304 + 2,58 \cdot 55,59) = 151,8 \text{ т.}$$

На основании п.7.1.11 СП 24.13330.2021 [6] проведем проверку несущей способности сваи:

$$N = 35,3 \text{ т} \leq \frac{\gamma_0 F_d}{\gamma_n \gamma_k} = \frac{1,00 \cdot 151,8}{1,15 \cdot 1,4} = 94,3 \text{ т.}$$

Требование п. 7.1.11 СП 24.13330.2021 выполняется. Несущая способность обеспечена.

Аналогично были проведены расчеты для второй сваи и в программном комплексе SCAD, результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3

Вид расчета	Способ расчета	
	СП 24.13330.2021	SCAD
Расчет несущей способности забивной висячей сваи, работающей на вертикальную нагрузку F_d , т	151,8	156,4
Расчет несущей способности забивной висячей сваи, работающей на выдергивающую нагрузку F_{du} , т	96,7	99,4

В соответствии с данными табл. 3, расчетная несущая способность забивной висячей сваи, вычисленная в программном комплексе SCAD выше, чем при расчете по методике из СП 24.13330.2021 [6] вручную.

Выводы

Методика расчета забивной висячей сваи из СП 24.13330.2021 представляет собой комплексный подход, который объединяет геологические исследования, расчеты несущей способности и проверку прочности, что позволяет обеспечить надежность и безопасность свайных конструкций.

Осуществление расчетов строго в соответствии с рекомендациями СП 24.13330.2021 позволяет снизить риски, связанные с недооценкой несущей способности свай, и повысить уверенность в долговечности и надежности конструкций.

Проведённые поверочные расчёты с использованием двух вышеупомянутых способов расчёта несущей способности сваи по грунту показывают высокую сходимость результатов. Данный факт свидетельствует о правильности выполненного расчета вручную и корректном методе задания исходных данных в программном комплексе SCAD.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Веселов В.А. Проектирование оснований и фундаментов. Основы теории и примеры расчета): учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990.
2. Зигельман Г.Г., Козаков Ю.Н. Пути повышения эффективности свайных фундаментов: Промышленное строительство, 1980.
3. Козаков Ю.Н., Шишканов Г.Ф., Буланкин Н.Ф. Уточнение параметров для расчета забивных свай в глинистых грунтах. Красноярский Промстройинипроект, 1979.
4. Смородинов М.И., Егоров А.И., Губанов Е.М. Свайные работы. Справочник строителя. 2-е изд. Испр. М.: Стройиздат, 1988.
5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++: Изд-во Москва, 2017.
6. СП 24.13330.2021. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты: Стандаринформ, 2021

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИЧАЛА

Цель работы: обоснование выбора диаметров анкерных тяг и свай-оболочек на основе прочностных характеристик материалов с анализом влияния на прочность конструкций различных факторов, таких как коррозионный износ и сочетание нагрузок.

Рассматривается конструкция в виде заанкеренного больверка с лицевой стенкой из трубошпунта (рис. 1).

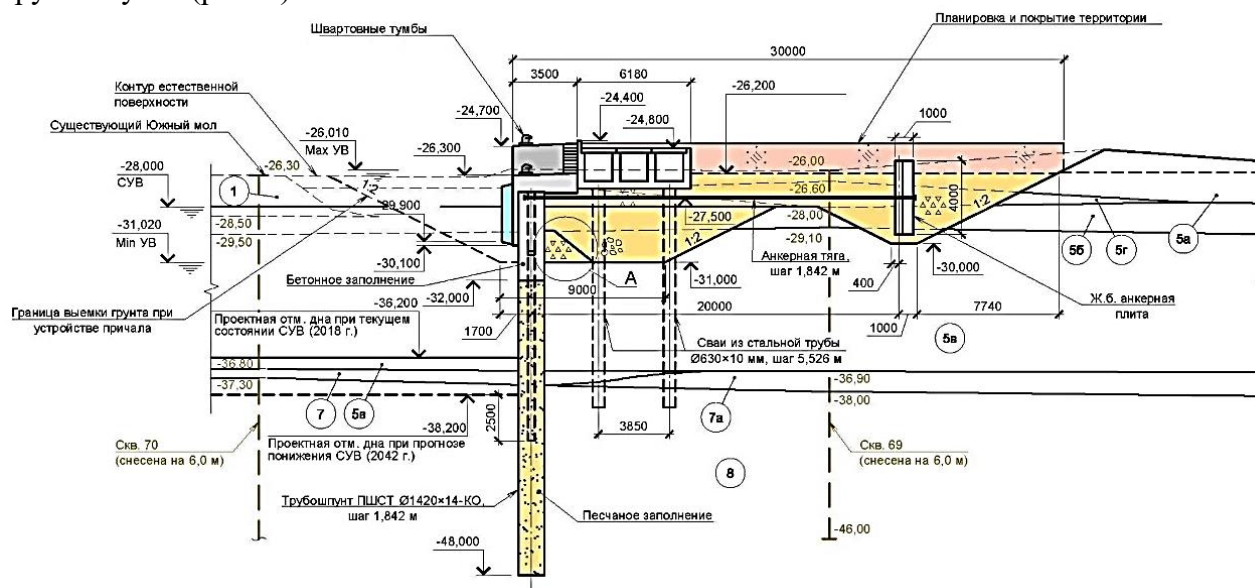


Рис. 1. Разрез

Анкерные тяги подбираются по ТУ 5264-001-03147519-2006. Диаметр анкерных тяг принят исходя из общего условия прочности:

$$\gamma_{lc} R_a \leq \frac{R_{\text{пред}} \gamma_c}{\gamma_n}, \quad (1)$$

где $R_a = 1003$ кН – расчетное усилие в анкерной тяге принятое по результатам расчета в PLAXIS 2D с учетом шага установки тяг и коэффициента $K_a = 1,5$; $\gamma_{lc} = 0,95$ – коэффициент сочетания нагрузок, принятый согласно [2] для результатов расчета на особое (сейсмическое) сочетание нагрузок (уровня проектного землетрясения ПЗ) с учетом того, что равномерно-распределенная (полезная) нагрузка учтена [3]; $R_{\text{пред}}$ – предельные расчетное усилие, выдерживаемое анкерной тягой, определенное по формуле

$$R_{\text{пред}} = \frac{R_{yn} \pi d_{\min}^2}{\gamma_m 4}, \quad (2)$$

где $R_{yn} = \sigma_T = 345$ МПа – предел текучести стали класса прочности 345 по [4]; $\gamma_m = 1,05$ – коэффициент надежности по материалу, принятый согласно [5] для проушины, изготовленной из стального проката; $d_{\min}$ – наименьший расчетный диаметр сечения анкерной тяги, учитывающий глубину резьбы, коррозионный износ и определенный по формуле:

$$d_{\min} = d_3 - 2\delta_k, \quad (3)$$

где d_3 – внутренний диаметр резьбы по дну впадины [6]; $\delta_k = 1,2$ мм – коррозионный износ в зоне засыпки за расчетный срок службы сооружения; $\gamma_n = 1,15$ – коэффициент надежности по

ответственности сооружения; $\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы, принятый согласно [7] для случая расчета анкерных тяг.

Влияние коррозионного износа на прочность конструкций является критическим аспектом, особенно для элементов, находящихся в агрессивных средах. Коррозия может значительно уменьшить сечение анкерных тяг и свай-оболочек, что приводит к потере прочности и несущей способности. Поэтому рекомендуется регулярный мониторинг состояния конструкций и применение антикоррозионных покрытий.

Для анкерной тяги диаметром 82 мм имеем $d_{\min} = 70,239$ мм; $d_3 = 72,639$ мм, тогда предельное расчетное усилие равно

$$R_{\text{пред}} = \frac{345}{1,05} \cdot \frac{3,14 \cdot 70,239^2}{4} = 1273,1 \text{ кН.}$$

Проверяем условие прочности

$$0,9 \cdot 1003 \text{ кН} \leq \frac{1273,1 \text{ кН} \cdot 1,0}{1,15} = 1107 \text{ кН.}$$

Для анкерной тяги диаметром 82 мм условие прочности выполняется.

Для изготовления трубошпунта применяются стальные прямошовные трубы $\varnothing 1420 \times 14$ мм из низколегированной стали:

- класса прочности С345 по ГОСТ 27772-2015 с пределом текучести $\sigma_T = 325 \text{ Н/мм}^2$;
- класса прочности 345 по ГОСТ 19281-2014 (марки стали 09Г2С, 17Г2С) с пределом текучести $\sigma_T = 345 \text{ Н/мм}^2$.

Для дальнейшего расчета принято наименьшее значение предела текучести $\sigma_T = 325 \text{ Н/мм}^2$. Расчетное сопротивление стали растяжению/сжатию определено согласно [5] по формуле

$$R_y = R_{yn}/\gamma_m; R_y = 325/1,05 = 309,52 \text{ Н/мм}^2, \quad (4)$$

где $R_{yn} = \sigma_T = 325 \text{ Н/мм}^2$ – предел текучести стали; $\gamma_m = 1,05$ – коэффициент надёжности по материалу, принятый согласно [5].

Для устройства свай разгрузочной платформы применяются стальные прямошовные трубы $\varnothing 630 \times 10$ мм из обыкновенной углеродистой стали класса прочности С235 по ГОСТ 27772-2015 с маркой стали Ст3сп по ГОСТ 10706-76 с пределом текучести $\sigma_T = 235 \text{ МПа}$.

Расчетное сопротивление стали растяжению/сжатию определено согласно [5] по формуле

$$R_y = R_{yn}/\gamma_m = 235/1,05 = 223,81 \text{ МПа,}$$

где $R_{yn} = \sigma_T = 235 \text{ МПа}$ – предел текучести стали.

Так как сваи воспринимают изгибающие и сжимающие/растягивающие усилия, то условие их прочности примет вид

$$\gamma_{lc} \sigma_{\max} < R_y \gamma_c / \gamma_n, \quad (5)$$

где $\gamma_{lc} = 1,0$ – коэффициент сочетаний нагрузок, принимаемый в соответствии с п. 8.16 СП 58.13330.2012; $\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы, принимаемый для причальных сооружений согласно СП 287.1325800.2016, таблица 7.1; $\gamma_n = 1,15$ – коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, принимаемый для гидротехнических сооружений III класса ответственности; $\sigma_{\max}$ – максимальное нормальное напряжение, развивающееся в свае, определено по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_k} + \frac{N}{A_{\text{тр.к}}}, \quad (6)$$

где M – максимальный изгибающий момент в свае, кН·м; N – продольная сжимающая сила, кН, соответствующая максимальному изгибающему моменту; W_k – момент сопротивления сечения сваи с учетом коррозионного износа составит:

$$W_k = \frac{\pi(d - 2\delta_k)^3}{32} \left(1 - \frac{(d - 2\delta + 2\delta_k^*)^4}{(d - 2\delta_k)^4} \right), \quad (7)$$

где d – наружный диаметр свай, см; δ – толщина стенок трубы свай, см; δ_k – толщина коррозии внешней поверхности трубы; δ_k^* – толщина коррозии внутренней поверхности трубы; $A_{тр.к}$ – площадь поперечного сечения свай, определенная с учетом коррозионного износа по формуле

$$A_{тр.к} = \frac{\pi((d - 2\delta_k)^2 - (d - 2\delta + 2\delta_k^*)^2)}{4}. \quad (8)$$

Сочетание нагрузок также важно. В реальных условиях конструкции подвергаются комплексным нагрузкам (статическим, динамическим, температурным), которые могут вызывать локальные деформации и напряжения. Необходимо учитывать комбинированное воздействие этих нагрузок при расчетах, так как это может привести к превышению пределов прочности материалов.

Результаты расчета несущей способности свай по материалу представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет несущей способности свай по материалу

Конструкция	d , см	δ , см	δ_k , см	δ_k^* , см	W_k , см ³	$A_{тр.к}$, см ²	M , кН·м	N , кН	σ_{max} , МПа	R_y , МПа	$\gamma_{lc}\sigma_{max}$	$R_y\gamma_c/\gamma_n$	$\gamma_{lc}\sigma_{max} < R_y\gamma_c/\gamma_n$
Лицевая стенка больверка	142	1,4	0,375	0,375	10045,7	287,1	1742,9	688,4	197,47	309,52	197,47	309,52	Выполняется
Лицевая стенка эстакады	142	1,4	0,375	0	15715,4	451,5	2921,4	1403,6	216,98	309,52	216,98	309,52	Выполняется
Тыловые свай эстакады	142	1,4	0,12	0	19661,9	564,9	3218,3	1142,2	183,9	309,52	183,9	309,52	Выполняется
Разгрузочная платформа	63	1	0,12	0,12	2267	148,0	295,1	660,4	174,79	223,81	174,79	223,81	Выполняется

Выводы. Все расчетные параметры анкерных тяг и свай-оболочек соответствуют установленным нормам и требованиям, что подтверждает их надежность. Условия прочности по материалу для всех конструктивных элементов обеспечиваются. Применение современных расчетных методов, таких как PLAXIS 2D, позволяет точно оценить несущую способность конструкций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ТУ 5264-001-03147519-2006. Анкерные тяги с шарниром.
2. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
3. РД 31.3.06-2000. Руководство по учету сейсмических воздействий при проектировании морских гидротехнических сооружений типа «Больверк».
4. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.
5. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции.
6. ГОСТ 24705-2004. Резьба метрическая. Основные размеры.
7. РД 31.31.55-93. Департамент морского транспорта Минтранса РФ. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений.
8. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций
9. ГОСТ 10706-76. Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования.
10. СП 287.1325800.2016. Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства.

ЭКСПОРТ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ИЗ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NANOCAD В ANCHORED STRUCTURES

Математическое моделирование поведения морских гидротехнических сооружений под действием природных нагрузок предполагает предварительную подготовку трехмерных геометрических моделей этих сооружений в используемом моделирующем программном средстве. Подготовка подобных моделей является самостоятельной и трудоемкой задачей, поэтому для ее реализации удобно использовать специализированные программные комплексы [1], предназначенные для геометрического моделирования, а построенные модели транспортировать в необходимый расчетный комплекс

Отечественный программный продукт ANCHORED STRUCTURES [2] предназначенный для математического моделирования статики и динамики плавучих сооружений, имеющих якорные системы удержания, а также для расчета гидродинамических нагрузок от волнения на плавучие или стационарные сооружения также позволяет импортировать трехмерные геометрические модели из таких программ, как AutoCAD или ANSYS [3].

В последние годы, ввиду введенных санкционных ограничений, ряд зарубежных программных продуктов стали недоступны или ограниченно доступны для российских инженерно-технических организаций. В этой связи всё больше российских компаний переходит полностью на отечественное программное обеспечение, а это требует развития способов обмена данными между отечественными программными платформами.

Цель работы – разработка простого и эффективного способа экспорта 3D-геометрии из ПК NanoCAD в ПК Anchored Structures без использования сторонних программных продуктов. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Исследовать возможности NanoCAD для работы с 3D-объектами.
- Изучить возможные способы перевода твердотельной геометрии NanoCAD в пространственную сеть NanoCAD, состоящую из «3D-граней».
- Разработать скрипт, позволяющий извлекать координаты точек 3D-граней объекта ПК NanoCAD.
- Создать алгоритм для записи полученных данных в нейтральный текстовый файл (.txt), воспринимаемый ПК Anchored Structures.

Как отмечалось выше, в Anchored Structures разработан функционал импорта файлов, созданных с помощью ПК AutoCAD. Процесс перевода модели включал в себя создание Сети из 3D-граней объекта из твердотельной геометрии. Дальнейший вывод координат точек 3D-граней в текстовый файл осуществлялся с помощью дополнения Visual Studio и скрипта, написанного на языке AutoLisp [4]. Для расшифровки текстового файла в ПК AutoCAD разработана утилита, позволяющая строить трехмерную модель на базе импортированных 3D-граней.

За основу создаваемого алгоритма экспорта была взята вышеописанная процедура, поскольку AutoCAD и отечественный аналог NanoCAD имеют схожие инструменты, структуру, и общий язык написания пользовательских приложений AutoLisp.

С помощью базовых инструментов геометрического моделирования в модуле 3D программы NanoCAD была собрана пробная модель корпуса Полупогружной плавучей буровой установки (ППБУ) с кольцевым понтоном (рис. 1). Модель была преобразована в 3D-сеть и разбита на отдельные грани в ПК NanoCAD (рис. 2).

Далее был разработан рабочий скрипт на языке AutoLisp, который позволяет извлекать координаты точек 3D-граней объекта NanoCAD и записывать их в текстовый файл (.txt) (рис. 3).

Скрипт выполняет следующие действия:

- обходит все грани объекта;
- определяет координаты точек каждой грани;
- записывает координаты точек в текстовый файл в формате, удобном для последующей обработки другими программами.

Разработанное приложение позволяет воссоздать 3D-объект в другой программе, тем самым экспортируя геометрию из NanoCAD в целевую программу. Важно отметить, что это дополнение не требует использования Visual Studio или других сторонних программ, что значительно упрощает процесс переноса данных.

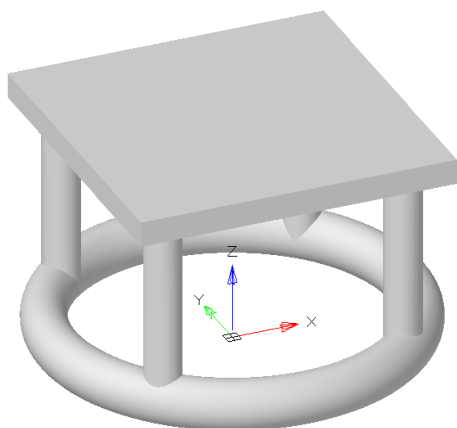


Рис. 1. Пример 3D-объекта

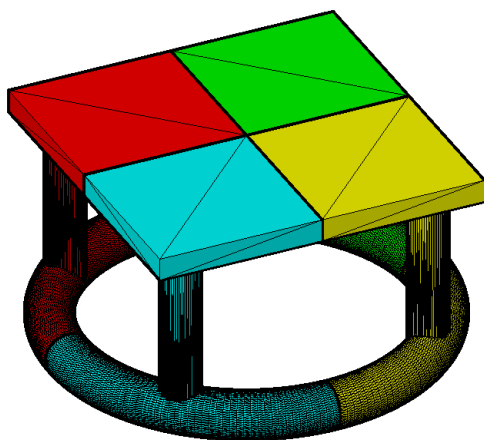


Рис. 2. Пространственная сеть

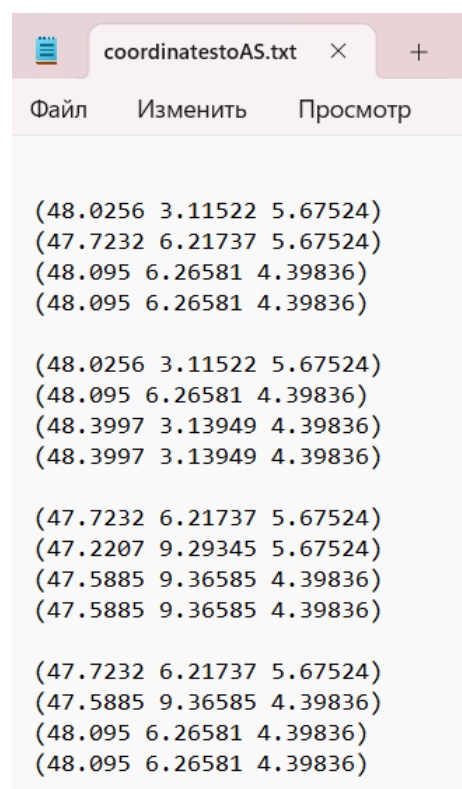


Рис. 3. Вид выходного текстового файла

Полученный текстовый файл был экспортирован в программу Anchored Structures, с помощью утилиты, ранее использовавшейся для экспорта файлов из ПК AutoCAD. На рис. 4 показана трехмерная геометрическая модель ПК AutoCAD, полученная из NanoCAD.

Алгоритм был протестирован несколько раз, на объектах разных типов. На данный момент, нерешенной проблемой является отсутствие в программном комплексе NanoCAD более детальной настройки тесселяции сети. Программа придерживается собственного алгоритма преобразования тела в сеть. Невозможность выбора формы и размеров базовой грани, а также, отсутствие более детальной проработки логики разбиения объекта на грани накладывает отпечаток на качество выводимой из программной среды модели.

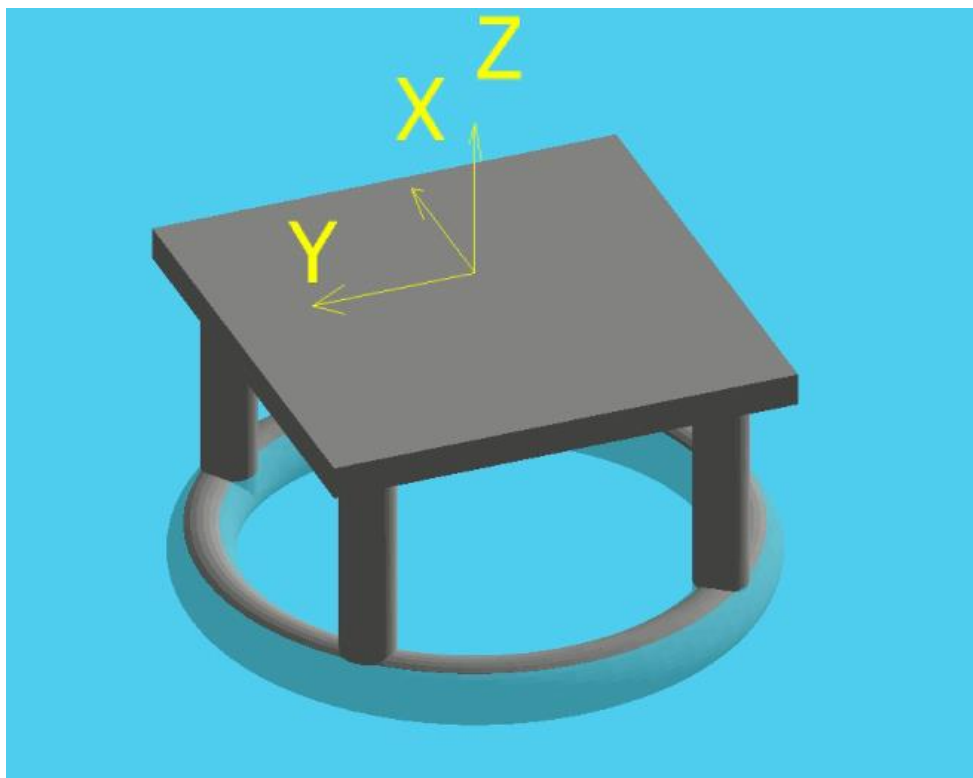


Рис. 4. Импортированная модель ППБУ

Выводы. Разработанный скрипт предоставляет простой и эффективный способ экспорта 3D-геометрии из NanoCAD в Anchored Structures без использования дополнительных программных продуктов. Этот результат имеет практическую ценность для инженерных организаций, использующих отечественные программные продукты, и может способствовать повышению эффективности работы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Альхименко А.И., Большев А.С., Ватин Н.И. Подготовка нового поколения инженеров-строителей Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2007. № 1 (49). С. 74–79.
2. Большев А.С., Михаленко Е.Б., Фролов С.А. Математическое моделирование поведения морских плавучих сооружений. Труды СПбГТУ. 2007. № 502. С. 252–274.
3. ANCHORED STRUCTURES [Электронный ресурс]: дата обращения 06.03.2025. – режим доступа: <http://ckmdms.ru/production>.
4. Полещук Н., Лоскутов П. AutoLisp и VisualLisp в среде AutoCAD, Санкт-Петербург, 2006 [Электронный ресурс]: дата обращения 06.03.2025. – режим доступа: https://books.4nmv.ru/books/autolisp_i_visuallisp_v_srede_autocad_3642717.pdf
5. Большев А.С. Математическое моделирование поведения морских сооружений в среде «Anchored Structures». Практические рекомендации [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.С. Большев, С.А. Фролов, Т.В. Филиповская; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СУХОГО ДОКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PLAXIS 3D

Целью работы исследования является обоснование конструктивных решений сухого дока (далее – СД) расчетами его устойчивости с использованием программного комплекса PLAXIS 3D. Рассматривается упрощенная схема СД, проводится расчет устойчивости и анализ напряженно-деформированного состояния.

Строительство СД имеет большое значение в современной судостроительной и судоремонтной промышленности, так как они обеспечивают необходимую инфраструктуру для строительства, проведения работ по ремонту и обслуживанию морских судов, тоннаж которых за последние годы увеличился [4]. Строительство любого сооружения невозможно без предварительного расчета устойчивости, которое определяет его способность выдерживать нагрузки и воздействия, что критически важно для безопасности и долговечности.

Было выполнено моделирование элементов сооружения с использованием программного комплекса PLAXIS 3D, заданы геометрическая модель контура [5], граничные условия, наборы данных по материалам и внешним нагрузкам.

При составлении схемы сооружения за нуль глубин принимается средний многолетний расчетный уровень воды. Отметка дна составляет -6,0 м, при эксплуатации планируются дноуглубительные работы с понижением отметки дна до -10,0 м, данная отметка принимается за расчетную.

Грунты задаются с использованием модели идеального упруго-пластичного грунта с предельной поверхностью, описываемой критерием Мора-Кулона – модель МС [2]. Для ввода модели Мора-Кулона необходимо всего шесть параметров, которые получены при инженерно-геологических изысканиях, удельный вес γ , кН/м³; модуль деформации E , кН/м³; коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) ν ; угол внутреннего трения ϕ , град.; сцепление c , кН/м²; и угол дилатансии ψ , град.

Доковый цех представляет собой сооружение в виде фермы длиной 366 м, шириной 155 м, высотой 70 м. Стены докового цеха опираются на свайный ростверк габаритами 16,0×7,0×2,2 м с тремя рядами свай по семь штук в каждом ряду. Поскольку перемещения, деформации стен докового цеха не являются основным предметом изучения в данной модели их имитирование задается линейной нагрузкой эквивалентной массой.

Размеры дока составляют 70,0×340,0 м, определялись с учетом габаритов танкеров и сухогрузов типа Rapamax. Для расчета приняты габариты судна 33,0×295 м, дедвейтом 80000 т. Нагрузка от судна задавалась распределенной по площади.

Строительство сухих доков рассматривается для решения перспективных задач как на среднесрочную (10–15 лет), так и на долгосрочную перспективу (20–30 лет) [6], с возможностью последующего переоборудования самих доков и придоковой территории под новые технологии. Таким образом, требование по капитальности основных несущих конструкций сухих доков соответствует отечественному II классу ответственности.

Расчеты конструкций проводились по первой группе предельных состояний с использованием нормативных документов СП 58.13330.2019, СП 287.1325800.2016. Недопущение наступления предельного состояния обеспечивается соблюдением следующего условия

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R,$$

где γ_{lc} – коэффициент сочетаний нагрузок, принимаемый равным 1,0 для основного сочетания нагрузок в период нормальной эксплуатации, принимаемый по СП 58.13330.2019; F – расчетное значение обобщенного силового воздействия (сила, момент, напряжение); R – расчетное значение обобщенной несущей способности; γ_c – коэффициент условий работы, для причальных и берегоукрепительных сооружений принимаемый 1,15; γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, для сооружений IV класса принимаемый 1,2.

При расчетах прочности сооружения расчетное значение нагрузки определялось умножением нормативного значения нагрузки на соответствующий коэффициент надежности по нагрузке γ_f , приведенный в приложении Д СП 58.13330.2019, СП 20.13330.2016. Нагрузки на сооружение и коэффициенты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Коэффициенты надежности по нагрузке

Наименование нагрузки	Тип нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке
Собственный вес	Постоянная	Для металлических элементов 1,05
Нагрузка от крана	Длительная	1,05
Нагрузка от оборудования		1,2

На рисунке 1 представлена модель сооружения.

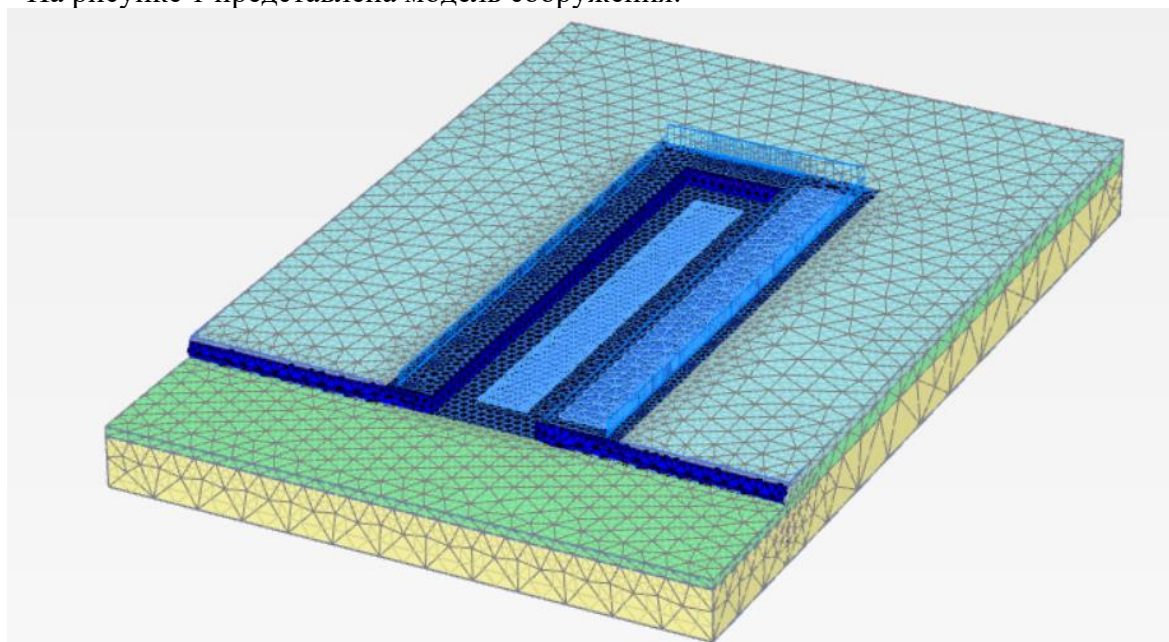


Рис. 1. Модель сооружения в программном комплексе PLAXIS 3D

По результатам расчета были получены значения перемещений, напряжений, изгибающих моментов во всех элементах конструкции. Наибольшее напряжение в сваях дна дока составило порядка 9500 кН, наибольшее значение в сваях, принимающих нагрузку от стен дока и кранов составило 12670 кН. Определяем коэффициент устойчивости по несущей способности свай с наибольшей воспринимаемой нагрузкой.

Коэффициент устойчивости k_s определяется по формуле:

$$k_s = \frac{R}{N} \geq \frac{\gamma_{lc}\gamma_n}{\gamma_c}.$$

В итоге минимальный коэффициент запаса устойчивости k_s в сваях с наибольшей воспринимаемой нагрузкой при расчете в программном комплексе PLAXIS 3D принимается равным для основного сочетания $k_s = \frac{24774}{12670} = 1,96 \geq \frac{1,0 \cdot 1,2}{1,15} = 1,04$.

Результатом предварительного расчета на прочность и устойчивость является значение коэффициента устойчивости, не превышение допустимых значений в элементах, и визуализация механизма разрушения основания при потере устойчивости.

Напряжение в сваях фундамента дока показано на рисунке 2.

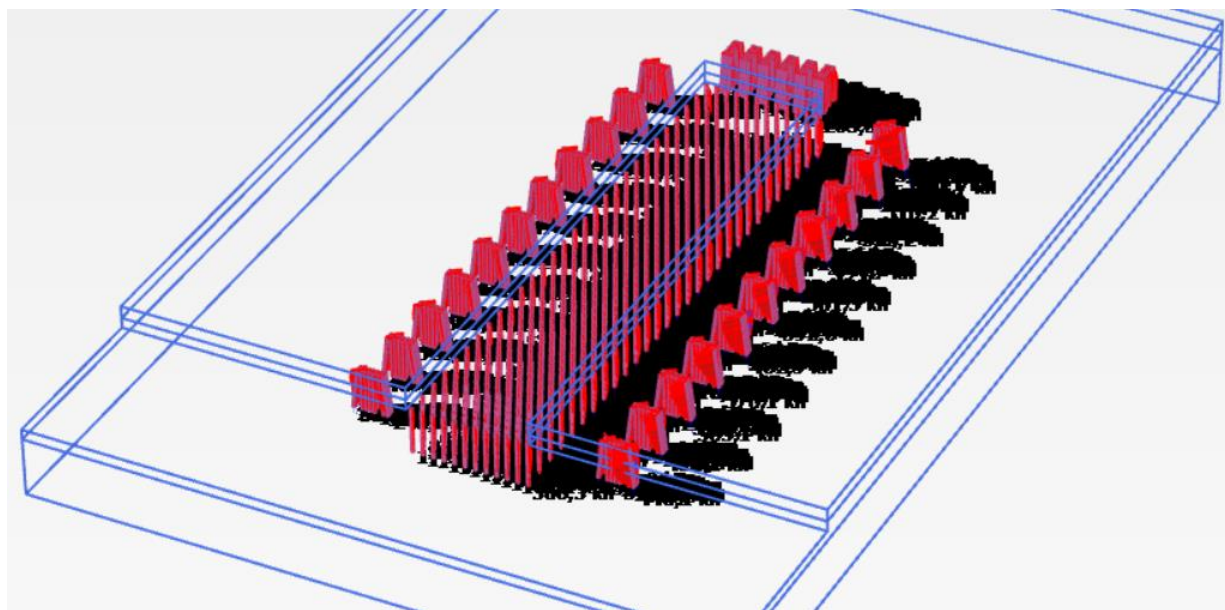


Рис. 2. Напряжения в сваях фундамента дока

Выводы. Предельное значение коэффициента устойчивости и перемещений не превышают предельно допустимых значений. Условие устойчивости по первой группе предельных состояний выполняется. При этом коэффициент устойчивости существенно превосходит допустимый, в дальнейшей работе рекомендуется уточнить конструкцию свайного основания путем уменьшения диаметров свай, их длины или расположения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Конструктивно-технологические, эксплуатационные и экономические особенности создания на ведущих зарубежных верфях построчно-спусковых комплексов с сухими доками, оснащёнными крановым оборудованием большой грузоподъёмности и соответствующими объектами инфраструктуры для строительства крупнотоннажных объектов морской техники. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме: «Изучение зарубежного опыта строительства и использования сухих доков за последние 30 лет». СПб.: АЦИА, ЦБВО, 2009, 235 с.
2. Mazurkiewicz B.K. Design and Construction of Dry Docks, 1981.
3. Галлямов М.А., Уколов Ю.С. Грузооборот морских портов России и предложения по его увеличению. Неделя науки СПбГПУ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Часть 1. ИСИ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021.
4. Екимов К.С., Беляев Н.Д. Анализ акватории Черного моря для возведения судоремонтного комплекса. Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. В 4 ч. Ч. 1. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 89 с
5. Судостроительный завод Aker MTW в г. Висмар. MTW Schiffswerft GmbH Wismar. 12 с.
6. Вакуленко А.М. Современные тенденции развития судостроения. XXXVIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской НПК. Ч. I. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2009, с. 10–12

ЛЕДЯНЫЕ ДАМБЫ КАК ВРЕМЕННЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЛЕДОХОДА

В условиях зимнего отстоя судов на открытых водных пространствах, особенно в северных широтах, актуальной остается проблема защиты флота от разрушительного воздействия ледохода. Временные ограждающие конструкции из льда – ледяные дамбы – представляют собой эффективный и относительно экономичный метод защиты судов. Опыт возведения таких сооружений на реке Лена, а также на реках Яна, Индигирка, Колыма и Алдан демонстрирует их эффективность и практическое применение. В работе проведён анализ технологии создания ледяных дамб и основных типов нагрузок, воздействующих на них.

Ледяные дамбы, как правило, имеют прямолинейные контуры и наклонены под углом 80-85° к береговой линии. Строительство начинается после устойчивого установления низких температур и формирования прочного ледяного покрова на реке. Ключевым этапом является поэтапное наращивание льда путём контролируемого замораживания воды.

Основные этапы строительства ледяной дамбы [1]:

1. Создание временной опалубки: установка деревянных щитов (высотой 30–40 см) по периметру будущей дамбы, укрепление конструкций снежными валами для герметичности.
2. Заливка водой: в образовавшееся пространство подаётся вода с помощью насосов и желобов, расположенных на эстакадах.
3. Поэтапное наращивание льда: после замерзания воды щиты поднимают на необходимую высоту, и процесс повторяется до достижения требуемой высоты гребня.
4. Укрепление гребня: в некоторых случаях на гребень вмораживают дополнительные деревянные ледорезы для повышения устойчивости конструкции при подъёме уровня воды и ледоходе.
5. Защита от таяния: для замедления таяния гребень дамбы покрывают слоем опилок (толщиной около 40 см) для защиты от солнечного излучения.

При строительстве ледяных дамб вместо деревянной опалубки также применяют ледяную опалубку, изготовленную из льда, которую вырезают из замороженных карт толщиной 10–15 см. Прямоугольные ледяные блоки устанавливают плотно друг к другу, а щели между ними заделывают мокрым снегом для герметичности. Для строительства ледяной дамбы обычно требуется 3–4 работника, которые трудятся ежедневно на протяжении 5–6 месяцев. Размеры сооружения определяются количеством судов, нуждающихся в защите [4]. Высота гребня дамбы устанавливается на 1,0–1,5 м выше расчетного уровня паводка.

Согласно наблюдениям К.Ф. Войтковского [2], скорость наращивания ледяных сооружений составляет примерно 0,5 см в сутки на каждый градус ниже нуля. Реальные темпы могут варьироваться в зависимости от температуры, ветра и других погодных условий. Так, при температуре -20°C и умеренном ветре за сутки можно нарастить слой льда толщиной до 0,5 м.

Ледяные дамбы, как временные гидротехнические сооружения, испытывают следующие основные виды нагрузок [5]:

1. Горизонтальные нагрузки:
 - 1.1 Давление от навала ледяного поля: возникает из-за сплошного ледяного поля, действующего на дамбу в горизонтальном направлении.
 - 1.2 Ударные нагрузки от отдельных льдин: динамические нагрузки, возникающие при столкновении плавающих льдин с дамбой.
2. Вертикальные нагрузки:

2.1.Подъемная сила плавучести: действует на дамбу, примороженную к основанию, при повышении уровня воды, стремясь оторвать ее от грунта.

Для оценки величины подъёмной силы плавучести на ледяную дамбу рассмотрим вертикальный столб льда сечением 1 м^2 . Согласно М.Э. Плокиде, условием равновесия и предотвращения отрыва дамбы от основания является следующее неравенство [1]:

$$P_1 > P,$$

где P – подъемная сила плавучести льда; P_1 – вес столба льда.

Вес столба льда определяется как:

$$P_1 = \gamma h,$$

где γ – объемный вес льда; h – возвышение гребня дамбы над максимальным уровнем паводка.

Подъемная сила плавучести льда определяется выражением:

$$P = (1 - \gamma)(H - h),$$

где H – полная высота дамбы.

Чтобы предотвратить отрыв дамбы от основания, необходимо соблюдение условия:

$$h > (1 - \gamma)H,$$

При значениях $H = 10 \text{ м}$ и $\gamma = 0,9$ возвышение гребня дамбы h над расчётным паводковым уровнем должно быть не менее $1,0 \text{ м}$, что подтверждается практикой.

Расчет горизонтальных ударных нагрузок:

Горизонтальное динамическое давление при столкновении отдельных льдин определяется по формуле П.А. Кузнецова [1]:

$$P_d = KV_{\text{л}} \sigma \sqrt{l b},$$

где P_d – давление льдин, т; $V_{\text{л}}$ – скорость движения льдин, м/с; σ – толщина льда, м, принимаемая равной 60–80% от максимальной наблюдаемой за многолетний период; K – коэффициент, равный $4,3 \text{ с} \cdot \text{т}/\text{м}^3$; l и b – длина и ширина льдины, м.

Расчет горизонтального давления от навала ледяного поля:

Горизонтальное давление от навала ледяного поля рассчитывается по формуле [1]:

$$P_n = PB,$$

где P_n – давление льда, т; B – ширина ледяного поля в направлении, перпендикулярном его движению, м; P – давление льда на 1 погонный метр ширины поля, т, определяемое в зависимости от длины ледяного поля d и скорости течения подо льдом V :

$$P = (0,3 + 0,001d)V \text{ при } d < 1200 \text{ м};$$

$$P = (3 - 1800/d)V \text{ при } d > 1200 \text{ м},$$

где V – средняя скорость течения под льдом м/с; d – длина ледяного поля по направлению его движения в м.

Величина напряжения, при которой лед начинает разрушаться, называется временным сопротивлением льда.

Важно отметить, что прочность льда значительно снижается к периоду весеннего ледохода. По данным К.Н. Коржавина [3], пределы прочности льда во время весеннего ледохода зависят от скорости его движения и значительно ниже средних значений. Например, предел прочности на сжатие составляет $6,5 \text{ кг}/\text{см}^2$ при скорости $1 \text{ м}/\text{с}$ и снижается до $4,5 \text{ кг}/\text{см}^2$ при скорости $5 \text{ м}/\text{с}$ (табл. 1).

Таблица 1 – Расчетные значения предела прочности льда во время весеннего ледохода в зависимости от скорости его движения для рек Севера и Сибири [3]

Предел прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$	Подвижка	1 м/с	5 м/с
Сжатие	6,5	5,0	4,5
Местное сжатие	16,0	13,0	11,5
Изгиб	7,5	6,0	5,5
Срез	-	3,0-6,0	-
Растяжение	-	7,0-9,0	-

Выводы:

1. Технология создания ледяных дамб для защиты судов от ледохода представляет собой поэтапный процесс наращивания льда путём полива водой временной опалубки, обычно деревянной или ледяной. Конструкции возводятся после наступления устойчивых морозов и формирования ледяного покрова под углом к береговой линии. Скорость наращивания льда зависит от температуры воздуха и составляет около 0,5 см в сутки при температуре ниже нуля.
2. Анализ показал, что ледяные дамбы испытывают три основных типа нагрузок: давление от навала ледяного поля, ударные нагрузки от отдельных льдин (горизонтальные нагрузки) и подъёмная сила плавучести (вертикальные нагрузки). Горизонтальные нагрузки вызывают срез и сдвиг дамбы, а подъёмная сила стремится оторвать её от основания. Устойчивость дамбы к отрыву обеспечивается за счёт возвышения гребня над уровнем паводка. Горизонтальные ударные нагрузки зависят от скорости, толщины и размеров льдин, а давление от навала ледяного поля определяется его размерами и скоростью течения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Совещание-семинар по строительству на вечномерзлых грунтах. Магадан. 1964. – Красноярск: Промстройиниипроект, 1964–1965. 37 т.
2. Войтковский К.Ф. Расчет сооружений из льда и снега с учетом промерзания основания [Текст] : Автореферат дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук / Моск. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – Москва : [б. и.], 1953. 16 с. : черт.; 22 см.
3. Коржавин К.Н. Воздействие льда на инженерные сооружения [Текст] / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1962. 203 с.: ил.; 26 см
4. Основы ледотехники речного транспорта [Текст] : [Учеб. пособие для ин-тов инженеров водного транспорта] / И.М. Коновалов, К.С. Емельянов, П.Н. Орлов. Ленинград; Москва: Речиздат, 1952. 264 с.
5. СП 38.13330.2018. «СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)».

УДК 626.882

Л.Г. Ермошкин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИГРАЦИИ РЫБ ЧЕРЕЗ ПРЕГРАДЫ НА ВОДОТОКАХ

Цель работы – исследование и разработка мероприятий для обеспечения миграции рыб через гидро-защитные сооружения путем строительства рыбопропускного комплекса.

Для проведения исследования рассматриваются малые и мини ГЭС, как наиболее актуальные с точки зрения возможности возникновения негативных экологических последствий для Российской Федерации из-за многочисленности таких сооружений и небольшому сроку службы и выработки энергии по сравнению с более крупными ГЭС [1].

Эксплуатируемые и не эксплуатируемые МГЭС препятствуют миграции рыбы по водоемам, что приводит к уменьшению запасов рыбы и ухудшению условий для выращивания и ловли рыбы.

В работе рассматривается технология создания сооружений для миграции рыб через строительство рыбопропускного комплекса на примере заброшенной Сосновской МГЭС на реке Волчья, которая протекает по Приозерскому и Всеволожскому районам Карельского перешейка Ленинградской области.

Местность, где будет расположен комплекс, обладает высокой экологической чистотой, множеством лесов, озер и рек, что предполагает его пригодность для развития рыбоводства.

Площадка для строительства комплекса расположена напротив МГЭС размером 150×100 м (рис. 1). В рамках проекта предусмотрено создание одного водоема размером 10×150 м для изменения русла реки во время реконструкции плотины.

На рис. 2 изображен геологический разрез по дну реки.

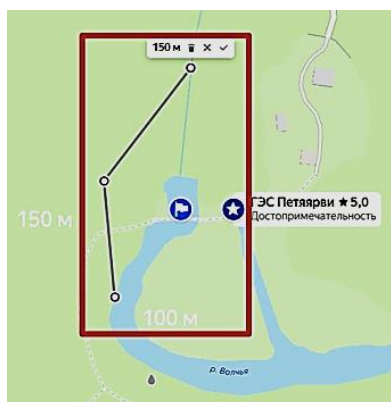


Рис. 1. Карта местности

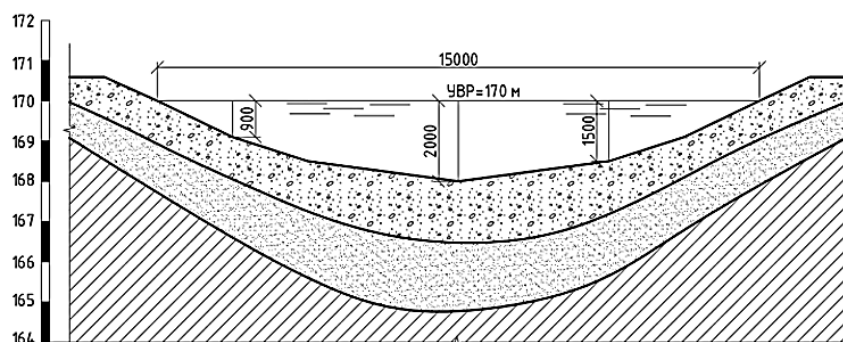


Рис. 2. Геологический разрез по створу реки

Разрабатываемый рыбопропускной комплекс будет состоять из следующих основных гидротехнических сооружений:

- водоприемник с донным водовыпуском;
- водовыпуск;
- берегозащитные сооружения с габионами [2];
- рыбозащитные устройства;
- подпорная водопропускная плотина;
- рыбозаградительные сооружения.

Основная цель всех этих сооружений – обеспечить оптимальное функционирование плотины против паводков, при этом понизив опасность миграции рыб через плотину.

Для реконструкции МГЭС проектируются две ремонтные плотины, перегораживающая русло реки, и стенки, ограждающие и защищающие от паводковых вод участок строительства. При возведении насыпей и укреплении берегов работы должны выполняться насухо [5]. Основной комплекс работ по модернизации плотины включают в себя подготовительный, основной и восстановительный периоды [3].

На основном этапе осуществляются земляные работы, состоящие из выемки грунта под ремонтный канал и для подпорных стенок. Грунт выемки используется в качестве материала для создания ремонтных плотин. Затем производится монтаж свай подпорных стенок, последовательно с установкой свай монтируется брус подпорных стенок, закрепляются анкерные тяжи с обратной засыпкой грунтом. Далее производится заливка фундамента водоприемника и водовыпуска с параллельной установкой блоков дна реки. На фундаменты монтируются быки, затем устанавливаются затворы и ограждающие решетки. Осуществляется монтаж крышки водоприемника и водовыпуска. На нее устанавливают рельсы для подъемника [4].

Строение водоприемника включает в себя быки, ограждающую сетку и два затвора. Для формирования быков используются металлические конструкции толщиной 10 мм, включая трубы диаметром 500 мм и стальные листы. Для поддержания формы в быках устанавливаются равносторонние уголки с полкой шириной 75 мм. Трубы разрезают пополам и размещают в начале и конце быка. Эта металлическая конструкция служит как несъемная опалубка для создания быков из железобетона. Для этого внутрь опалубки помещают арматурную сетку и заливают бетон.

Ограждающая решетка проектируется под наклоном для удобства обслуживания. Затворы выполнены в виде стенок из дерева. Первый по направлению водного потока затвор пропускает воду через верхнее отверстие, второй затвор через донное отверстие. Для регулировки уровня воды в реке на водоприемниках размещаются механические подъемники.

Конструкция водовыпуска имеет некоторые отличия от конструкции водоприемника. Затворы водовыпуска пропускают воду через верхнее отверстие. Водоприемники и водовыпуски для удобства монтажа и транспортировки делятся на отдельные блоки: блоки боковой секции и блоки средней секции (рис. 3).

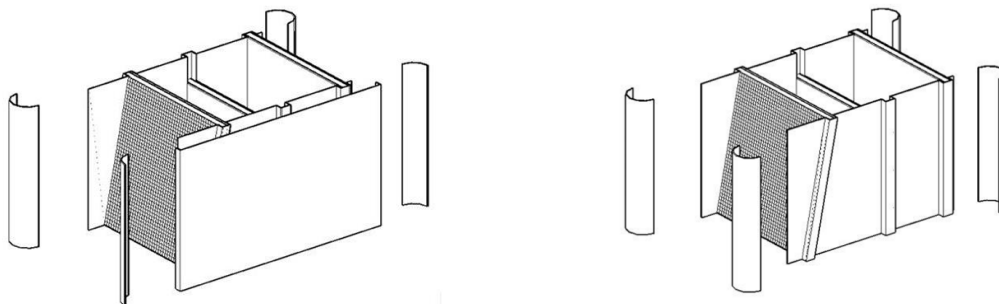


Рис. 3. Блок боковой и средней секции водоприемника

На месте водозаборного сооружения предлагается использовать габионы коробчатого типа размером $3,0 \times 1,0 \times 1,0$ м на подготовленное основание из матраца «Рено» слоем $0,3$ м по фундаменту предыдущего сооружения (рис. 4). Общая высота берегоукрепления примерно составит $2\text{--}3$ м.

Для того, чтобы создать поток в русле реки второй затвор по направлению потока в водоприемнике с донным водовыпуском оборудован специальной конструкцией, которая направляет движение воды в нижний бьеф. Металлическая конструкция, закрепленная над донным отверстием, направлена вниз под углом ко дну (рис. 5).

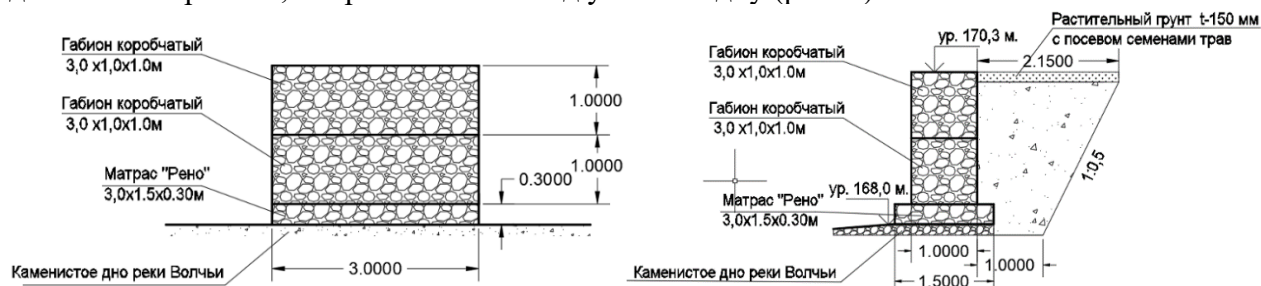


Рис. 4. Продольный и поперечный разрез габионной конструкции

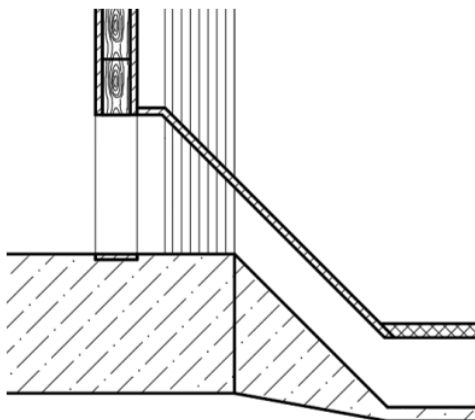


Рис. 5. Соединение металлической конструкции с дном

Направленный металлической конструкцией поток воды создает необходимую проточность и обеспечивает миграцию рыб через него.

Выводы:

В результате работы был запроектирован рыбопропускной комплекс на р. Волчья на заброшенной Сосновской МГЭС. Разработаны технические решения конструкций, входящие в этот комплекс, благодаря которым будет обеспечен проход рыб, движущихся по реке в течение нерестового периода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 432 с.
2. Википедия – габион. Электронный ресурс – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Габион>
3. Постановление о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию от 16 февраля 2008 года N 87 (с изменениями на 15 сентября 2023 года)
4. Бовдуй С.С., Фролова И.Е. Гидротехнические сооружения рыбоводческого комплекса. Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции, часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. С. 40–42.
5. СП 381.1325800.2018. Свод правил. Сооружения подпорные. Правила проектирования (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 23.07.2018 N 444/пр)

УДК 620.92

Е.Р. Ильина, Д.А. Шарапов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕЧЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ И ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Актуальность данной темы определяется потребностью в производстве зеленой энергетики. В 1992 году была принята Рамочная конвенция ООН, в которой идет речь о стабилизации концентрации парниковых газов и сокращении выброса CO₂ государствами. В 2021 году в России был принят федеральный закон №269 «Об ограничении выбросов парниковых газов», из-за которого традиционные виды энергетики вынуждены сократить свои выбросы CO₂. А чтобы выработка электроэнергии оставалась стабильной, необходимо активно внедрять экологически чистую гидроэнергетику.

Целью работы является анализ видов генераторов водяного потока океанических и речных течений и формулирование выводов об их эффективности и перспективах развития.

Большую часть поверхности Земли занимают воды океанов и морей. Вся вода занимает около 71% поверхности нашей планеты. Существует множество альтернативных источников энергии: ветряные станции, солнечные батареи, волновые и приливные гидростанции [1]. Энергия течений в настоящее время наименее изучена и развита по сравнению с другими источниками зеленой энергии. Различают два вида течений океанические и речные. Океанические течения возникают под воздействием различных факторов: ветра, разности плотностей и уровней воды, приливообразующих сил Луны и Солнца, а также от солености воды и атмосферного давления. Речные течения возникают из-за рельефа местности (продольного уклона).

1. Генераторы водяного потока их достоинства и недостатки:

Конструкция генератора водяного потока похожа на ветрогенератор, а принцип работы на гидроэлектростанцию. Они устанавливаются в воде и перерабатывают кинетическую энергию течений за счет вращения лопастей. Величина выработки энергии у таких генераторов в несколько раз выше, чем у аналогичных ветряных. Сравнение турбин, работающих в океане и реках в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение гидрокинетических турбин, работающих в океане и реках

Характеристика сравнения	Генераторы речных течений	Генераторы океанических течений
Где устанавливаются	На опоры мостов и других гидросооружений.	На дно океана или в верхних слоях воды на якорях или опорах.
Эксплуатация	1. Удобность в эксплуатации из-за расположенности вблизи городов. 2. Нет трудности с подключением к общей сети, так как находится вблизи городов.	1. Расположены далеко от берега. 2. Проблемы с подключением в общую сеть. Необходимо прокладывать провода по дну океана.
Обслуживание	Можно легко заменить генератор или починить/почистить, потому что генераторы будут прикреплены к опорам мостов.	Трудности в обслуживании из-за неудобного расположения. При поломке гидроагрегата понадобится длительная транспортировка и сложный монтаж.
Факторы, влияющие на стоимость	Дешевле за счет простоты монтажа.	Дороже за счет трудности монтажа.
Экологический фактор	Никак не вредят рыбам, за счет крупных лопастей.	Не вредят мелкой рыбе, но могут навредить крупным особям, нужно устанавливать защитные сетки.

Достоинствами данного вида энергии являются:

1. Возобновляемый источник энергии.
2. Низкая стоимость производства энергии. Благодаря высокой эффективности и экономичности производства, стоимость производства энергии значительно ниже, чем у традиционных источников энергии.
3. Экологически чистый источник энергии.
4. Стабильная выработка электроэнергии. За счет постоянного движения водных потоков данный вид энергии позволяет взять на себя часть нагрузки электросети. С помощью гидравлических аккумуляторов лишнюю электроэнергию можно накапливать и выдавать ее в пики нагрузки.

Недостатки энергии течений:

1. Сложный подводный монтаж (необходимы водолазы).
2. Высокие затраты на оборудование. Создание энергоустановок для генерации энергии из течения является технически сложным процессом, что требует больших инвестиций.
3. Возможное воздействие на экосистему. Строительство энергоустановок для генерации энергии из течений может иметь негативное воздействие на экосистему, в частности на крупные морские организмы [2].

2. Энергетический потенциал

Энергия всех течений в Мировом океане составляет величину около 1019 Дж/год. А мировой энергетический потенциал рек оценивается в $1,44 \times 10^{20}$ Дж/год – вдвое больше электроэнергии, производимой в мире всеми известными способами.

Течения – крупный потенциальный источник энергии. Механическая мощность, которую можно извлечь, определяется по формуле (1). Приведенное соотношение позволяет проанализировать технические возможности гидрогенераторов на водных течениях.

$$P = 0,5kS\rho V^3, \quad (1)$$

где k – коэффициент преобразования; S – площадь, перекрываемая концентратором энергии в потоке, m^2 ; ρ – плотность воды, kg/m^3 ; V – скорость течения, m/s .

Коэффициент преобразования энергии, зависящий от типа турбин, для ориентировочной оценки можно принять равным 0,6 [3]. Плотность воды в 832 раза выше плотности воздуха, за счет чего кинетическая энергия от течений намного выше, чем у ветряных электростанций.

Для снижения стоимости установки гидрокинетические турбины можно монтировать к опорам мостов. И подобрать такие оптимальные размеры лопастей, чтобы гидротурбины не мешали судоходству. В среднем одна речная турбина способна вырабатывать около 10 кВтч в день, в зависимости от доступной скорости течения воды. Одна такая гидротурбина на максимальной мощности способна заменить 12 солнечных батарей [4].

3. Реализованные объекты

На рисунке 1 изображены установки, которые генерируют энергию океанических течений, в том числе приливных. В реках можно также применять данные типы гидротурбин, но меньших размеров.

Также в настоящее время активно ведутся активные разработки новых типов гидрогенераторов. Например, шведская инженерная компания Minesto разработала специальные планеры, похожие на беспилотные летательные аппараты (рис. 2). Они предназначены для выработки энергии из подводных течений. Принцип действия данного типа турбин похож на «летающего змея». Крыло толкает турбину через воду по восьмиугольной траектории, охватывая большую площадь с относительной скоростью, которая в несколько раз превышает фактическую скорость подводного течения. Турбина передает энергию генератору, а генератор пропускает ее через силовой кабель [5].

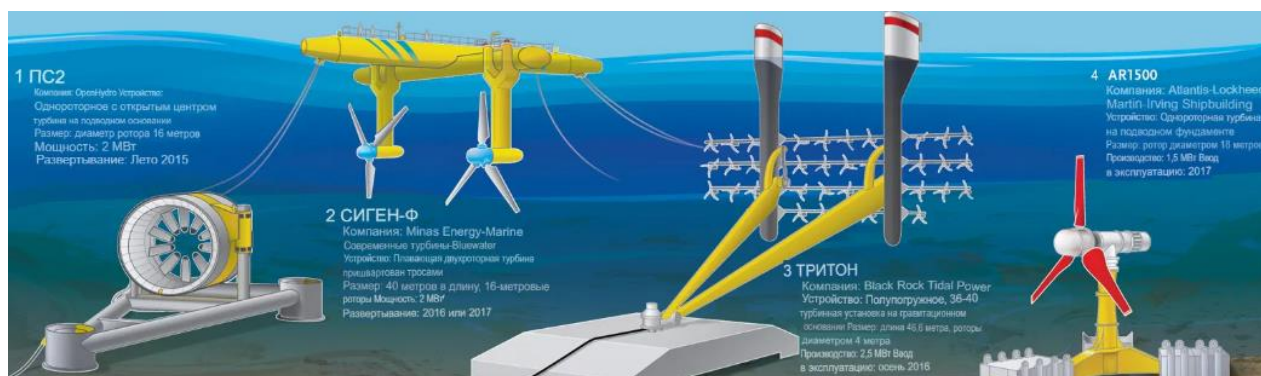


Рис. 2. Типы гидрогенераторов водяного потока

Таким образом, мировой океан и реки обладают богатыми запасами энергии, использование которых требует создания инноваций, позволяющих превратить течений в полезный источник стабильной энергии, с помощью которого можно восполнить нехватку энергии там, где нужно и снизить глобальные выбросы CO₂. Наиболее выгодно получать энергию течений от рек. Во-первых, удобнее монтировать и обслуживать. Во-вторых, реки текут непрерывно в одном направлении. Это делает реки отличным источником для обеспечения базовой нагрузки. А с помощью гидроаккумуляторов можно накапливать электроэнергию и выдавать энергию в пики нагрузки. Для оптимизации работы можно использовать ИИ [6]. В-третьих, в реках нет агрессивной соленой среды, следовательно, срок эксплуатации будет дольше. Также нет необходимости в дополнительной защите от крупных морских обитателей. Перспективы развития энергии речных течений могут быть значительными, и улучшение технологий и расширение масштабов производства могут привести к дополнительным выгодам для экономики и окружающей среды.



Рис. 2. Deep Green – планеры по принципу «летающего змея»

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шарапов Д.А. Экологические проблемы современности / Д.А. Шарапов // Студенческий форум. 2022. № 30(209). С. 8–9. – EDN QASONU.
2. Кондранова А.М. О достоинствах и недостатках гидроэлектростанций / А.М. Кондранова, М.В. Куимова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 465–467.
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие/ В.А. Агеев, А.А. Костригин. Саранск :Изд-во Мордов. ун-та, 2018.
4. Портативная речная турбина Idénergie способна производить 12 кВтч электроэнергии в день // BuildingTECH URL: <https://building-tech.org/Энергия/portatyvnaya-rechnaya-turbyna-idénergie-sposobna-proyzydyt-12-kvtch-elektroenergyy-v-den?fs=e&s=cl>
5. Технологии производства электроэнергии с использованием ресурсов мирового океана // ХАБР URL: <https://habr.com/ru/articles/593069/>
6. Георгиев М.А. Использование справочных систем на основе искусственного интеллекта для гидротехнического проектирования / М.А. Георгиев, Д.А. Шарапов // Неделя науки ИСИ: Часть 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 20–22.

УДК 632.123

М.А. Кришталь, И.Е. Фролова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ХАРАКТЕРА ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РЕКИ ТОСНО

Целью работы является проведение анализа условий и характера затопления и подтопления территории р. Тосно, на которой необходимо провести мероприятия по инженерной защите.

Затопление участка проектирования происходит при прохождении максимальных расходов воды на р. Тосна за счет подпора устьевых участков ручья Горелый и Трофимов.

Была выполнена оценка вероятности затопления территории проектирования.

На рис. 1 представлена схема привязки объекта проектирования на фотографиях.

Выполнены расчеты максимальных уровней воды различной обеспеченности (1, 3, 5, 10, 25, 50%) с землеустроительными работами по межеванию границ зон затопления при заданных уровнях [1–5].

В таблице 1 приведены максимальные уровни воды различной обеспеченности по каталогу уровенных характеристик затопления р. Тосна г. Тосно [7].

Таблица 1 – Максимальные уровни воды различной обеспеченности

Створ	Максимальные уровни воды (м БС) обеспеченностью						
	0,5%	1%	3%	5%	10%	25%	50%
р. Тосна – ст. Тосно	31,68	31,48	31,24	31,11	30,89	30,50	30,02

В соответствии с границами зоны затопления при уровне воды 1% в зону затопления попадает 60 % территории проектирования.

На рис. 2 **Ошибка! Не указано имя закладки.**приведен характер затопления по спутниковому снимку на 19 апреля 2018 г. Максимальный уровень воды по г/п р. Тосна – ст. Тосно отмечался 19.04.2018 г. и составил 596 см или 30,65 м БС.

Зоны подтопления устанавливаются в отношении территорий, прилегающих к зонам затопления, повышение уровня грунтовых вод которых обусловливается подпором грунтовых вод уровнями высоких вод водных объектов.

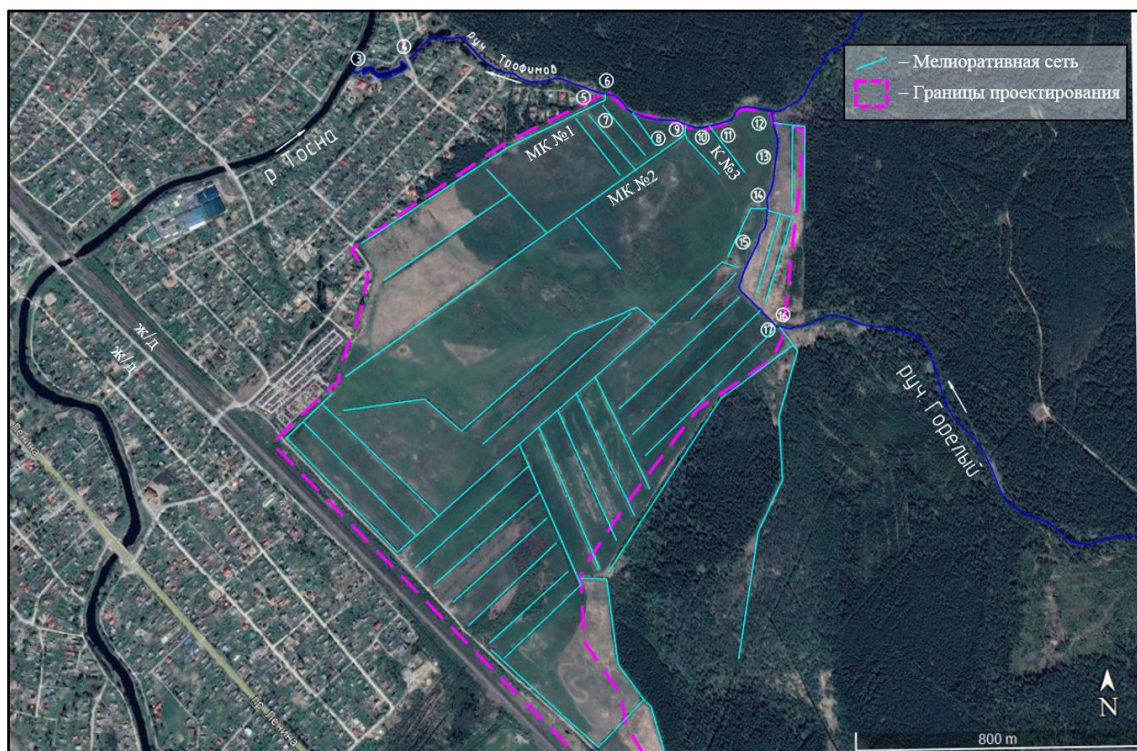


Рис. 1



Рис. 2

В границах зон подтопления устанавливаются:

- 1) территории сильного подтопления – при глубине залегания грунтовых вод менее 0,3 м;
- 2) территории умеренного подтопления – при глубине залегания грунтовых вод от 0,3–0,7 до 1,2–2,0 м от поверхности;
- 3) территории слабого подтопления – при глубине залегания грунтовых вод от 2 до 3 м.

В соответствии с геологическими изысканиями [9] грунтовые воды со свободной поверхностью зафиксированы на глубинах от 0,1 до 2,3 м, на абсолютных отметках от 28,7 до 30,1 м.

Грунтовые воды приурочены к торфу, пескам озерно-ледниковых и аллювиальных отложений и прослоям песка в толще озерно-ледниковых суглинков и супесей.

Согласно Приложению И СП 11-105-97 часть II рассматриваемая территория относится к участку I-A-1 по подтопляемости (постоянно подтопленные в естественных условиях). Подтопление территории обусловлено высоким положением уровня грунтовых вод.

В границах зон затопления, подтопления, в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности отнесенных к зонам с особыми условиями использования территорий, запрещается размещение новых населенных пунктов и строительство объектов капитального строительства без обеспечения инженерной защиты таких населенных пунктов и объектов от затопления, подтопления.

По результатам проведенного анализа выявлено следующее:

- центральная и северо-западная части территории проектирования расположены на ровной поверхности с отметками 31,60–33,4 м БС и не затопляются при прохождении половодья 1%-ной обеспеченности;
- в северо-восточном углу территории происходит слияние ручьев Трофимов и Горелый. Участок находится на пониженных отметках рельефа (29,20–30,00 м БС), затопляется в период высокой водности;
- пропускная способность русла руч. Трофимов – устье руч. Горелого в условиях отсутствия подпора и дополнительных выпусков недостаточна, и при прохождении максимальных расходов воды редкой повторяемости будет наблюдаться затопление прилегающей территории.

В целях дальнейшего использования рассматриваемого участка под застройку необходимо провести комплексные мероприятия инженерной подготовки территории от затопления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения.
2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
3. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства.
4. СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99* Строительная климатология.
5. СП 104.13330.2016. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.
6. Отчет о гидрологическом обследовании ручья Горелый, расположенного в восточной части г. Тосно, Тосненского района Ленинградской области. ФГБВУ «Центррегионводхоз» Филиал «Балтводхоз», 2022 г.
7. Технический отчет о выполнении работ по Государственному контракту №29.2016 «Определение границ зон затопления, подтопления на территории Ленинградской области»
8. Каталог населенных пунктов Ленинградской области, подверженных периодическому затоплению (подтоплению) при высоких уровнях воды в реках и каналах. СПб, 2001, 30 с.
9. Результаты инженерно-геологических изысканий по объекту «Подготовка проекта планировки территории и проекта межевания территории юго-восточной части г. Тосно Тосненского района

СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ЗАТВОРОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Проблема обледенения затворов наиболее актуальна при эксплуатации водопропускных гидротехнических сооружений в осенне-зимний период. Большая часть гидротехнических сооружений России расположена в районах с суровыми климатическими условиями, где возможны различные ледовые затруднения при работе механического оборудования ГЭС (обмерзание опорно-ходовых частей, уплотнений в местах примыкания затвора к поверхности сооружения, примерзание затворов к их порогам). Результатом является несоответствие механического оборудования требованиям, предъявляемым к нему по водонепроницаемости контактов затвора с сооружением, необходимой скорости маневрирования, параметрам мощности механизмов для операций с затворами.

Цель работы – провести анализ существующих систем обогрева затворов гидроэлектростанций и выполнить тепловой расчет системы обогрева закладных частей и порога затвора водосливной плотины.

В п. 5.4.3.2 СТО 17330282.27.140.017-2008 приведена информация о требованиях к эксплуатации механического оборудования, о необходимости установки специальных устройств на зимний период (в суровых климатических условиях) [1]. Допускается использовать тепляки, монтируемые со стороны нижнего бьефа на плоских затворах; электронагревательные приборы внутри конструкции затвора; устройства с разводящей сетью труб для подачи пара на части затвора и другие. Ряд работ содержат методики, позволяющие определить влияние вмерзания в лед для морских причалов на нагрузки от льда [2, 3].

Активные методы борьбы с обледенением механического оборудования можно разделить на три основные группы – механические (отколка льда, электроимпульсная противообледенительная система и пневматические средства), физико-химические (жидкостные средства, вазелины, низкоэнергетические поверхности, комбинированные средства) и тепловые. Наибольшее распространение получили тепловые средства защиты от обледенения, такие как обогрев теплоносителем, тепловая завеса, индукционный обогрев, обогрев инфракрасным излучением, обогрев ТЭНами, шинный обогрев, электрообогрев с применением нагревательных элементов. Каждый из указанных методов обладает рядом достоинств и недостатков [4].

Перспективным методом считается использование нагревательных элементов на основе композитного резистивного материала (КРМ) «ЭКОМ». Данная технология применена в подводном автотранспортном тоннеле на Канонерский остров в Санкт-Петербурге и должна была быть использована для защиты затворов Бурейской, Зейской ГЭС, клапанного затвора Нарвской ГЭС, но подтверждения использования данной технологии в открытых источниках нет [5, 6]. На данный момент проектируется Нижне-Зейская ГЭС, где вопрос о выборе системы обогрева сегментных затворов актуален. На Нижне-Бурейской ГЭС применяются конструкции сегментных затворов с электрообогревом системой греющих кабелей, что в сравнении с другими перечисленными методами достаточно эффективно и экономически целесообразно. Таким образом, исходные данные для теплового расчета системы обогрева закладных частей и порога затвора водосливной плотины в соответствии с ВСН 029-70 [7]:

Расчетная температура наружного воздуха $\theta = -28,9^{\circ}\text{C}$; время подготовки затвора к маневрированию $\tau = 10$ часов; длина обогреваемых частей $l = 59,2$ м; толщина намерзшего льда $\delta = 0,01$ м; толщина слоя льда, подлежащего растоплению $\delta_0 = 0,01$ м; подводимое напряжение 380/220 В; количество обогреваемых затворов $n = 4$ шт.

Для таяния слоя льда толщиной $\delta = 0,01$ м необходимо подвести мощность, которая может быть определена после нахождения зависимости между временем τ , необходимым для таяния слоя льда, и интенсивностью теплового потока, идущего ко льду $q_{\text{л}}$ по формуле (1).

$$\tau = k\delta/q_{\text{л}} + (k\lambda(t_{\text{ср}} - \theta)/q_{\text{л}}^2) \ln(m/(m - q_{\text{л}}\delta)), \quad (1)$$

$$k = \rho\gamma_{\text{л}} + C_{\text{л}}\gamma_{\text{л}}(t_{\text{ср}} - \theta)/2, \quad (2)$$

$$m = q_{\text{л}}(\lambda/\alpha + \delta_0) - \lambda(t_{\text{ср}} - \theta), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от льда в воздух, $\alpha = 20$ ккал/(м² · ч · град); ρ – теплота плавления льда, $\rho = 80$ ккал/кг; $C_{\text{л}}$ – теплоемкость льда, $C_{\text{л}} = 0,5$ ккал/(кг · ккал); λ – коэффициент теплопроводности льда, $\lambda = 2$ ккал/м · ч · град; $\gamma_{\text{л}}$ – объемный вес льда, $\gamma_{\text{л}} = 920$ кг/м³; $t_{\text{ср}}$ – температура на поверхности закладной части, $t_{\text{ср}} = 0^\circ\text{C}$.

Таяние льда будет происходить, если величина $q_{\text{л}}$ будет удовлетворять условию (4):

$$q_{\text{л}} \geq q_{\text{л min}} = \lambda(t_{\text{ср}} - \theta)/(\lambda/\alpha + \delta - \delta_0). \quad (4)$$

$$q_{\text{л min}} = 2(0 - (-28,9))/(2/20 + 0,01 - 0,01) = 578 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Подставив в формулы (1), (2), (3) известные данные:

$$k = 80 \cdot 920 + 0,5 \cdot 920(0 - (-28,9))/2 = 80247 \text{ ккал}/\text{м}^2;$$

$$m = q_{\text{л}}(2/20 + 0,01) - 2(0 - (-28,9)) = (0,11q_{\text{л}} - 57,8) \text{ ккал}/\text{м}^2;$$

$$\tau = 802,47/q_{\text{л}} + 4,6 \cdot 10^6/q_{\text{л}}^2 \cdot \ln((0,11q_{\text{л}} - 57,8)/(0,1q_{\text{л}} - 57,8)).$$

Задаваясь значениями интенсивности теплового потока $q_{\text{л}}$ можно определить время, необходимое для таяния слоя льда толщиной 0,01 м. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение интенсивности теплового потока

$q_{\text{л}}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	600	620	640	660	680	700	800	900	1000
$\tau, \text{ ч}$	18,29	12,24	9,28	7,50	6,30	5,44	3,23	2,30	1,79

Пример расчета при $q_{\text{л}} = 600$ ккал/(м² · ч):

$$\tau = 802,47/600 + 4,6 \cdot 10^6/600^2 \cdot \ln((0,11 \cdot 600 - 57,8)/(0,1 \cdot 600 - 57,8)) = 18,3 \text{ ч}.$$

По таблице 1 производится построение графика, представленного на рисунке 1.

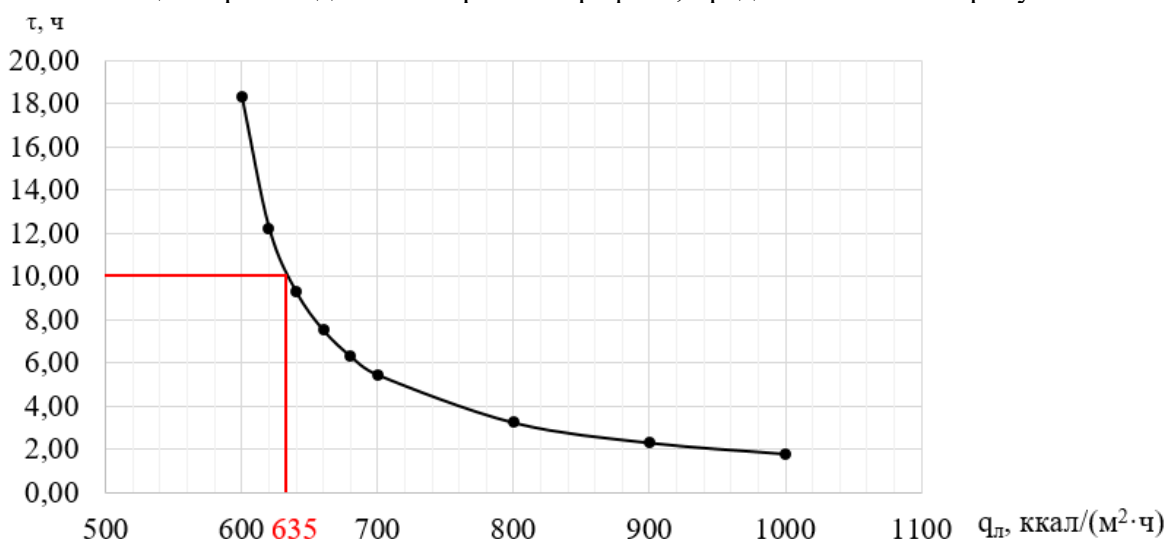


Рис. 1. График зависимости $\tau = f(q_{\text{л}})$

При $\tau = 10$ ч по графику определяется $q_{\text{л}} = 635$ ккал. Значение критерия Фурье, которое необходимо для определения теплового потока в бетон:

$$F_{\alpha} = a\tau/b^2, \quad (5)$$

где a – коэффициент температуропроводности бетона, $a = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$; b – глубина заложения закладных частей в бетон, $b = 0,02 \text{ м}$.

$$F_a = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 10/0,02^2 = 75.$$

Отношение между тепловым потоком в лед q_l и в бетон q_b [5]:

$$\varepsilon_{1\text{ср}} = q_l/q_b = 12.$$

$$q_b = 635/12 = 53 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Количество тепла, которое необходимо для таяния льда с учетом потерь на нагрев бетона

$$Q = q_l F_l + q_b F_b, \quad (6)$$

где F_l – площадь обогреваемых частей, обращенных в сторону обледенения, $F_l = 11,84 \text{ м}^2$; F_b – площадь обогреваемых частей, обращенных в сторону бетона, $F_b = 23,68 \text{ м}^2$.

$$Q = 635 \cdot 11,84 + 53 \cdot 23,68 = 8773,44 \text{ ккал}/\text{ч}.$$

Мощность, необходимая для обогрева закладных частей затвора:

$$P = k_1 k_2 Q, \quad (7)$$

где k_1 – коэффициент запаса, учитывает прогрев прилежащих металлоконструкций, $k_1 = 1,3$; k_2 – переводной коэффициент ккал/ч в кВт, $k_2 = 1/860$.

$$P = 1,3 \cdot 1/860 \cdot 8773,44 = 13,3 \text{ кВт}.$$

Мощность, необходимая для обогрева четырех затворов:

$$P_{\text{общ}} = 13,3 \cdot 4 = 53,2 \text{ кВт}.$$

Выводы. При проектировании гидротехнических сооружений в северных регионах важно предусматривать системы обогрева затворов ввиду необходимости пропуска весеннего паводка, когда обледенения могут сохраняться до летних периодов времени. Для выбора определенного метода борьбы с обледенением механического оборудования необходимо проводить технико-экономическое обоснование, потому что даже некоторые разрабатываемые методы, считающиеся перспективными, не могут быть применены на практике из-за высокой сложности и стоимости материалов и работ. В работе был произведен тепловой расчет системы обогрева закладных частей и порога затвора водосливной плотины в соответствии с ВСН 029-70, который может стать основой для дальнейшего выбора составляющих системы – греющих кабелей, которые по результатам анализа различных методов, являются наиболее распространенным и эффективным методом обогрева затворов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СТО 1733028.27.140.017-2008. Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.07.2008. Москва: ОАО РАО «ЕЭС РОССИИ», 2008 – 73 с.
2. Sharapov D. Numerical calculation of the ice grow and empirical calculation results / D. Sharapov, K. Shkhinek // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 834-836. – P. 1448-1454. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.834-836.1448.
3. Шарапов Д.А. Численная оценка необходимой энергии для предотвращения образования воротников на морских причалах Арктики / Д.А. Шарапов, АС. Большев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2016. – № 44-45. – С. 20–25.
4. Борисова Е.М. Системы обогрева затворов гидротехнических сооружений. Системы обогрева пазов и перехвата протечек Бурейской ГЭС [Электронный ресурс] : магистерская диссертация : 13.04.02 / Е.М. Борисова. – Саяногорск, Черемушки : СФУ; Саяно-Шушенский филиал СФУ, 2020.
5. Бальзанников М.И. Инновационные методы совершенствования затворов гидротехнических сооружений / М.И. Бальзанников // Приволжский научный журнал. – 2024. – № 1(69). – С. 78–90.
6. Бакановичус Н.С. Обоснование новой конструкции обогрева затворов гидротехнических сооружений на основе композиционных резистивных материалов автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.07 / Бакановичус Н.С. – Санкт-Петербург, 2007. – 23 с.
7. ВСН 029-70. Указания по расчету систем обогрева элементов гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений: утверждены Главгидротехстройпроектом Минэнерго СССР 23.01.1970 г.

ВЫБОР ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК
С УЧЕТОМ СУЩЕСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

В современных условиях проектирования систем водоснабжения повысительные насосные установки (ПНУ) являются неотъемлемой частью инженерных сетей зданий, особенно при обеспечении требуемого давления воды на верхних этажах. Выбор данного оборудования должен осуществляться с учетом действующих нормативных документов, таких как СП 30.13330.2020 [2], ГОСТ 19681-2016 [3] и других регламентирующих актов.

Целью работы является анализ нормативных требований к выбору повысительных насосных установок, сравнение расчетных параметров оборудования по различным редакциям СП 30.13330 и оценка экономической эффективности внедрения насосных станций в современных системах водоснабжения зданий.

Согласно СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [2], давление воды перед санитарно-техническим прибором должно соответствовать паспортным данным прибора, но не быть менее 0,2 МПа (20 м вод. ст.). ГОСТ 19681-2016 [3] также предписывает минимальные требования к напору водоразборной арматуры [4].

В связи с этим проектировщикам необходимо учитывать реальную доступность давления в наружной сети и, при необходимости, предусматривать установку повысительных насосов.

Расчет напора повысительной насосной установки проводится по формуле [2]:

$$H_p = H_{geom} + \sum H_{l,tot} + H_{пр} - H_{гар}, \quad (1)$$

где H_{geom} – геометрическая высота подачи воды, от оси насоса до самого высокого водоразборного прибора; $H_{l,tot}$ – потери давления в трубопроводах, арматуре, узлах учета; $H_{пр}$ – необходимый свободный напор у прибора (не менее 20 м вод. ст.); $H_{гар}$ – запас напора для обеспечения стабильности работы системы (обычно 10–15%).

С учетом требований СП 30.13330.2020 [2] и анализа статьи Вороновой [6], в случае, если гарантированное давление в наружной сети ниже необходимого, следует предусмотреть установку насосных станций.

Выбор конкретной модели повысительного насоса зависит от:

- расчётного напора и расхода воды в системе;
- типа здания и его этажности;
- возможности резервирования насосов (наличие дублирующего агрегата);
- уровня шума, создаваемого насосами, и требований к их размещению [5];
- требований к энергоэффективности и возможности управления частотными преобразователями [6].

На основании выполненных расчетов параметров системы водоснабжения 4-этажного здания, приведенных в табл. 1, выполнен расчет напора повысительной насосной установки H_p в соответствии с СП 30.13330.2016 [1]:

$$H_p = H_{geom} + 1,2 \sum H_{l,tot} + H_{пр} - H_{гар}. \quad (2)$$

Расчетный расход воды q_p через насосную станцию, определен на основании потребления системы водоснабжения, учитывая количество потребителей, режим работы и нормативные требования.

Получено значение H_p , равное 3,832 м и сделан вывод о том, что установка насоса не требуется.

Таблица 1 – Параметры 4-этажного здания для подбора насоса

Параметр	Обозначение	Значение
Геометрическая высота, м	H_{geom}	14,30
Сумма потерь, м	$\sum H_{l,tot}$	7,39
Свободный напор, м	$H_{пр}$	2,00
Гарантированный напор, м	$H_{гар}$	29,00
Расход насоса, м ³ /ч	q_p	3,70

Согласно п. 8.21 СП 30.13330.2020 [2] свободный напор (давление) на отметке наиболее высоко расположенного санитарного прибора $H_{св} = 20$ м. И тогда при прочих равных условиях расчет по формуле (2) дает следующий результат: H_p , равное 12,69 м. Из этого следует вывод о необходимости применения насоса с напором не менее 12,69 м.

Для 16-этажного здания аналогичный расчет дал следующие результаты:

СП 30.13330.2016 [1] – $H_p = 33,3$ м, $q_p = 40,75$ м³/ч;

СП 30.13330.2020 [2] – $H_p = 49,4$ м, $q_p = 40,75$ м³/ч.

Выбор насосного оборудования напрямую влияет на затраты на систему водоснабжения. Ниже приведены ориентировочные стоимости насосов (таблица 2).

Таблица 2 – Ориентировочные стоимости насосов

Здание	Нормативный документ	Требуемый напор, м	Расход, м ³ /ч	Ориентировочная стоимость, руб.
4 этажа	СП 30.13330.2016	-	-	-
	СП 30.13330.2020	13	3,70	от 6 000
16 этажей	СП 30.13330.2016	34	40,75	от 30 000
	СП 30.13330.2020	50	40,75	от 60 000

Выводы

Изменение нормативных требований, введенных СП 30.13330.2020 [2], значительно повлияло на расчеты напора и необходимость установки насосного оборудования. Введенные требования о минимальном напоре 20 м привели к тому, что даже в малоэтажных зданиях необходимо предусматривать насосные станции, что увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты. В то же время, правильно подобранное оборудование позволяет минимизировать дополнительные расходы и обеспечить надёжную работу системы водоснабжения. Выбор насосного оборудования с учётом экономических показателей позволит снизить затраты на закупку и эксплуатацию насосных установок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85* (с Поправкой, с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2019.
2. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.: Стандартинформ, 2020.
3. ГОСТ 19681-2016. Насосы центробежные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017.
4. Туманова А.Б. Определение требуемых расходов и напоров насосов и насосных станций для внутренних систем зданий (согласно нормам Российской Федерации): методическое пособие. – М.: Grundfos.
5. Ермак А., Александров В. Анализ нормативных изменений в проектировании систем водоснабжения зданий // Научно-технический вестник. 2023. №4. С. 35–49.
6. Воронова Л. Оптимизация проектирования насосных станций в системах водоснабжения // Современные инженерные системы. 2023. №2. С. 12–27.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБОПРОВОДА
В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ УДАРОМ

В работе проводится исследование эффекта циклических напряжений, возникающих при гидравлическом ударе в трубопроводе. Такое воздействие возникает в ситуации, когда в трубопроводе систематически происходит резкое закрытие или открытие задвижки.

Явление гидравлического удара подвергалось множеству исследований и достаточно хорошо изучено [1, 2], однако основное внимание уделялось определению максимального возникающего давления, а также продолжительности его действия. Этих данных достаточно для оценки возможности разрушения трубопровода при однократном возникновении в нём гидравлического удара. В трубопроводах, оснащённых автоматическими системами управления, гидравлический удар может возникать многократно (тысячи и более раз). При этом, сам по себе гидравлический удар сопровождается эффектом циклического воздействия, т.к. возникают чередующиеся и постепенно убывающие значения повышенных и пониженных напряжений в стенках трубопровода. Произведение количества гидравлических ударов на количество циклов изменения напряжения в каждом ударе достигает сотен тысяч и миллионов, что представляет собой многоцикловое нагружение. Этот аспект гидравлического удара менее исследован [3, 4], в особенности в трубах малого диаметра (в приведенных исследованиях радиусы используемых труб более 50 мм – 100 и 125 мм [3], 93,3 мм [4]).

В промышленности для предотвращения явления гидравлического удара используют компенсаторы гидроударов, однако они редко применяются вне промышленных объектов, таких как установки по добыче нефти или установки сжижения природного газа. Данное исследование поможет узнать влияние частоты и скорости закрытия задвижки на срок службы трубопровода и необходимость установки компенсаторов в подверженных гидравлическому удару участках, таких как примыкающие к автоматическим кранам или к дистанционно регулируемым насосам.

Исследование нацелено на изучение гидравлического удара и эффекта циклического нагружения им трубы.

Цель исследования – разработать методику расчета количества циклов гидравлического удара до разрушения образца трубопровода под действием гидроудара.

Гидравлический удар – эффект резкого увеличения или уменьшения давления в системе, вызванного резким изменением скорости потока.

При циклическом приложении нагрузки в стенках трубопровода появляются микротрещины, которые постепенно объединяются во все большие и большие трещины, что может привести к разрыву трубы. Этот процесс называется усталостным разрушением. Опасность усталостного разрушения заключается в том, что разрушение участка происходит при нагрузке значительно ниже предела прочности. Таким образом, стандартные требования, предъявляемые при расчете прочности трубопроводов, оказываются соблюденными. Визуальные инспекции также могут быть недостаточными для своевременной диагностики и обнаружения прогрессирующего разрушения элемента, так как трещина может распространяться в толще материала. Использование же акустических и иных технических методов неразрушающего контроля за состоянием трубопроводов весьма дорогостояще. В связи с этими причинами предварительный расчет срока службы трубы – важная задача при проектировании трубопровода, оборудованного автоматическими системами управления.

Методика исследования: для расчета количества циклов, необходимых для разрушения образца, необходимо:

1. В первую очередь – установить предельные значения напряжения, воспринимаемого участком трубы. Для этого решается задача нахождения давления в трубопроводе и скорости течения жидкости в нём в одномерном (гидравлическом) нестационарном приближении [1, 2]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho a^2 \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\lambda v |v|}{2D_i} = 0. \quad (2)$$

Здесь p – давление в трубопроводе, Па; t – время, с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; v – скорость течения, м/с; x – координата по оси трубы, м; D_i – внутренний диаметр трубопровода, м; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; a – скорость распространения волны гидравлического удара в трубопроводе, рассчитываемая по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{E_{\text{ж}}}{\rho} \frac{1}{1 + \frac{E_{\text{ж}} D}{E_{\text{т}} \delta_t}}}, \quad (3)$$

где $E_{\text{т}}$ – модуль упругости материала стенок трубы, Па; $E_{\text{ж}}$ – модуль упругости жидкости, Па; D – средний диаметр стенки трубопровода, м; δ_t – толщина стенки трубопровода, м.

На основании полученного закона изменения давления со временем $p(t)$ находится ряд максимальных и ряд минимальных давлений в исследуемом сечении трубопровода. Стоит отметить, что для решения системы уравнений (1)-(2) необходимо задать начальные значения p_0 давления в трубе и v_0 скорости в трубе, которые принимаются отдельно для каждой конфигурации системы и каждого возможного сценария возникновения гидравлического удара в ней.

2. Далее необходимо пересчитать полученные значения давления в напряжения в стенке трубопровода и затем в коэффициенты интенсивности напряжений по формуле [5]

$$K_{\text{max}} = \sigma_{\text{max}} \sqrt{\pi l}, \quad K_{\text{min}} = \sigma_{\text{min}} \sqrt{\pi l}, \quad (4)$$

где l – половина длины образующейся трещины.

3. По полученным значениям определяется количество циклов N до разрушения с помощью уравнения, определяющего скорость роста усталостной трещины [6]:

$$\frac{dl}{dN} = C \left(0,25 K_{\text{max}} + 0,5 K_{\text{min}} + 0,25 \frac{K_{\text{min}}^2}{K_{\text{max}}} \right)^m, \quad (5)$$

где C , m – коэффициенты, зависящие от материала.

Для учета накопления повреждений в стенке трубы воспользуемся следующим алгоритмом [7]: первоначально задаёмся начальной длиной дефекта в трубопроводе $2l_0$. Начиная с цикла №1 по уравнению (5) рассчитывается новая длина трещины $2l$, затем происходит сравнение коэффициента интенсивности напряжений K_{max} с критическим значением коэффициента интенсивности напряжений для материала, а также длины трещины с толщиной стенки. Пока ни одно из сравнений не дает положительный результат, производится расчет очередного цикла гидравлического удара.

Таким образом, результатом решения задачи будет число циклов N до того, как целостность трубы будет нарушена (либо в виде протечки в случае, если нарушится второе условие и станет $2l > \delta_t$, либо в виде разрушения трубопровода, если нарушится первое условие и станет $K_{\text{max}} > K_{\text{кр}}$).

Вывод. На основании проведенного исследования можно утверждать, что предложенный метод расчета позволяет оценить срок службы (понимаемый в данном контексте как количество циклов гидравлического удара) участка трубопровода под периодическим воздействием повышенного и пониженного давления, вызванного гидравлическим ударом, а также предсказать, произойдет ли протечка или разрушение трубопровода. Для проверки метода запланировано экспериментальное подтверждение в лаборатории ВШ ГиЭС ИСИ СПбПУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Streeter V.L., Wylie E.B., Bedford K.W. Fluid Mechanics. WCB/McGraw Hill, 1998.
2. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. URSS.
3. Vojdani A., Farrahi G.H. Reliability assessment of cracked pipes subjected to creep-fatigue loading // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2019. Vol. 104. P. 102333.
4. Meniconi S., Brunone B., Ferrante M. Water-hammer pressure waves interaction at cross-section changes in series in viscoelastic pipes // Journal of Fluids and Structures. 2012. Vol. 33. P. 44–58.
5. Janssen, Michael & Zuidema, J. & Wanhill, Russell. (2024). Fracture Mechanics: An Engineering Primer. 10.59490/tb.86.
6. Zakaria, Mighouar & Zahiri, Laidi & Khatib, Hamza & Mansouri, Khalifa & Majid, Z. (2018). Effect of water hammer on pipes containing a crack defect. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 18. 25–31.
7. Mighouar Z. et al. Damage Accumulation Model for Cracked Pipes Subjected to Water Hammer // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. 2020. Vol. 5, № 4. P. 523–530.

УДК 627.034

Н.В. Лысоконов, А.С. Большев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОСТАНОВКА ПЛАТФОРМ С АТОМНЫМИ ЭНЕРГООБЛОКАМИ В АРКТИКЕ

Цель работы – исследование вариантов постановки платформы с АЭС, факторов, влияющих на выбранный тип платформы, а также ограничений в применении подобных гидротехнических сооружений в зоне Арктики.

Развитие Арктики – стратегически важное направление, включающее масштабные проекты по освоению месторождений полезных ископаемых, обеспечивающих ресурсную базу экономики. Реализация этих проектов требует создания транспортной инфраструктуры и надежного энергоснабжения, особенно в труднодоступных районах [1].

В условиях удалённости и сурового климата перспективным решением становится использование автономных источников энергии, таких как атомные станции малой мощности (АСММ) стационарного или транспортабельного типа. Их применение обеспечивает стабильное энергоснабжение и способствует эффективному освоению региона. Например, освоение месторождений в Республике Саха требует энергоснабжения 10–27 МВт, но их подключение к якутской энергосистеме нерентабельно. Развитие порта Тикси с готовой инфраструктурой может стать ключевым решением, ускоряя освоение региона и Северного морского пути [1, 2].

Отличительными особенностями данных платформ стоит отметить их расположение. Они устанавливаются в морской акватории, что позволяет транспортировать их в необходимое место по воде, предварительно построив их на заводе. Оба типа платформ могут быть перемещены в другую локацию после исчезновения потребности в энергоресурсах в зоне эксплуатации. Главным отличием их между собой является то, что один тип плавает, а другой устанавливается либо на искусственное основание вблизи берега, либо на дно моря. Такое различие объясняется областью применения платформы с АЭС. Примеры платформ представлены на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. Транспортабельная АЭС с ядерной установкой ВВЭР-300 на ледостойкой платформе



Рис. 2. Плавучая атомная электростанция «Академик Ломоносов»

Морские платформы подвержены различным нагрузкам: ветровые, от течения, волновые (статическая и динамическая характеристики), ледовые (общие и локальные). Ключевое различие между вариантами постановки сооружений заключается в их способности сопротивляться внешним воздействиям. Методика определения нагрузок от ветра и течения для обеих конструкций базируется на использовании идентичных подходов. Однако расчет воздействий, обусловленных волновыми и ледовыми нагрузками, требует применения специализированных алгоритмов, поскольку каждая конструкция обладает уникальными параметрами, определяющими её поведение при внешних воздействиях. Значения волновых и ледовых нагрузок, обычно, превалируют силы от ветра и течения на несколько порядков [4].

Плавучий энергетический блок (ПЭБ) предполагается размещать в защищенных акваториях, где наблюдаются минимальные ледовые нагрузки либо они отсутствуют вовсе. Это ограничение накладывается в связи со способом удержания платформы на месте возле берега. Для этого используются гибкие связи, которые позволяют увеличить воспринимаемую максимальную внешнюю нагрузку. Важно отметить, что в случае возникновения экстремальных внешних нагрузок разрушение системы удержания ПЭБ недопустимо. Это обстоятельство накладывает ограничения в области проектирования и эксплуатации таких платформ. Кроме недопущения разрушения связей, ПЭБ должен сохранять остойчивость как при транспортировке на место постановки, так и при эксплуатации. Это в свою очередь ограничивает параметры корпуса и как следствие ПЭБ не может вместить в себя большой реактор, что ограничивает максимальную выработку электроэнергии. Для повышения устойчивости и безопасности станции возможно использование оградительных сооружений для снижения влияния волнения, течений, дрейфующего льда. Эта мера позволяет использовать плавучую платформу в более экстремальных условиях.

Особенностью расчета ПЭБ является определение нагрузок на сооружение от волнения. При расчете волновых нагрузок на плавучую платформу необходимо учитывать как статическую, так и динамическую составляющие, поскольку статический подход не всегда дает точную оценку безопасности конструкции в реальных условиях. Если влияние динамики значительно (обычно при собственном периоде колебаний более 3 секунд), нагрузки следует определять с учетом теории случайных нерегулярных волн. При расчете обязателен анализ регулярного волнения, однако не менее важным является анализ поведения ПЭБ в условиях нерегулярного двумерного или трехмерного волнения. Оптимальным методом в этом случае является вероятностный анализ, который характеризуется высотой и периодом волны. Изучение реакции платформы на нерегулярное волнение позволяет выявить резонансные колебания в различных степенях свободы и частотах, что способствует более точной оценке её устойчивости [5]. Для решения подобной задачи рекомендуется использовать программный комплекс Anchored Structures [4].

Транспортабельная АЭС на ледостойкой платформе в свою очередь предназначена для постановки в районах Крайнего Севера, где высокие ледовые нагрузки и оградительные сооружения не смогут в должной степени уменьшить внешние воздействия. Такой тип характеризуется высокой массой общей конструкции для сопротивления большим усилиям. Также такая платформа может позволить использование более мощных реакторов, что подойдет также для регионов с высоким энергетическим спросом [3]. К ограничениям такого метода постановки можно отнести повышенную материалоемкость, а также большую сложность транспортировки по сравнению с плавучей станцией.

При расчете стационарной платформы необходимо уделить особое внимание воздействию льда, а также транспортировке и постановке на морское дно. Расчет ледовых нагрузок учитывает изменчивость льда и сложность его разрушения. Важны сценарии взаимодействия льда с сооружением, его толщина, прочность, скорость движения [5]. Ледовые нагрузки делятся на глобальные (оценка прочности и устойчивости) и локальные (местная прочность). Главной задачей будет моделирование ледовых нагрузок при различных обстоятельствах, так как это главная составляющая устойчивости и безопасности платформы [6]. Кроме того, при определении устойчивости ледостойкой платформы, необходимо учитывать геологию морского дна в точке постановки, так как от контакта с грунтом зависит общая несущая способность.

Вывод. Анализ вариантов размещения платформ с АЭС в Арктике показал, что выбор конструкции определяется климатическими условиями и потребностями в энергоснабжении. ПЭБ мобильны и удобны в эксплуатации, но имеют ограничения по мощности и зонам постановки. Ледостойкие платформы, как основание для АЭС, способны выдерживать

большие ледовые нагрузки, но требуют массивных конструкций и более сложной логистики. Оценка внешних воздействий, включая волновые и ледовые нагрузки, требует комплексного подхода с применением вероятностных методов и специализированного моделирования. Полученные результаты позволяют сформировать обоснованные рекомендации по выбору и расчету платформ для АЭС, способствующие повышению безопасности и эффективности их эксплуатации в Арктике.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Макеев Г.А. Создание плавучих энергетических блоков: современное состояние и варианты будущих проектов //ББК 31.19 А92. – 2015. – С. 130.
2. Воропай Н.И. и др. Сравнительная эффективность использования атомных станций малой мощности в локальных энергосистемах на востоке России //ББК 31.19 А92. – 2015. – С. 59.
3. Замуков В.В. и др. Плавучая атомная электростанция малой мощности. Судостроение. – 2007. – №2. – С. 9–12.
4. Классификации П. постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Российский морской регистр судоходства. – 2018.
5. Григорьева О.А., Кутейников М.А., Большев А.С., Фролов С.А. Применение нормативных документов Российского морского регистра судоходства при определении внешних нагрузок на сооружения континентального шельфа России. Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2023, № 70/71, с. 117–127.
6. Шарапов Д.А., Большев А.С. Гидротехническое строительство. Ледовые воздействия на морские сооружения Арктики: учебное пособие. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023.

УДК 626-1/-2

М.А. Льнова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНЕНИЕ СИФОННОГО ВОДОЗАБОРА И ВОДОПРИЁМНОГО КОЛОДЦА В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы: сравнить эффективность, надёжность и экономичность сифонного водозабора и водоприёмного колодца для определения оптимального выбора в системах оборотного водоснабжения.

1. Принцип работы сифонного водозабора

Сифонный водозабор основан на использовании принципа сифонного эффекта, который позволяет осуществлять забор воды без применения насосного оборудования. Схема движения воды в сифонном водозаборе представлена на рисунке 1. Основные элементы сифонного водозабора включают в себя:

- Водоприёмную камеру, расположенную ниже уровня воды в источнике.
- Сифонную трубу, которая соединяет водоприёмную камеру с резервуаром или системой водоснабжения.
- Вакуумную систему для создания разрежения в сифонной трубе [1].

К преимуществам сифонного водозабора можно отнести отсутствие необходимости в насосном оборудовании, что приводит к снижениям энергозатрат; простоту конструкции и эксплуатации; возможность забора воды с больших глубин.

Однако также можно выделить и недостатки, например: ограниченная производительность; зависимость от перепада уровней воды; необходимость регулярного обслуживания для поддержания герметичности системы.

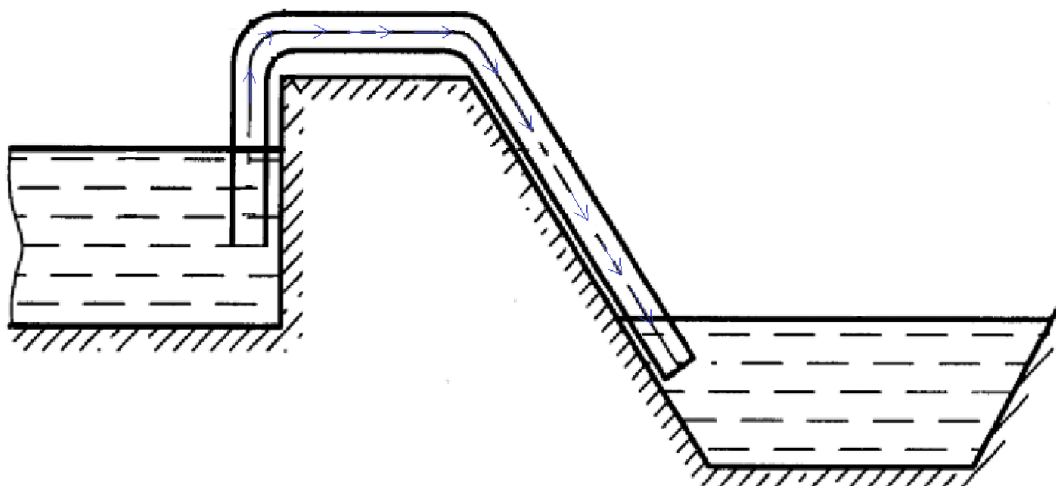


Рис. 1. Схема движения воды в сифонном водозаборе

2. Принцип работы водоприёмного колодца

Водоприёмный колодец представляет собой сооружение, расположенное вблизи источника воды, которое обеспечивает забор воды через фильтрующие элементы. Основные элементы водоприёмного колодца:

- Колодезная шахта, заглублённая ниже уровня воды в источнике.
- Фильтрующие элементы (гравийные или сетчатые фильтры) для предотвращения попадания твёрдых частиц.
- Насосное оборудование для подачи воды в систему водоснабжения.

Схема водозабора представлена на рисунке 2.

Преимуществами водоприёмного колодца являются: высокая производительность; возможность забора воды из различных источников (реки, озера, подземные воды); надёжность и долговечность конструкции.

Основные недостатки: высокие затраты на строительство и эксплуатацию; необходимость регулярной очистки фильтрующих элементов; зависимость от наличия электроэнергии для работы насосного оборудования [2].

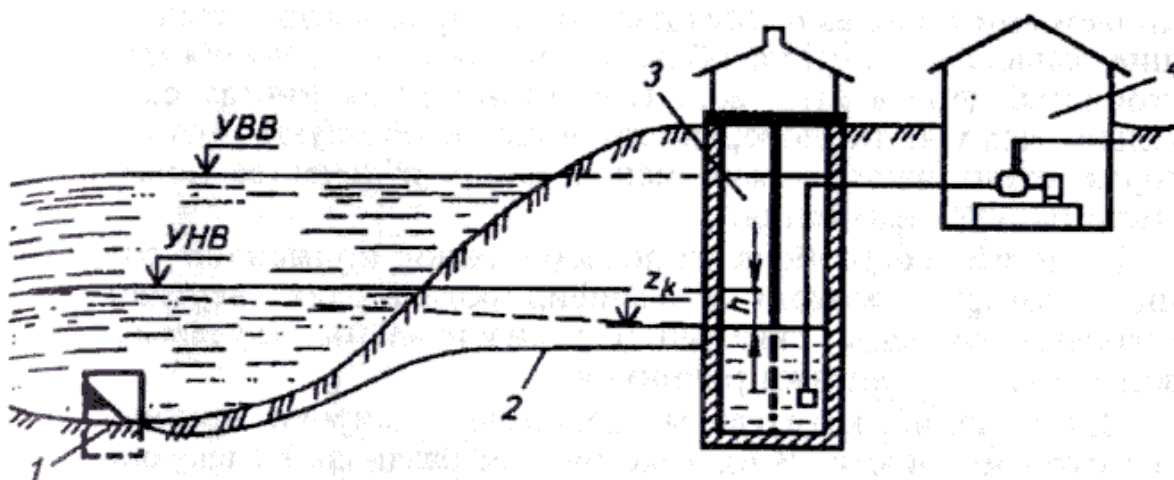


Рис. 2. Схема водозабора

- 1 – водоприемник; 2 – самотечная линия; 3 – береговой колодец; 4 – насосная станция;
 z_k – отметка воды в приемном отделении; h – гидравлические потери в тракте самотечных линий при минимальном уровне воды

3. Сравнение вариантов.

Для сравнения сифонного водозабора и водоприёмного колодца были рассмотрены следующие параметры:

Энергозатраты: Сифонный водозабор требует меньших энергозатрат, так как не использует насосное оборудование. Водоприёмный колодец, напротив, требует постоянного энергоснабжения для работы насосов.

Производительность: Водоприёмный колодец обладает большей производительностью, что делает его более подходящим для систем с высоким водопотреблением. Сифонный водозабор ограничен по производительности и подходит для систем с умеренным водопотреблением.

Надёжность: Оба типа водозаборов обладают высокой надёжностью, но сифонный водозабор требует более частого обслуживания для поддержания герметичности системы.

Экономичность: Сифонный водозабор более экономичен в эксплуатации благодаря отсутствию насосного оборудования. Однако водоприёмный колодец может быть более экономически выгодным в долгосрочной перспективе за счёт своей высокой производительности [3].

4. Рекомендации по выбору типа водозабора

Выбор типа водозаборного сооружения зависит от конкретных условий эксплуатации и требований системы оборотного водоснабжения. Сифонный водозабор рекомендуется использовать в случаях небольшого водопотребления, отсутствия необходимости в высоком напоре воды; ограниченного бюджета на строительство и эксплуатацию [4].

Водоприёмный колодец целесообразно применять в случаях высокого водопотребления, необходимости забора воды из различных источников, наличия стабильного источника электроэнергии [5].

Выводы

Проведённый анализ показал, что как сифонный водозабор, так и водоприёмный колодец имеют свои преимущества и недостатки. Выбор оптимального типа водозаборного сооружения должен основываться на конкретных условиях эксплуатации и требованиях системы оборотного водоснабжения. В случае необходимости экономии энергозатрат и при умеренном водопотреблении предпочтение следует отдать сифонному водозабору. Для систем с высоким водопотреблением и необходимостью забора воды из различных источников более подходящим решением является водоприёмный колодец.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Розанов Н.П., Васильева И.А., Журавлев Г.И. и др. Гидротехнические сооружения: учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1978. 647 с.
2. Багров О.Н., Антонов В.Н., Куликов Э.П., Смирнова О.А. Системы полного оборотного водоснабжения в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1978. 143 с.
3. Сарвин Г.Т. Из практики эксплуатации хвостохранилищ. Под общ. ред. Б.А. Волнина. М.: Атомиздат, 1980. 49 с.
4. Шабалин, А.Ф. Оборотное водоснабжение промышленных предприятий. – М. : Стройиздат, 1972. – 296 с.
5. Гришин Б.М. [и др.]. Водозаборные сооружения из поверхностных источников: учеб. пособие Пенза: ПГУАС, 2013. – 196 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ТОЛЩИНУ ЛЬДА В АКВАТОРИИ

Развитие Арктики связано со строительством инфраструктурных объектов, в том числе временных, использующих лед как конструкционный материал [1]. Ряд работ поднимает проблемы, связанные с образованием утолщений льда вокруг морских сооружений [2, 3]. На рост льда влияет множество параметров, например солёность [4, 5]. Оценка реальной толщины ровного льда представляется сложной задачей, так как существует целый ряд неопределённых параметров, например снежный покров, постоянное движение льда и снега, переменная солнечная активность, и другие, которые не учитываются в классических формулах для расчета роста льда.

Целью работы является расчет и сравнение влияния температуры на образование ледового покрова для выявления закономерностей в заданном регионе.

Морской лёд образуется на поверхности морской воды в холодный период, упрощенно он представляет собой кристаллы воды, которые могут иметь различную толщину и структуру разделенные солевыми пузырьками. Рост льда зависит от температуры, солёности, плотности, а также ветра, снежных покровов и течений.

Краткое описание проблемы исследования и ее актуальность: температурный режим является одним из ключевых факторов, определяющих динамику формирования и изменения толщины льда в акваториях. Ледяной покров, образующийся на поверхности водоемов, играет важную роль в экосистемах, а также оказывает значительное влияние на деятельность человека, включая транспорт, рыболовство и рекреацию.

Анализ влияния температурных колебаний на ледовый покров позволяет предсказать его поведение в будущем. В данной работе мы рассмотрим, как температурный режим влияет на формирование льда.

Расчёт толщины льда по ISO 19906 [6]. Рассматриваются месяцы, в которых средняя температура воздуха отрицательна. Данные о средней температуре взяты из открытых источников [7] и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя температура воздуха, °С

	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Температура	-1	-4	-5	-1

Определяем значение градусо-дней по формуле (1).

$$FDD = \sum (T_a - T_b), \quad (1)$$

где T_a – среднесуточная температура воздуха; T_b – температура замерзания воды.

Далее найдем толщину льда из формулы:

$$h = a FDD^b$$

где h – толщина льда; a – константа, зависящая от местоположения, местных ветров, течений и снежного покрова, принимаем равным 1,33; b – показатель степени, который может быть принят 0,58.

Значение градусо-дней мороза и средняя величина толщин льда в метрах представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение градусо-дней мороза и толщин льда, м

	Декабрь	Январь	Февраль	Март
FDD	37,2	166,78	310,31	344,28
h , м	0,11	0,26	0,37	0,39

Ледовый режим Лужской губы и прилегающих к ней акваторий определяется ее географическим положением, климатическими условиями, глубиной и рельефом дна, распределением вод под влиянием берегового стока, интенсивностью теплообмена с открытой частью Финского залива, циркуляцией воды.

Регион имеет круглогодичную навигацию. Продолжительность периода навигации зимой зависит, в основном, от ледовых условий.

Сведения о толщине ровного льда h по данным статистической обработки результатов термодинамического моделирования процессов ледообразования в районе проектируемого причала с использованием данных морского реанализа за многолетний период 1991–2020 гг. по ГМС Усть-Нарва по месяцам и годам приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значение толщины льда, м

Значение	М е с я ц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Толщина	0,28	0,39	0,40	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14

Расчетное значение толщины льда может не совпадать с фактическим по причинам, связанным с различными внешними условиями, таким как ветер, течения или толщина снежных покровов. В зависимости от ситуации и характера того или иного явления, оно может способствовать ускорению образования ледяного покрова или же наоборот.

В рассматриваемом случае сведения с наблюдательного пункта расходятся с расчётными данными от 1,5% (в марте) до 22% (в декабре).

Примечательно, что чем ближе к концу наблюдаемого периода ведётся сравнение, тем меньше становится расхождение, что может быть связано с внешними условиями, такими как ветер, см. таблицу 4.

Таблица 4 – Средняя скорость ветра, м/с

Значение	М е с я ц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Скорость	3,9	4,1	3,8	3,5	3,2	3,2	2,9	2,9	3,2	3,7	3,8	4,2

Годовая роза ветров для Лужской губы в районе расположения Объекта по данным статистической обработки результатов натурных наблюдений на ГМС Усть-Нарва приведена на рисунке 1.

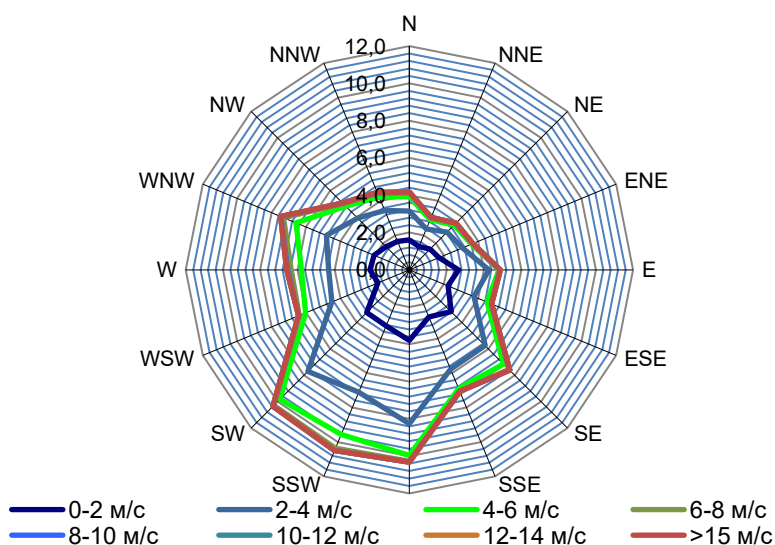


Рис. 1. Годовая роза ветров в районе расположения Объекта

Течения в Лужской губе формируются под действием стока вод реки Луга, ветра, течений Финского залива и рельефа дна. Сочетание и взаимодействие указанных факторов создают крайне сложный и разнообразный характер течений в губе. Данные о скоростях и их характер представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Скорости течений на акватории, м

Румб (откуда)	V, м/с	Скорость ветрового течения, м/с	Скорость приливного течения, м/с	Скорость постоянного течения, м/с	Скорость суммарного течения, м/с	Поверхностная скорость, м/с
NW	15,5	0,37	0,06	0	0,30	0,37
NNW	16,7	0,39	0,06	0	0,32	0,39
N	17,0	0,40	0,06	0	0,33	0,40
NNE	14,8	0,36	0,06	0	0,29	0,36
NE	15,4	0,37	0,06	0	0,30	0,37

Выводы. Расчетные данные, которые были получены с помощью ISO 19906, совпадают со значениями с наблюдательной станции с погрешностью в 1,5–22%. Необходимо отметить, что максимальное значение толщины льда за весь период расходится лишь на 1,5%, что говорит о высокой надежности данной методики. Для более детального изучения образования льда нужно учитывать такие факторы как ветер, течения и снежные покровы [8–10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреева С.А. Ледовые сооружения – средство освоения Арктики / С.А. Андреева // 64-я Международная научная конференция Астраханского ГТУ : материалы конференции, Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2020. – С. 1. – EDN VLWNJT.
2. Sharapov D. Structure freezing in the ice / D. Sharapov // E3S Web of Conferences : XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023), Vol. 431. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 06010. – DOI 10.1051/e3sconf/202343106010. – EDN PWXFDY.
3. Шарапов Д.А. Численная оценка необходимой энергии для предотвращения образования воротников на морских причалах Арктики / Д.А. Шарапов, А.С. Большев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2016. – № 44–45. – С. 20–25. – EDN XBSMJV.
4. Кудряшова Е.Е. Соленость морского льда / Е.Е. Кудряшова // Актуальные научные исследования: от теории к практике: Сборник материалов XLIV-ой международной очно-заочной НПК. В 3-х томах. – М.: Научно-издательский центр "Империя", 2024. – С. 35–38. – EDN DFIULF.
5. Кудряшова Е.Е. Морской лед и его соленость / Е.Е. Кудряшова // Междисциплинарные исследования: опыт прошлого, возможности настоящего, стратегии будущего : Сборник статей XVIII Международной НПК. – М.: Издательство ЦДПО «Цифровая академия», 2024. – С. 125–133. – EDN RZZQCL.
6. ISO 19906 Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures.
7. WeatherSpark.com. Климат и средняя погода круглый год в Усть-Луга [Электронный ресурс] URL: <https://ru.weatherspark.com/y/95771/Обычная-погода-в-Усть-Луга-Россия-весь-год> (дата доступа: 03.03.2025).
8. Российские учёные выявили влияние ветра и морских течений на таяние ледников [Электронный ресурс] URL: https://dzen.ru/a/ZH8_PORucQcXGqyc (дата доступа: 03.03.2025).
9. Ученые выяснили, что влияет на скорость замерзания морской воды. «Приоритет 2030». ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» [Электронный ресурс] URL: <https://urfu.ru/ru/news/47023/> (дата доступа: 03.03.2025).
10. Полесский муниципальный округ. Влияние снега на толщину льда. [Электронный ресурс] URL: https://polessk.gov39.ru/content/vliyanie_snega_na_tolshchinu_lda_2024/ (дата доступа: 03.03.2025).

ВОПРОСЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ
В РОССИЙСКОМ МОРСКОМ РЕГИСТРЕ СУДОХОДСТВА И СП 38.13330.2018

В настоящий момент множество нефтегазовых месторождений России расположены на территории шельфа дальневосточных и северных морей. Разнообразные ледовые образования, возникающие в этих областях, вызывают динамические ледовые нагрузки, нагрузки, от взаимодействия сооружения с ледовыми полями, торосами, айсбергами, нагрузки от примерзания, обледенения и т.д. Расчет ледовых нагрузок зачастую является наиболее важным, в связи с их высокими абсолютными значениями, многообразием ледовых образований и типов их взаимодействия с рассматриваемым сооружением. Важность проблемы вмерзания сооружений в лед подчеркивается в ряде работ [1, 2]. Существующие нормативные документы предлагают разные способы расчета нагрузок, *цель данной работы* – проанализировать различия в методах расчета нагрузок от обморожения на колонну сооружения Российского морского регистра судоходства и СП 38.13330.2018.

Расчет нагрузки от обледенения по методике морского регистра предполагает определение погонного веса выросшего ледяного образования вдоль контура колонны и подчиняется следующему алгоритму [3]:

1. Определение толщину выросшего на колонну льда Δ_i , м, из-за колебаний уровня воды согласно следующей формуле

$$\Delta_i = (0,0054 + 0,00146|T_{cp}|)N, \quad (1)$$

где T_{cp} – средняя отрицательная температура за период N в днях, в течение которого происходит обледенение опор.

2. Определяется погонный вес выросшего ледяного образования на 1 м вдоль контура колонны, МН/м, согласно следующей формуле

$$G_1 = 0,8h_n\Delta_i g\rho_n, \quad (2)$$

где ρ_n – плотность выросшего льда, кг/м³; h_n – высота обледеневшего участка опоры, равная разности между отметками максимального уровня поверхности воды во время прилива (с учетом атмосферного давления и штормового нагона) и минимального уровня поверхности воды во время отлива.

Методика расчета аналогичной нагрузки СП 38.13330.2018 предполагает более сложный алгоритм [4]:

1. Определяется предел прочности льда при изгибе R_f , МПа, согласно следующей формуле

$$R_f = 0,4(C_b + \Delta_b), \quad (3)$$

где C_b – прочность льда на одноосное сжатие, МПа, в нижнем слое рассматриваемого ледяного поля при температуре t_b ; Δ_b – доверительная граница случайной погрешности определений C_b , МПа, определяемая методами математической статистики.

2. Определяется коэффициент k_f согласно следующей формуле

$$k_f = 0,6 + 0,15D/h_d, \quad (4)$$

где D – поперечный размер (диаметр) опоры или свайного куста, м; h_d – обеспеченная толщина ровного льда, м. Назначается путем статистической обработки материалов натурных наблюдений для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями в зависимости от класса гидротехнического сооружения;

3. Согласно вышеопределенным характеристикам, определяется вертикальная нагрузка на отдельно стоящую опору или свайный куст от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня воды $F_{d,p}$, МН, согласно следующей формуле

$$F_{d,p} = k_f R_f h_d^2. \quad (5)$$

Для сопоставления результатов расчетов по методике СП и морского регистра, использованы гидрометеорологические данные и материалы из исследований [5] и [6] за март 2010 года, соответствующие Темпель-фьорду. Предел прочности на изгиб принят средний по результатам испытаний образцов льда Темпель-фьорда в марте 2010 работы [6]. Средняя отрицательная температура T_{cp} за период $N = 183$ дня в Лонгьире определена согласно данным источника [7]. Средняя высота обледеневшего участка опоры определена согласно данным графика приливов [8] в Лонгьире за март 2024 года.

Таблица 1 – Данные для определения нагрузок от ледяного образования на колонне

Средняя отрицательная температура T_{cp} за период N , град	-12,6
Период в днях N , в течение которого происходит обледенение опор	31
Плотность выросшего льда ρ_n , кг/м ³	917
Высота обледеневшего участка опоры h_n , м	0,73
прочности льда при изгибе R_f , МПа	0,275
Обеспеченная толщина ровного льда h_d , м.	1,0
Ускорение свободного падения g , м/с ²	9,81

Рассмотрим результаты расчетов нагрузки от обледенения колонны по обоим методикам при разных диаметрах колонны, приведя обе нагрузки к погонному весу ледяного образования – размерности кПа/м (табл. 2).

Согласно рис. 1 и табл. 1, погонные веса ледяного нароста, определенные по разным методикам, варьируются: в то время как погонный вес образования, рассчитанный согласно морскому регистру, не зависит от диаметра колонны, нагрузка, определенная по методике СП 38.13330.2018 падает с увеличением диаметра. Так при диаметре колонны 1 м вес ледового образования, определенный по СП, превышает вес, определенный согласно морскому регистру в 3,5 раз, достигая его значения при диаметре колонны 9,4 м и падая на 2% при диаметре 10 м.

Таблица 2 – Результаты расчетов по методикам СП и морского регистра при разных диаметрах колонны

D , м	СП 38.13330.2018			Морской регистр	
	k_f	$F_{d,p}$, МПа	G , кПа/м	Δi , м	G_i , кПа/м
1	0,75	0,21	65,68	3,57	18,76
2	0,90	0,25	39,41		
3	1,05	0,29	30,65		
4	1,20	0,33	26,27		
5	1,35	0,37	23,65		
6	1,50	0,41	21,89		
7	1,65	0,45	20,64		
8	1,80	0,50	19,71		
9	1,95	0,54	18,98		
10	2,10	0,58	18,39		

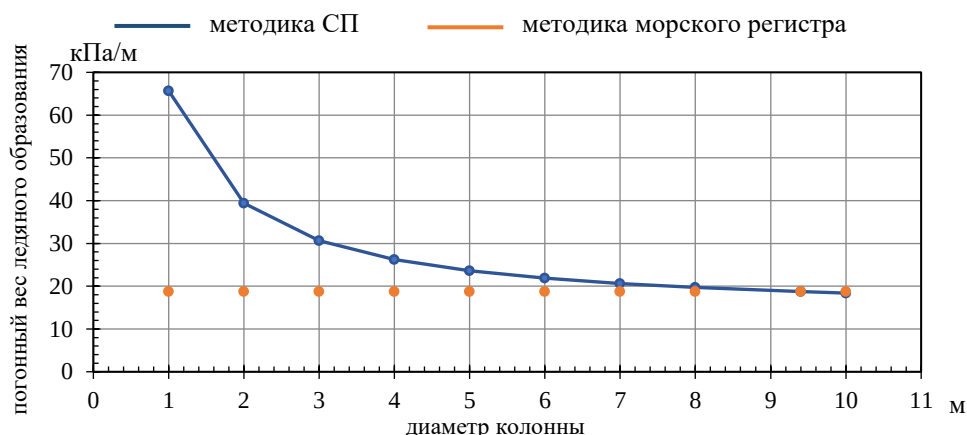


Рис. 1. Результаты расчетов по методикам СП и морского регистра при разных диаметрах колонны

Выводы. Тогда как СП 38.13330.2018 предназначен для расчета нагрузок на стационарные гидротехнические сооружения, методики морского регистра разработаны для плавучих сооружений. Хотя рассматриваемые способы расчета и определяют нагрузки от аналогичных ледовых образований, результаты расчетов имеют значительные расхождения в связи со спецификой каждого метода расчета и типа сооружений. Так методика Российского морского регистра определяет нагрузку при толщине льда малой обеспеченности, а вес ледового образования, рассчитанный по СП 38.13330.2018 зависит от диаметра рассматриваемой колонны. В условиях Темпель фьорда нагрузки, определенные в соответствии со Сводом правил, значительно превосходят нагрузки, полученные согласно методике морского регистра вплоть до диаметра колонны 9,4 м, однако, в иных условиях соотношение результатов по двум методикам может меняться, а очертания графиков останутся неизменными.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sharapov D. Structure freezing in the ice / D. Sharapov // E3S Web of Conferences : XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023), Divnomorskoe village, Russia, 04–10 сентября 2023 года. Vol. 431. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – Р. 06010. – DOI 10.1051/e3sconf/202343106010. – EDN PWFYDY.
2. Шарапов Д.А. Нагрузки от льда на вмёрзшие вертикальные стальные сооружения при горизонтальных подвижках ледового покрова / Д.А. Шарапов, К.Н. Шхинек // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2016. – Т. 282. – С. 99–107. – EDN XGVJNR.
3. Российский мирской регистр судоходства. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – Санкт-Петербург, 2014 г.
4. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*.
5. Marchenko A., Shestov A., Karulin E., Morozov E., Karulina M., Bogorodskii P., Muzylev S., Onishchenko D. & Makshtas A. Field Studies of Sea Water and Ice Properties in Svalbard Fjords. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC.
6. Karulina M., Marchenko A., Karulin E., Sodhi D., Sakharov A., & Chistyako, P. (2019). Full-scale flexural strength of sea ice and freshwater ice in Spitsbergen Fjords and North-West Barents Sea. Applied Ocean Research. 90. 101853. 10.1016/j.apor.2019.101853.
7. Погода круглый год в любой точке Земли // Weather Spark. // Интернет источник. Дата обращения: 06.03.2024 URL: <https://ru.weatherspark.com/>.
8. Наша планета // График приливов и отливов в Лонгйире (о. Шпицберген) / Longyearbyen (Svalbard Island)*. // Интернет-источник. Дата обращения: 06.03.2024. URL: https://nashaplaneta.net/prilivy/prilivy-otlivy-no_longir.

РАЗРАБОТКА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ РОССИИ

Энергетика является одной из ключевых отраслей России, а в связи с ростом цен на электроэнергию и наличием вредных выбросов при добыче углеводородной энергии, актуальной темой является развитие технологии добычи геотермальной энергии морского дна, который, согласно многим работам, располагает огромным потенциалом.

Цель работы – разработать концепцию ГеоТЭС для разработки месторождений на шельфе России и выполнить обоснование концептуальных решений с помощью математического моделирования.

Использование геотермальных ресурсов возможно только в особых геологических районах: в местах молодого вулканизма, вблизи разломов земной коры геотермический градиент увеличивается в несколько раз и уже на глубинах нескольких километров, а иногда нескольких сот метров, находятся либо сухие горные породы, нагретые до 100°C и более, либо запасы воды или пароводяной смеси с такими температурами [1]. Так у подводных ресурсов есть преимущество: согласно геологическим исследованиям, вулканы чаще встречаются в океане, чем на суше [2], а большинство скважин, расположенных на море, имеют высокий геотермический градиент. Работы [3, 4] показывают, что их энергетический потенциал может покрыть значительную часть мирового текущего и будущего спроса на энергию экологически устойчивым способом.

Энергия океана весьма предсказуема и хорошо подходит для обеспечения базовой нагрузки. Текущая глобальная совокупная установленная мощность по всем технологиям энергии океана составляет всего 535 МВт, но сейчас внимание в основном сосредоточено на ветровых, солнечных и волновых источниках [2].

Все больше исследований посвящается изучению геотермического градиента морей Европы и Азии, однако, на сегодняшний день нет информации о геотермальном потенциале акваторий России. Тем не менее, существуют менее детальные карты общемирового геотермального потенциала. Области, выделенные на таких картах, как пригодные для развития геотермальной энергетики, находятся в сейсмически активных зонах – на территориях субдукции литосферных плит, там наблюдается наиболее высокий геотермический потенциал, на таких участках возникают вулканы и гейзеры.

Согласно картам [5], из акваторий, доступных России, в зонах высокой сейсмической активности находятся Японское, Охотское, Черное, Каспийское и Берингово моря, а также море Лаптевых. Таким образом Россия располагает богатым выбором акваторий с высокой сейсмической активностью, однако пригодность этих территорий для геотермальной энергетики должна быть подтверждена разведочными исследованиями. Наиболее перспективной зоной с точки зрения сейсмической активности является шельф полуострова Камчатки со стороны Берингово моря и Тихого океана.

Шельфовая терраса Восточной Камчатки характеризуется незначительным уклоном дна (0,2–0,5°). Ее ширина достигает максимальных значений на юге Камчатки (65–70 км), в Кроноцком (до 50 км) и Авачинском (до 45 км) заливах, а глубина достигает 140 м [6]. В таких условиях эффективную работу обеспечивают полупогружные, самоподъемные и стационарные платформы. Так как геотермальный источник энергии является возобновляемым, для его разработки целесообразно использовать стационарные платформы.

В настоящее время существуют три схемы геотермальных станций [2]: прямая с использованием сухого пара, непрямая с использованием парогидротерм и схема с бинарным

циклом. Тип преобразования зависит от состояния среды (пар или вода) и ее температуры. Так на станциях с прямой схемой пар, поступающий из скважины, направляется непосредственно в паровую турбину, вращающую электрогенератор. Непрямая схема подразумевает нагнетание разогретых до 180°C подземных вод в парогенераторные установки на поверхности, пар из которых поступает на турбину. Схема с бинарным циклом предполагает использование вторичного теплоносителя с точкой кипения ниже 100°C, испаряющимся в теплообменнике, разогретым теплоносителем из скважин, откуда он впоследствии поступает на турбину.

В случае подводного месторождения наиболее рационально применять схему станции с бинарным циклом. Такая схема является наиболее универсальной и имеет множество преимуществ: в станциях с такой схемой допустимо применять геотермальный теплоноситель со сравнительно низкой температурой до 150°C, а так как он не имеет прямого контакта с турбиной, устраняется риск ее эрозии и повреждений, помимо этого выбросы на станции с такой схемой отсутствуют [7]. Такая схема применима при неопределенных характеристиках потенциального резервуара.

На последующем этапе настоящей работы формируются концептуальные варианты конструктивных решений ГеоТЭС и выполняется исследование их функционирования под действием природных нагрузок методами математического моделирования [8].

Выводы. Многие моря России находятся в зонах с потенциально высоким геотермальным потенциалом. Применение наиболее эффективной схемы разработки таких месторождений может быть достигнута с применением морских шельфовых платформ и технологий компоновки малых ГеоТЭС с использованием бинарной схемы выработки электроэнергии. В связи с активной эксплуатацией различных типов платформ и освоением геотермальной энергетики в России, разработка потенциальных месторождений на ее шельфе имеет хорошие перспективы, а в условиях удорожания электроэнергии и стремления к развитию «зеленой» энергетики, развитие технологий подводных ГеоТЭС наиболее актуально.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Геотермальная энергетика: как тепло Земли превратили в эффективный энергоресурс. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2025 URL: <https://habr.com>.
2. Feasibility Study of Indonesian Offshore Geothermal Resources with Combined OTEC Scheme in Supporting the Sustainable Energy Industry, Case Study of Sangihe Archipelago, North Sulawesi, Indonesia // Conference Paper Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
3. Assessment of submarine geothermal resources and development of tools to quantify their energy potentials for environmentally sustainable development // J. Clean. Prod. 2014, 83, 21–32.
4. International Renewable Energy Agency (IRENA) Fostering the Blue Economy. Offshore Renewables Energy, 2020.
5. Mapbox. AI-powered location technology for automakers, mobile app developers, and logistics services. // Интернет-источник. Дата обращения: 07.03.2025 URL: http://neotec.ginras.ru/index/mapbox/database_map.html
6. Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. // Российская академия наук. Дальневосточное отделение. Институт вулканологии и сейсмологии, Петропавловск-Камчатский, 2009 г.
7. DiPippo R. Small geothermal power plants: design, performance and economics. // GHC Bulletin, June 1999.
8. Альхименко А.И., Большев А.С., Ватин Н.И. Подготовка нового поколения инженеров-строителей Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2007. № 1 (49). С. 74–79.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ
НА ЧЕРНОМ МОРЕ

Чёрное море – это один из важнейших транспортных узлов, соединяющий Европу, Азию и Ближний Восток. Его порты обслуживают миллионы тонн грузов ежегодно, обеспечивая международную торговлю и развитие региональной экономики. Однако активная эксплуатация портовых сооружений сопровождается значительным воздействием на окружающую среду. Главными факторами негативного влияния являются загрязнение воды, атмосферы, изменение гидрологических характеристик и разрушение морских экосистем. Исходя из этого, можно утверждать, что одной из важнейших задач в настоящее время является сохранение и рациональное использование Черного моря.

Целью работы является исследование экологического состояния акваторий портовых объектов с оценкой экологического ущерба в соответствии с действующими нормами природоохранного законодательства.

Для снижения негативного влияния антропогенной деятельности на морскую экосистему целесообразнее применять упреждающий подход, включающий в себя следующие аспекты [1]: анализ состояния окружающей среды и проведение предварительных экологических оценок мероприятий, потенциально наносящих ущерб природным ресурсам; внедрение экологически безопасных технологий в производственные и строительные процессы; сокращение объемов образуемых отходов; эксплуатация очистных сооружений для водных ресурсов; а также разработка стратегий реагирования на аварийные ситуации, связанные с утечкой опасных веществ [2, 3].

В качестве объектов экологического анализа были выбраны порты Черного моря, что является актуальным в силу активного промышленного освоения и застройки этих территорий.

Исследование уровня загрязнения акваторий проводилось в соответствии с методиками [4–6], на основе средних концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в сравнении с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), а также на основании классов качества водной среды и донных отложений. В качестве ключевых ЗВ, обнаруженных в пробах, были рассмотрены нефтяные углеводороды (НУ), соединения азота, фосфора и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Дополнительно, в порту Ялта были выявлены хлорорганические пестициды, однако их концентрация не превышала установленные нормативные показатели.

Анализ данных, представленных на диаграммах (рис. 1–3), демонстрирует наличие корреляции между пропускной способностью портов и концентрацией ЗВ в водной среде. Сопоставляя порты по нарастающему значению их грузооборота [7]: порт Ялта (<100 тыс. т/год), порт Анапа (374 тыс. т/год), порт Севастополь (4,5 млн т/год), можно отметить, что наибольшее количество превышений нормативов ПДК зафиксировано в порту Севастополя. Оценка загрязнения донных отложений проводилась на основе концентрации НУ в сравнении с допустимыми нормативами. В рассматриваемых портах эти показатели не превышают допустимых значений, за исключением порта Севастополь, где в 2022 г. были зафиксированы превышения. Кроме того, при анализе максимальных концентраций ЗВ в пробах порт Севастополь демонстрирует наибольшее количество случаев превышения ПДК, в то время как в портах Ялта и Анапа таких случаев зафиксировано меньше. Однако следует учитывать, что в последние годы в порту Ялта практически не осуществляются грузовые операции, поскольку он преимущественно используется для пассажирских перевозок, что объясняет более низкие показатели загрязнения.

Отдельного внимания заслуживает авария с разливом мазута, произошедшая в 2024 г. в акватории порта Анапа. Данный инцидент привел к значительному загрязнению водного пространства, масштабы которого в настоящее время не поддаются точному расчету. Загрязнения, вызванные аварией, существенно превышают предельно допустимые концентрации.

С точки зрения динамики классов качества воды за последние три года (рис. 4), порты распределяются следующим образом: порт Анапа – II класс (чистые воды), порт Севастополь – II и III классы (чистые и умеренно загрязненные воды), порт Ялта – II класс (чистые воды). Однако, учитывая последствия аварии 2024 года, можно предположить, что акватория порта Анапа будет отнесена как минимум к V классу (грязные воды). Это дает возможность предположить, что уровень экологической безопасности акваторий определяется такими факторами, как пропускная способность портов, технологии, используемые при их эксплуатации, и качество реализуемых природоохранных мероприятий.

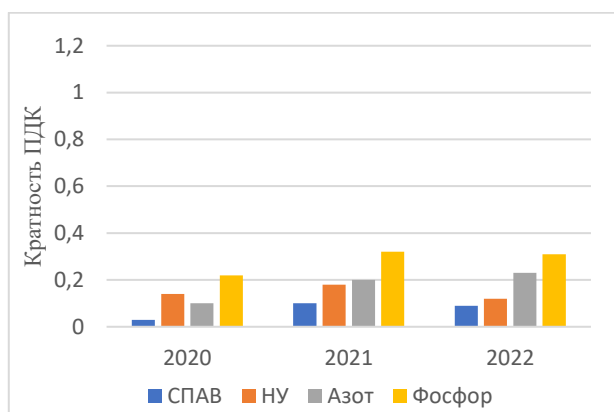


Рис. 1. Порт Ялта

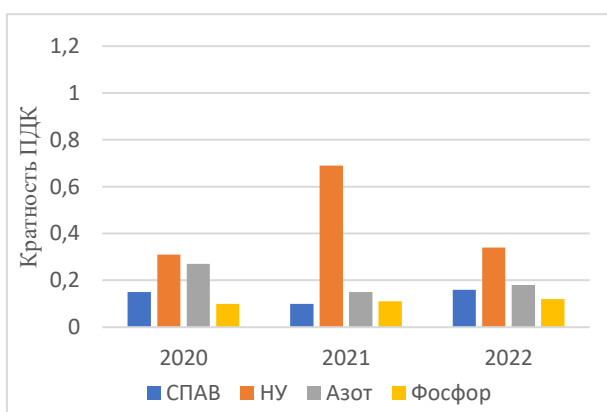


Рис. 2. Порт Анапа

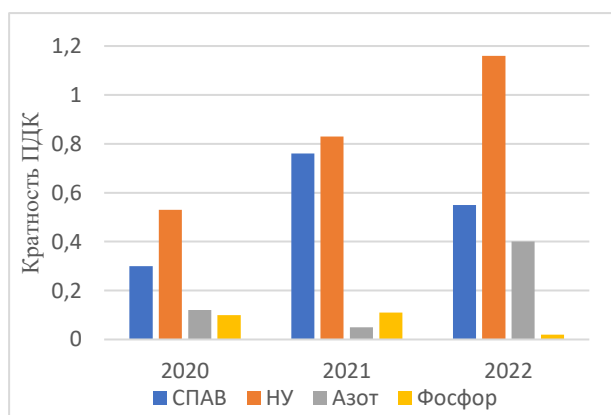


Рис. 3. Порт Севастополь

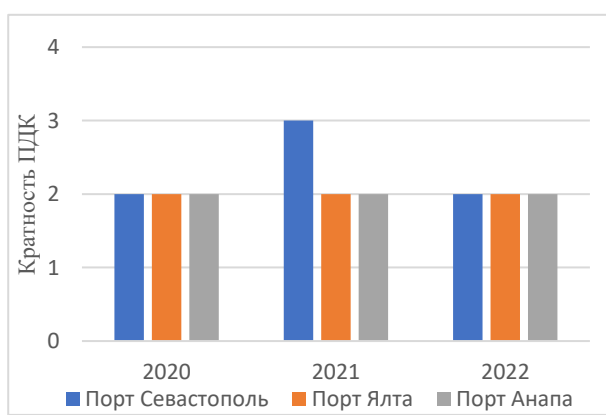


Рис. 4. Класс качества вод

Для предотвращения загрязнений акваторий необходимо предусмотреть специальные мероприятия по сбору судовых отходов и ликвидации аварийных ситуаций, очищению прибрежных вод. Учитывая опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения воды в 2024 г., можно перечислить основные используемые в настоящее время способы ликвидации мазута и других нефтепродуктов [8]:

- механический сбор: боновые заграждения – устанавливаются для локализации разлива и предотвращения распространения нефтепродуктов, скиммеры – устройства для сбора нефти с поверхности;

- физико-химические методы: диспергенты – химические вещества, способствующие растворению нефти в воде, что ускоряет ее биodeградацию, сорбенты – материалы, поглощающие нефтепродукты, облегчая их удаление;
- биологические методы: биоремедиация – использование микроорганизмов для разложения нефтепродуктов.

Также существует несколько альтернативных предложений, которые могут облегчить очистку подобных загрязнений [9, 10]:

- использование угля в качестве сорбента – ученые предложили применять уголь для поглощения мазута, предотвращая его дальнейшее распространение;
- технология «Аэрошуп» – адаптация метода очистки донных отложений с использованием подводных роботов для удаления нефтяных загрязнений на больших глубинах;
- специальные заграждения из ПВХ-труб: предложено устанавливать системы труб в толще воды для сбора мазута, предотвращая его распространение.

Правительство РФ разрабатывает предложения по совершенствованию мер предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в морской среде с оценкой возможности применения отечественной техники и российских разработок для борьбы с последствиями разлива нефтепродуктов при крушении танкеров в Керченском проливе.

Выводы. В ходе исследования была проведена оценка экологического состояния водных акваторий трех портов Черного моря. Результаты анализа выявили прямую зависимость между степенью загрязненности водной среды морских портов и их пропускной способностью. На основании проведенного анализа можно утверждать, что приоритетными мерами для сохранения качества акваторий являются:

- создание безопасных условий движения и обработки судов;
- реализация природоохранных мероприятий;
- применение эффективных технологий для сбора, переработки и хранения отходов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года): аналит. обзор, Рос. акад. наук, Сибирское отделение – Новосибирск, 1992. – 79 с.
2. Альхименко А.И., Беляев Н.Д., Фомин Ю.Н. Безопасность морских гидротехнических сооружений. СПб.: Издательство «Лань», 2003. 288 с.
3. Беляев Н.Д. Причины аварий причальных сооружений. Предотвращение аварий зданий и сооружений. Межвузовский сборник научных трудов. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. С. 34–39.
4. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: Ежегодник. Вып.50 /Отв. ред. А.Н. Коршенко. – М.: Наука, 2020. – 295 с.
5. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: Ежегодник. Вып.51 /Отв. ред. А.Н. Коршенко. – М.: Наука, 2021. – 295 с.
6. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: Ежегодник. Вып.52 /Отв. ред. А.Н. Коршенко. – М.: Наука, 2022. – 295 с.
7. Официальный интернет-сайт ФГУП «Росморпорт» [Электронный ресурс] – URL: <https://www.rosmorport.ru/> (дата обращения: 06.03.2025)
8. 4 метода ликвидации аварийных разливов нефти – Терра экология [Электронный ресурс] – URL: <https://terra-ecology.ru/stati/metody-likvidacii-avarijnyx-razlivov-nefti/>
9. Наука РФ [Электронный ресурс] – URL: <https://xn--80aa3ak5a.xn--p1ai/news/uchenye-predlozhili-metod-borby-s-razlivom-mazuta-na-chernom-more/>
10. Поиск [Электронный ресурс] – URL: <https://poisknews.ru/ekologiya/kak-ustranit-mazutnoe-zagryaznenie-vody-tehnologiyu-ochistki-dna-ot-nefti-adaptiruyut-dlya-morskih-uslovij/>

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: БУДУЩЕЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Цель работы – целью данного исследования является детальный анализ современных инновационных строительных материалов, изучение их свойств и применимости, а также оценка влияния этих материалов на такие важные аспекты, как устойчивое развитие, энергоэффективность и безопасность зданий в условиях вызовов XXI века

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Обзор существующих инновационных строительных материалов: провести анализ доступных на рынке материалов, таких как саморегулирующийся бетон, геополимеры, 3D-печатные элементы и другие.
2. Оценка свойств и преимуществ: проанализировать физико-механические характеристики инновационных материалов по сравнению с традиционными.
3. Изучение примеров применения: исследовать конкретные кейсы внедрения инновационных материалов в строительные проекты и их результаты.
4. Влияние на устойчивое развитие: оценить, как использование инновационных материалов может способствовать снижению углеродного следа и экологическому воздействию строительной отрасли.
5. Прогнозирование будущих тенденций: определить, какие инновационные технологии и материалы могут изменить подходы в строительстве в будущем.

В работе представлен обзор современных инновационных материалов в строительстве, в котором рассматриваются их основные характеристики, преимущества и сферы применения.

В последние годы сектор строительства становится свидетелем значительных нововведений, охватывающих разнообразные новые материалы, технологии. Эти преобразования нацелены на решение ряда насущных проблем, таких как продление срока службы конструкций, оптимизация затрат на строительство и эксплуатацию, а также снижение негативного влияния на окружающую среду [1]. В этом контексте можно выделить несколько основных направлений, включая саморегулирующийся бетон, геополимерные материалы, технологии 3D-печати, «умные» материалы, легкие композитные конструкции, экологически безопасные решения и наноматериалы. Саморегулирующийся бетон является одним из наиболее захватывающих достижений в области строительных технологий. Его уникальность заключается в добавлении специальных микрокапсул, содержащих цемент и полимеры, которые активируются при появлении влаги. В качестве примера применения саморегулирующегося бетона можно привести множество инфраструктурных объектов, таких как мосты и дороги, где вероятность образования трещин высока. Долговечность такого бетона позволяет существенно сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт, что крайне важно в условиях ограниченных бюджетов муниципалитетов и государственных организаций.

Геополимерные материалы представляют собой еще одно значительное направление, изменяющее представления о строительных веществах. Они изготавливаются из отходов, таких как зола, шлак и другие побочные продукты, что делает их не только экономически выгодными, но и экологически чистыми [8]. В отличие от традиционного портландцемента, геополимеры обеспечивают высокую прочность и термостойкость, что делает их идеальными для применения в условиях высокой температуры и коррозионного воздействия [4]. Применение геополимеров может привести к значительному снижению расходов на переработку отходов, и их использование позволит сократить объемы размещения на свалках.

Технология 3D-печати уже начала трансформировать строительную индустрию (рис. 1), предлагая новые подходы к проектированию и возведению зданий. Специализированные бетонные смеси и композиты, используемые в 3D-печатных конструкциях, открывают новые горизонты для архитекторов и инженеров. Одним из главных преимуществ 3D-печати является возможность быстрого прототипирования – за считанные дни можно создать функциональный объект, что особенно актуально в условиях оперативных изменений в проектах. [5] В дополнение к этому, использование 3D-печати помогает существенно сократить затраты благодаря минимизации отходов: поскольку материал точно наносится в соответствии с цифровой моделью, количество перерабатываемых остатков значительно уменьшается. Как следствие, это не только эффективно с точки зрения экономики, но и отвечает требованиям устойчивого развития.

Умные строительные материалы являются следующей инновацией, которая активно внедряется в современное строительство. Материалы обладают способностью изменять свои физические и химические свойства в ответ на изменения окружающей среды, такие как температура, влажность и свет. Это значительно улучшает внутренний климат в зданиях и способствует повышению их энергоэффективности. Остаточные затраты на отопление и кондиционирование постепенно снижаются, что становится особенно актуальным в условиях повышенных цен на энергию и необходимости борьбы с глобальным потеплением [2]. Внедрение таких технологий в жилые и коммерческие здания отвечает требованиям современного рынка недвижимости.



Рис. 1. Печатный дом TECLA, Равенна, Италия [5]



Рис. 2. Дом из экологичного материала (костробетона) [8]

Легкие композитные материалы становятся неотъемлемой частью современных строительных решений. Они состоят из комбинации легких наполнителей и прочных смол, что позволяет создавать конструкции с высокой прочностью и минимальным весом. Это свойство имеет решающее значение для снижения нагрузки на несущие элементы зданий, а также открывает новые возможности для архитекторов при создании более тонких и легких конструкций, что в свою очередь, способствует общей экономии на материалах. Композитные материалы также повышают теплоизоляцию зданий, что является важным фактором в условиях современных требований к энергоэффективности.

Экологически чистые строительные материалы, такие как переработанный пластик, бамбук и другие возобновляемые ресурсы, становятся все более актуальными. Их применение помогает не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и улучшает качество воздуха в помещениях [6]. Использование таких решений позволяет значительно сократить углеродный след строительных проектов и способствует популяризации концепции устойчивого развития, дом из таких материалов представлен на рисунке 2.

Наноматериалы представляют собой еще одно направление, которое проникает в мир строительства. На основе нанотехнологий удастся создавать вещества с уникальными свойствами, способными значительно повысить устойчивость материалов к различным воздействиям. Наноматериалы позволяют создавать самоочищающиеся поверхности, что снижает потребность в постоянном обслуживании зданий и конструкций [3].

Новые технологии и решения не только обеспечивают повышенную эффективность и устойчивость зданий, но также делают значительный вклад в заботу о окружающей среде. Способствуя развитию более чистого и безопасного строительства, инновационные материалы и технологии открывают новые горизонты для архитектуры и градостроительного проектирования, что в итоге приводит к созданию более комфортного и удобного пространства для жизни и работы человека.

Выводы:

1. Необходимость внедрения инноваций: Строительная индустрия сегодня сталкивается с потребностью в использовании современных материалов, что позволит увеличить срок службы конструкций, снизить расходы и сократить негативное воздействие на экологию.
2. Основные направления технологий: Современные разработки, такие как самовосстанавливающийся бетон, геополимерные составы, 3D-печать зданий, умные материалы и легкие композитные решения, обладают значительным потенциалом для разнообразных строительных проектов.
3. Устойчивый подход: Применение экологически чистых и энергоэффективных материалов способствует устойчивому развитию строительной сферы, что становится особенно актуальным в свете глобальных экологических вызовов.

Для достижения эффективного использования инновационных материалов в строительстве следует активно применять самовосстанавливающийся бетон в жилых и коммерческих постройках. Это не только увеличит срок службы сооружений, но и сократит затраты на последующий ремонт. В случаях с промышленными объектами, особенно химическими предприятиями, целесообразно использовать геополимерные материалы, которые обладают высокой устойчивостью к агрессивным средам и способствуют снижению углеродного следа. Временные конструкции, такие как выставочные павильоны или укрытия, можно быстро возводить с помощью 3D-печати, что особенно актуально в экстренных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Александров А.И., Петров Н.В. Современные строительные материалы: Технологии и инновации. М.: Транспорт, 2021.
2. Баранов В.П., Кузнецова Т.Н. Экологические аспекты применения строительных материалов. СПб: Строительное Издательство, 2019.
3. Григорьев С.С., Мельников А.И. Саморегулирующийся бетон: свойства и применение. Журнал строительных наук, 45(2), 2020. С. 123–135
4. Ковалев Д.С. Геополимеры как альтернатива портландцементу. Строительство и архитектура, 38(3), 2022. С. 64–72.
5. Овчинников И.А. 3D-печать в строительстве: новые возможности и вызовы. Технические науки и технологии, 12(4), 2021. С. 78–89.
6. Сидорова Е.В., Лебедев Р.А. Умные материалы в строительстве: потенциальные возможности. Сборник научных статей по строительству, 25(1), 2020. С. 45–56.
7. Федоров А.Н. Легкие композитные материалы в современном строительстве. Материалы строительных технологий, 27(8), 2019. С. 88–95.
8. Чекаль Г.П. Экологически чистые строительные материалы: современный подход. Экология и строительные технологии, 33(5), 2021. С. 23–30.

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Надежность и безопасность гидротехнических сооружений (ГТС) критически важны для экономики и безопасности страны. По данным Ростехнадзора с 2010 по 2024 год произошло более 20 крупных аварий на ГТС, причинивших экономический ущерб, оцениваемый примерно в 3 млрд рублей. Значительная часть этих аварий связана с несвоевременным выявлением дефектов и некорректным мониторингом состояния ГТС. Существующие методы, такие как визуальный осмотр и геодезическая съемка, часто оказываются недостаточными для своевременного выявления проблем, особенно на ранних стадиях образования дефекта.

Это обусловлено субъективностью визуального осмотра и ограниченной точностью традиционных геодезических методов, особенно при обследовании крупномасштабных объектов со сложной геометрией. Лазерное сканирование (ЛС) представляет собой перспективный инструмент для повышения эффективности мониторинга, обеспечивая высокую точность и скорость сбора данных. В ходе ЛС можно получить детальную трехмерную модель ГТС, на основе которой можно проводить мониторинг деформаций, выявлять повреждения и анализировать устойчивость [2].

Цель исследования – определить эффективность и возможность оптимизации анализа данных, полученных с помощью лазерного сканирования для мониторинга гидротехнических сооружений.

Задачи исследования:

1. Провести обзор существующих методов лазерного сканирования и оценить их применимость для различных типов гидротехнических сооружений.
2. Оценить точность и эффективность лазерного сканирования для выявления деформаций и повреждений.
3. Исследовать возможности интеграции лазерного сканирования с другими методами в единую систему мониторинга состояния гидротехнического сооружения.
4. Проанализировать перспективы использования алгоритмов машинного обучения для обработки данных лазерного сканирования и автоматизации процесса мониторинга.
5. В ходе научного исследования были использованы следующие методы: сравнительный и системный анализ, синтез.

Лазерное сканирование, как современный метод получения пространственных данных, представлено несколькими технологическими решениями, каждое из которых обладает своими особенностями и областью применения. Различают, в частности, наземное лазерное сканирование (НЛС), воздушное лазерное сканирование (ВЛС), мобильное лазерное сканирование и подводное лазерное сканирование.

Для выбора оптимального метода лазерного сканирования, необходимо учитывать ряд факторов, таких как тип гидротехнического сооружения, поставленные задачи мониторинга, требуемая точность и доступные ресурсы. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики методов лазерного сканирования, позволяющие оценить их преимущества и недостатки для решения конкретных задач [1, 3–5].

Объем данных, генерируемых ЛС делает ручную обработку крайне трудоемкой и подверженной человеческому фактору. В связи с этим, разработка эффективных алгоритмов автоматической обработки, способных оперативно выявлять дефекты и деформации, является приоритетной задачей. Существующие алгоритмы, например, для автоматического выявления

трещин шириной более 1 мм, достигают точности 85–90%, но требует дальнейшего развития для распознавания более широкого спектра дефектов, а также повышения надежности и скорости работы [5].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики методов лазерного сканирования

Характеристика	НЛС	ВЛС	Мобильное ЛС	Подводное ЛС
Точность	Высокая (до ± 2 мм)	Средняя (до ± 10 см)	Средняя (до ± 5 см)	Средняя (± 5 -10 мм) зависит от среды
Скорость сбора данных	Средняя (до 500 тыс. точек/с)	Высокая (до 1 млн точек/с)	Высокая (до 1 млн точек/с)	Низкая (зависит от модели сканера)
Площадь охвата	Небольшая (до 100 м в диаметре)	Большая (до 100 км ² за полет)	Протяженные объекты (каналы, трубопроводы)	Небольшая (до 10 м)
Сложность	Средняя	Высокая (требуется квалифицированный персонал)	Средняя	Высокая (требуется специализированное оборудование и навыки)
Стоимость	От 5 млн рублей	От 20 млн рублей + затраты на эксплуатацию летательного аппарата	От 10 млн рублей	От 15 млн рублей + затраты на водолазные работы
Зависимость от погоды	Высокая (ограничена видимостью)	Средняя (влияние осадков и облачности)	Средняя (влияние осадков)	Низкая
Применимость для ГТС	Плотины (мониторинг деформаций), шлюзы, набережные	Водохранилища (картографирование), дамбы (мониторинг деформаций), береговая линия (эрозия)	Каналы, трубопроводы, береговая линия	Подводные части сооружений (оценка состояния, выявление повреждений)
Пример сканера	Leica ScanStation P20 (точность 0,5 мм на 10 м)	Riegl LMS-Q1560 (до 266,000 измерений/с)	Riegl VMX-2HA (макс. 2 млн измерений/с, до 100 км/ч)	Coda Octopus Echoscope (3D реальном времени с 16000 лучами)

В рамках данного исследования разработан алгоритм машинного обучения для автоматического выявления и классификации трещин на основе данных ЛС. Алгоритм позволяет распознавать различные типы трещин (вертикальные, горизонтальные, наклонные, хаотичные), опираясь на анализ геометрических характеристик поверхности, полученной с помощью ЛС, таких как ширина, глубина, длина трещины и угол наклона. Время обработки данных сократится примерно в 5–7 раз с использованием подобной автоматизации на ГТС.

Схема разработанного алгоритма машинного обучения для анализа данных ЛС, полученных при мониторинге ГТС, представлена на рисунке 1.

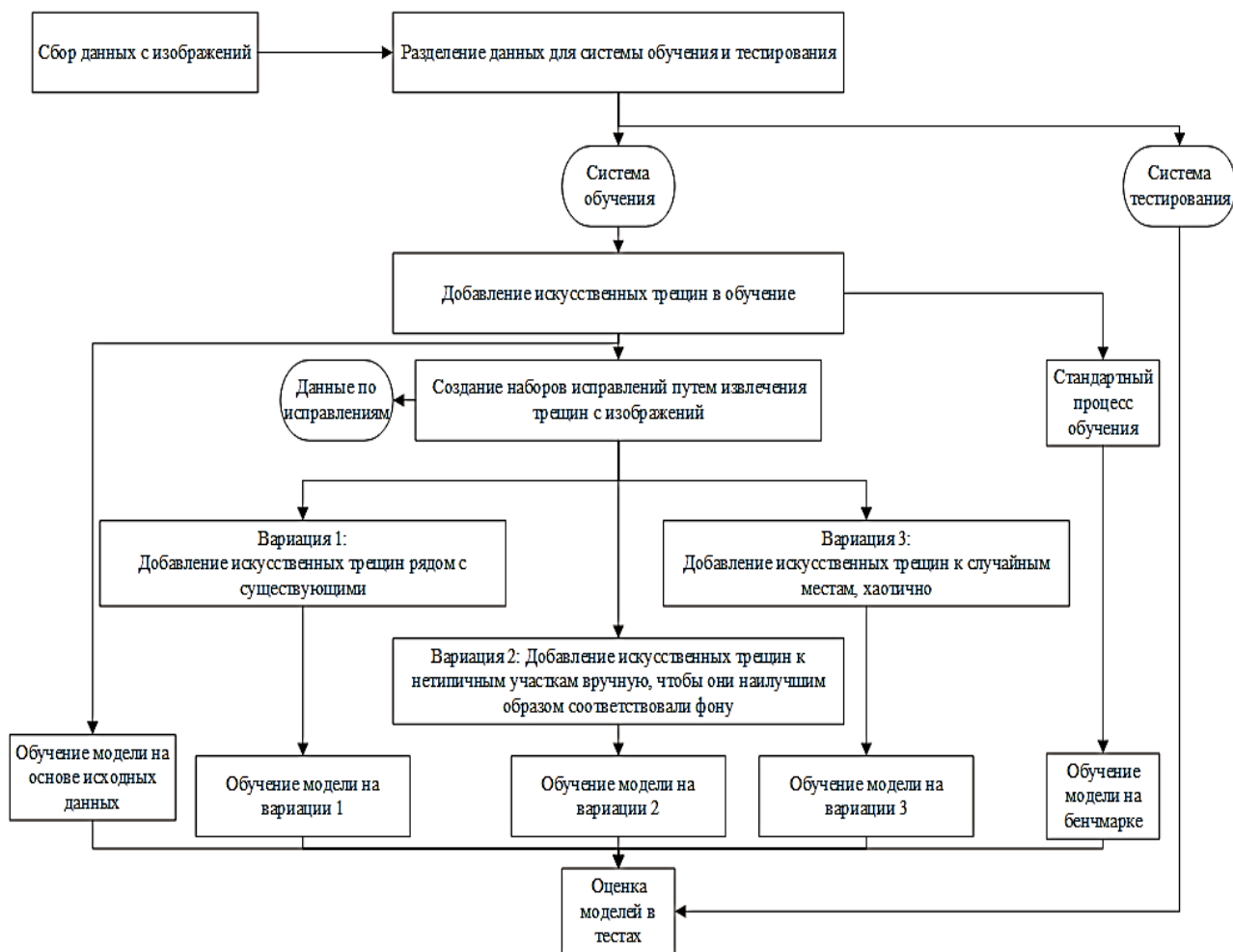


Рис. 1. Схема алгоритма машинного обучения для анализа данных ЛС на ГТС

Выводы. Лазерное сканирование является перспективным инструментом для повышения эффективности и безопасности мониторинга ГТС. Для широкого внедрения ЛС необходимо решить ряд проблем, таких как выбор оптимального метода сканирования, обеспечение точности измерений, интеграция с другими методами мониторинга и разработка алгоритмов автоматической обработки данных. По результатам выполненного анализа, ожидаемый экономический эффект от внедрения ЛС для мониторинга ГТС может составить до 10-15% от общих затрат на эксплуатацию и обслуживание сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьева Д.Э., Николаева Н.А. Использование 3D-моделирования в гидротехническом строительстве // Материалы Шестой всероссийской НТК, Петропавловск-Камчатский, 2023. – С. 95–98
2. Стугирев И.Д., Астафьева Н.С. Использование лазерного сканирования как способа сбора данных при создании информационной модели здания // Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Том 2. Санкт-Петербург, 2021. С. 201–203.
3. Устинов А.В., Тверитин А.Л. Технология исполнительной съемки гидротехнических сооружений с использованием наземного лазерного сканирования // Гидротехническое строительство, № 12. 2013. С. 2–5.
4. Харичкин А.И., Левачев С.Н., Федорова Т.С. Современные технологии проведения геотехнического мониторинга на примере определения существующих дефектов восточной стены камеры шлюза №2 Канала имени Москвы при помощи лазерного сканирования // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях : сборник международной НПК, Выпуск IV. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 77–82.
5. Ning Xing-Yi, Zhang Kun, Jiang Nan. 3D deformation analysis for earth dam monitoring based on terrestrial laser scanning (TLS) and the iterative closest point (ICP) algorithm. *Frontiers Earth Science*, Volume 12, 2024.

СЛОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

Арктика, с ее суровыми климатическими условиями и уникальными экологическими особенностями, представляет собой один из самых сложных регионов для строительства и эксплуатации инфраструктуры. Ледовые условия, низкие температуры, динамическое воздействие льда и таяние вечной мерзлоты создают серьезные вызовы для обеспечения долговечности и безопасности конструкций.

Цель работы – анализ проблем мониторинга конструкций в ледовых условиях и разработка предложений по их решению.

Мониторинг состояния конструкций в ледовых условиях связан с рядом сложностей, обусловленных экстремальными климатическими условиями, особенностями ледовой нагрузки и труднодоступностью объектов. Основные проблемы включают:

1. Экстремальные климатические условия. Низкие температуры, сильные ветры, снегопады и метели усложняют визуальный и инструментальный контроль. Обледенение конструкций и оборудования затрудняет их работу и требует использования специализированных материалов и технологий.

2. Особенности ледовой нагрузки. Ледовые образования на конструкциях создают дополнительные механические нагрузки, которые сложно прогнозировать и измерять. Лед может изменять свои свойства (плотность, толщину, адгезию к поверхности), что требует постоянного анализа и корректировки моделей нагрузки. Динамические воздействия могут привести к повреждениям [1].

3. Труднодоступность объектов. Многие конструкции, требующие мониторинга (например, морские платформы, удаленные мосты), находятся в труднодоступных местах, что затрудняет их регулярное обследование.

4. Технические ограничения. Датчики и оборудование должны быть устойчивы к холоду, влаге и механическим воздействиям. Передача данных в удаленных районах с плохой погодой может быть сложной, необходимы спутниковые или специализированные системы связи.

5. Анализ и интерпретация данных. Ледовые условия создают нестационарные нагрузки, что усложняет анализ данных и прогнозирование состояния конструкций.

6. Экономические и организационные сложности. Высокая стоимость оборудования, устойчивого к экстремальным условиям. Организация логистики для доставки оборудования и персонала в труднодоступные районы.

Для преодоления перечисленных сложностей и обеспечения эффективного мониторинга конструкций в ледовых условиях необходимо применение современных методов и технологий, адаптированных к экстремальным условиям Арктики. Эти методы должны учитывать специфику ледовых нагрузок, труднодоступность объектов и необходимость высокой надежности оборудования. Рассмотрим основные подходы и технологии, которые могут быть использованы для мониторинга состояния конструкций в таких условиях.

1. Визуальный и инструментальный контроль

Визуальный осмотр остается одним из базовых методов мониторинга. Однако в условиях Арктики он часто затруднен из-за труднодоступности и экстремальных погодных условий. Для повышения эффективности используются:

- беспилотные летательные аппараты позволяют осматривать труднодоступные участки

конструкций;

- роботизированные системы (ROV/AUV) применяются для осмотра подводных частей сооружений [2].

Инструментальный контроль включает использование ультразвуковых толщиномеров, дефектоскопов и лазерных сканеров для измерения толщины материалов, выявления трещин и деформаций.

2. Дистанционные технологии играют ключевую роль в мониторинге арктических конструкций:

- Спутниковый мониторинг: спутниковые снимки позволяют отслеживать изменения в ледовой обстановке и их влияние на конструкции.
- Автономные дрейфтеры. Поверхностные дрейфтеры собирают данные о состоянии верхнего слоя океана и приповерхностной атмосферы. Данные передаются пользователям по каналам спутниковых систем связи Argos или Iridium [3].
- Лазерное сканирование (LiDAR): Технология LiDAR создает высокоточные 3D-модели конструкций, что помогает выявлять деформации и повреждения.

3. Датчики и сенсоры

- Акселерометры и гироскопы: измеряют вибрации и колебания конструкций, вызванные ледовой нагрузкой.
- Тензометры: контролируют напряжения и деформации в материалах.
- Акустические датчики: обнаруживают трещины и повреждения с помощью анализа звуковых сигналов.
- Температурные и влажностные датчики: отслеживают условия окружающей среды для прогнозирования обледенения и коррозии [4].

4. Подводный мониторинг:

Подводные части конструкций особенно уязвимы к воздействию льда и коррозии. Для их мониторинга применяются:

- Гидролокаторы: картографируют подводные конструкции и обнаруживают повреждения.
- Подводные роботы: ROV и AUV проводят детальный осмотр и сбор данных.

5. Численное моделирование и прогнозирование.

Цифровые технологии, такие как цифровые двойники (Digital Twins), позволяют создавать виртуальные копии конструкций для анализа их поведения под воздействием ледовых нагрузок. Машинное обучение и искусственный интеллект используются для прогнозирования повреждений на основе исторических данных [5].

Примеры применения:

1. Нефтегазовые платформы

На нефтегазовых платформах в Арктике используются системы мониторинга, включающие датчики деформации, акселерометры и подводные роботы. Это позволяет своевременно выявлять повреждения и предотвращать аварии.

2. Портовые сооружения

Причалы и доки в арктических портах оснащаются системами спутникового мониторинга и лазерного сканирования для оценки состояния конструкций и прогнозирования ледовой нагрузки.

3. Мосты и трубопроводы

Мосты и трубопроводы в Арктике контролируются с помощью тензометров и акустических датчиков, что позволяет отслеживать деформации и предотвращать разрушения [6].

Перспективы развития:

- Автономные системы: разработка автономных датчиков и роботизированных систем, способных работать в экстремальных условиях.
- Искусственный интеллект: использование AI для анализа больших объемов данных и

прогнозирования повреждений [7].

- Устойчивые материалы: внедрение новых материалов, устойчивых к низким температурам и коррозии [8].

Выводы. Мониторинг состояния конструкций в ледовых условиях является критически важным для обеспечения безопасности и долговечности инфраструктуры в Арктике. Современные технологии, такие как дистанционный мониторинг, датчики и цифровое моделирование, позволяют эффективно решать эти задачи. Однако для дальнейшего развития необходимы инновационные решения, учитывающие уникальные особенности арктического региона. Устойчивое развитие Арктики зависит от внедрения передовых технологий и междисциплинарного подхода к мониторингу и управлению инфраструктурой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Котляков В.М. Арктика. Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» – URL: <https://bigenc.ru/c/arktika-d5074d> (дата обращения: 07.03.2025). – Текст: электронный.
2. Современные технологии в арктических исследованиях [Электронный ресурс] / ООО «Центр арктических изысканий». – URL: <https://arcticrc.ru/sovremennye-tehnologii-v-arkticheskikh-issledovaniyah/> (дата обращения: 06.03.2025). – Текст: электронный.
3. Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. Опыт применения автономных дрейфтеров в системе наблюдений ледовых полей и верхнего слоя океана в Арктике [Электронный ресурс] // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – № 2. – С. 54–68. – DOI: <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-2-54-68>.
4. Системы технической охраны объектов. Vrsystems [Электронный ресурс]: дата обращения: 07.03.2025 – режим доступа: <https://www.vrsystems.ru>.
5. Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения [Электронный ресурс] / АО «Моделирование и цифровые двойники». – 2023. – Дата публикации: 12.05.2023. – URL: digitaltwin.ru (дата обращения: 09.03.2025). – Текст: электронный.
6. Колпаков Д.А., Ремизов А.Е. Подледный maintenance. Технологии мониторинга технического состояния, обслуживания и ремонта подводных трубопроводов месторождений арктического континентального шельфа РФ [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU. – 2017. – № 11. – URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/transportirovka/549187-podlednyy-maintenance-tekhnologii-monitoringa-tekhnicheskogo-sostoyaniya-obsluzhivaniya-i-remonta-po/>
7. Земенкова М.Ю., Чижевская Е.Л., Земенков Ю.Д. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий // Записки Горного института. 2022.
8. Самарина В.П., Дмитрик Е.Е. О возможностях применения инновационных строительных материалов в Арктике // Фундаментальные исследования. 2022. № 10 (часть 1). С. 86–90. DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43348>.

УДК 626

Р.А. Петряков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ СТАЛЬНОЙ СВАИ-ОБОЛОЧКИ С РОСТВЕРКОМ

Цель работы – сравнить результат расчета узла сопряжения стальной сваи-оболочки с железобетонным ростверком, полученный аналитическим методом и методом МКЭ MIDAS FEA NX с включением ж/б пробки в работу.

Сопряжение стальной сваи-оболочки с ростверком – критически важный узел, обеспечивающий передачу нагрузки от сооружения на основание. Корректный расчет этого узла определяет надежность и долговечность всей конструкции.

Конструкция рассматриваемого сооружения представляет собой высокий свайный ростверк со сваями из трубы 1420×28 мм, из стали марки С345, ростверк толщиной 2,10 м из бетона В30. Усилия и перемещения в свае необходимые для расчета берутся из расчетной 2D схемы MIDAS GTX. Высота сваи от верха до условной заделки в грунте 37,5 м. Результаты расчета представлены на рис. 1 и 2.

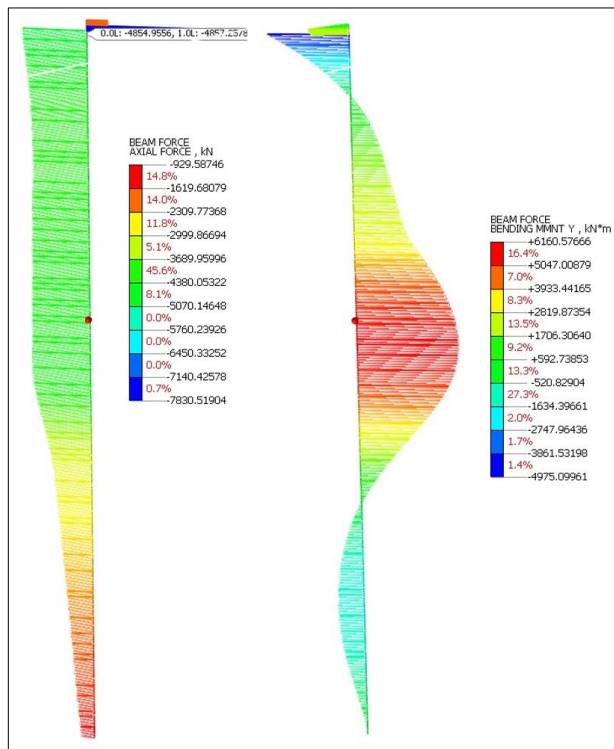


Рис. 1. Эпюры изгибающих моментов и продольных усилий из MIDAS GTX

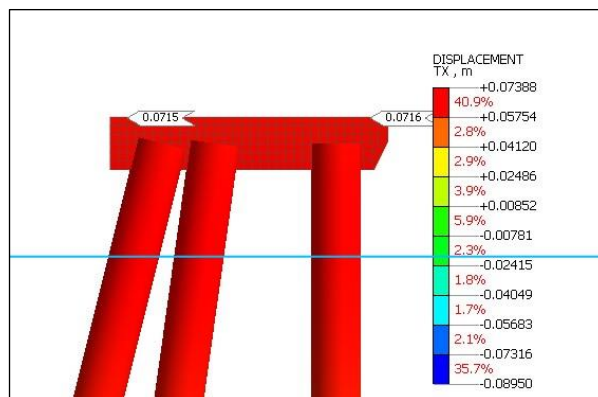


Рис. 2. Перемещения ростверка из MIDAS GTX (сверху)

Конструкция узла сопряжения выполняется по варианту 2 (приварка арматурных выпусков к стенке трубы, с заведением на длину анкеровки, в ростверк) [1]. В этом случае на стальную трубу от ростверка и обратно будут передаваться продольные сжимающие и растягивающие, поперечные силы, и изгибающие и крутящие моменты. Верхняя часть трубы заполняется бетоном В30 на высоту 5 м. Необходимо отметить, что сцепление бетонной пробки с внутренней поверхностью трубы разрушается при незначительных касательных напряжениях, которые возникают при воздействии поперечной силы, растягивающих усилий, изгибающих и крутящих моментов. Кроме того, в процессе и после застывания бетона происходит усадка, вследствие которой появляется неравномерный зазор между стенкой трубы и пробкой.

Аналитический расчет узла сопряжения. Согласно [1] расчет узла сопряжения с ростверком производится на усилия M (изгибающий момент) и N (продольная сила) в голове сваи. Согласно рис. 1: $M = 4975 \text{ кН·м}$, $N = 4750 \text{ кН}$. Суммарный изгибающий момент в голове равен:

$$M_p = M + eN, \quad (1)$$

где e – горизонтальное перемещение головы сваи (см. рис. 2), но не менее случайного эксцентриситета, определяемого согласно [2] п. 7.1.7. $e_{\text{случ.}} = 62,5 \text{ мм}$; $e = 72 \text{ мм}$.

Согласно [3] п. 3.65, определяются коэффициенты α_n , α_m и отношение расстояния арматуры от стенки трубы к диаметру трубы (принимаются расчетные значения R_b и R_s с учетом коэффициентов γ , согласно [2]). Далее по черт. 3.33 [3] определяется α_s и высчитывается требуемая площадь продольной арматуры $A_{s,\text{tot}} = 230,6 \text{ см}^2$, принимаем

арматуру $\varnothing 32$ мм, 30 шт. ($A_s = 241,3 \text{ см}^2$), с соблюдением требований по минимальному расстоянию между стержнями [2], в данном случае 132,5 мм. Прочность трубы проверяется на действующие нагрузки по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq R_y, \quad (2)$$

где W – момент сопротивления трубы, определяется с учётом коррозии, принятой 4 мм.

$$\sigma_{\max} = \frac{4,75}{0,122} + \frac{4,975}{0,0361} = 176,7 \leq 290.$$

Расчет узла в явном виде в MIDAS FEA NX. В виде сплошных элементов (Solid) смоделированы грунтовое основание, свая, ростверка, бетонная пробка в верхнем конце сваи и песчаная засыпка между основанием и бетонной пробкой. Арматура смоделирована в виде встроенных стержней (embedded truss). Труба заведена в ростверк на 10 см в явном виде. Для учета взаимодействия элементов заданы следующие контакты:

- между песчаной засыпкой и бетонной пробкой: интерфейсные элементы;
- между пробкой и стальной трубой: контакт трения (General), с коэффициентом трения 0,5;
- между заделанной частью трубы и ростверком: жесткий контакт (Welded);
- между арматурой и трубой: жесткое соединение, имитирующее сварку;
- между свайей и окружающим грунтом: интерфейсные элементы.

К ростверку прикладывается заданное перемещение 72 мм. Общий вид расчётной модели представлен на рис. 3.

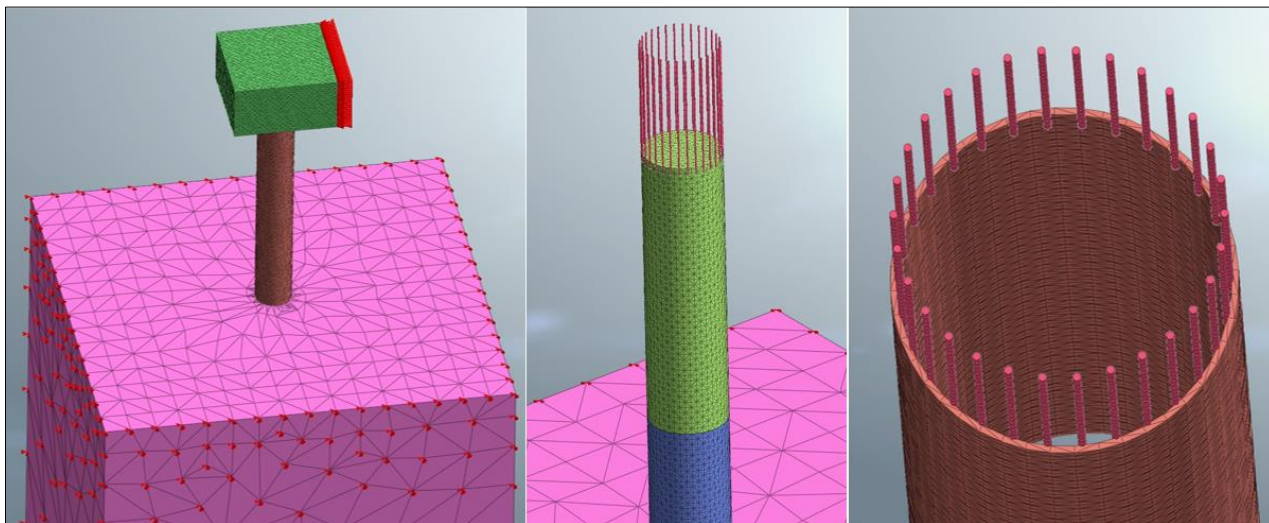


Рис. 3. Расчетная модель MIDAS FEA NX (слева: общий вид сваи и ростверка; по центру: свая и ростверк скрыты, показаны арматура, ж/б пробка и заполнение песком; справа: труба с приваренной арматурой)

Для моделирования материалов использовались модели: von-Mises с заданием модуля деформации и предела текучести для стальных элементов, Elastic для бетона ростверка, Mohr-Coulomb для задания грунтов основания и песка засыпки, Concrete-Smeared-Crack для задания бетона пробки. Последняя модель помимо основных физико-механических характеристик, подразумевает ввод энергии трещинообразования G_f [6] п.5.1.5.2 по формуле (3) и характерного размера элемента $h = \sqrt[3]{V_{кэ}}$, $V_{кэ}$ – объем сплошного элемента *solid*. h в данном случае равен 56 мм.

$$G_f = 73(f_{ck} + \Delta f)^{0,18}, \quad (3)$$

где f_{ck} – прочность бетона на сжатие; $\Delta f = 8$ МПа.

Результаты нелинейного расчета приведены на рис. 4. Предельное напряжение в стали трубы согласно таблице В.3 [4] 290 Н/мм² (115,4 по расчету). Предельное напряжение в стали арматуры согласно таблице 6.14 [2] 435 Н/мм² (123 по расчету).

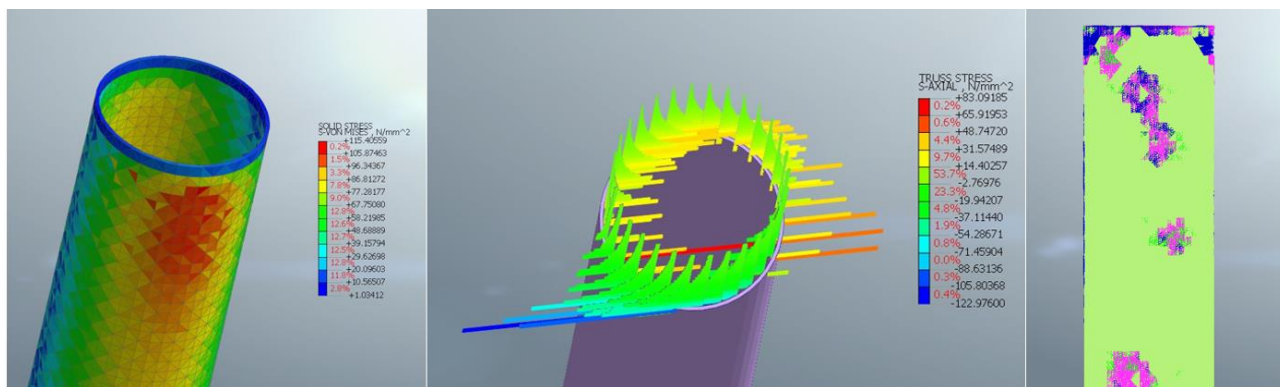


Рис. 4. Напряжения в трубе и арматуре MIDAS FEA NX

(слева: напряжения в трубе со стороны от приложения перемещения; по центру: напряжения в арматуре; справа: показ частичное раскрытие трещин растянутой зоны бетонной пробки)

Выводы. В работе был выполнен аналитический и нелинейный КЭ расчет узла сопряжения сваи и ростверка с приваркой выпусков к стенке трубы. В случае явного моделирования бетонная пробка включилась в работу сечения, что дало заниженный результат усилий в трубе и недоиспользование арматуры. При расчете узла сопряжения работой пробки допускается пренебречь. Для полноценного включения бетонной пробки в сопротивление трубобетонного сечения необходима установка «Shear connectors» [7] разд. 6.10.10 – они предотвращают относительное смещение между сталью и бетоном, обеспечивая совместную работу материалов. Наиболее распространенным типом сдвиговых соединителей являются головчатые шпильки, но также используются и другие, такие как уголки, стержни и толстые, короткие пластины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев А.П. Пособие проектировщику гидротехнических сооружений. Книга 2. Гидротехнические сооружения эстакадного типа. 2016.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003. М.: Минстрой России, 2019.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). М.: Минстрой России, 2003.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2017.
5. FEA NX Online Manual [Электронный ресурс] Режим доступа: https://manual.midasuser.com/en_common/feanx/340/index.htm (дата обращения: 02.03.2025 г.).
6. FIB (Fédération Internationale du Béton). Model Code 2010: First complete draft [Текст]. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2010.
7. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications [Текст]: американские спецификации для проектирования мостовых конструкций / American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC : AASHTO, 2020.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УРОВЕНЬ ВОДЫ
КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Куйбышевское водохранилище играет особую роль, как основной регулятор стока реки Волга. В последнее время появилась серьезная проблема в Спасском районе Татарстана. Уровень воды возле причала для «Метеоров» в Болгаре упал до критических значений, что привело к риску посадки судов на мель. По состоянию на 6 сентября 2023 года уровень воды в Куйбышевском водохранилище составил 50,4 метра Балтийской системы (БС) [1, 2].

Цель работы – исследовать климатические изменения в регионах Куйбышевского водохранилища за последние 10 лет и сделать вывод о том, являются ли они основной причиной падения отметки уровня воды в Куйбышевском водохранилище и причиной обмеления речного порта Болгар.

В период с 2018 года зимы регионов Среднего Поволжья характеризовались малым объемом снега, что повлияло на весенний приток воды. Самые малоснежные зимы в Ульяновской области наблюдались в 2014–2015, 2019–2020, 2020–2021 и 2022–2023 годах. Количество осадков в эти периоды составляло 30–50% от нормы, а высота снежного покрова не превышала 15–20 см (при норме 30–40 см) [3]. Аналогичная ситуация наблюдалась и в Татарстане. Зимой 2024 года в Ульяновске выпало рекордное количество снега. В основной части региона (правобережье) – до 150–200% от среднееголетнего количества осадков, а в Заволжье – до 250–300%. При этом снег в основном был плотным, и содержание воды в нём также было выше нормы. Это повлияло на уровень воды в Куйбышевском водохранилище. По данным Ульяновского гидрометцентра, на 10 февраля 2024 года запасы воды в снеге и руслах рек составляли 171% от нормы. Высота снежного покрова во многих районах области превышала норму на 20–30 см. Ожидалось, что весеннее таяние может привести к повышению уровня воды в Куйбышевском водохранилище на 90–160 см и подъёму уровня рек, в том числе мелких, однако отметка уровня воды оставалась ниже оптимальных значений.

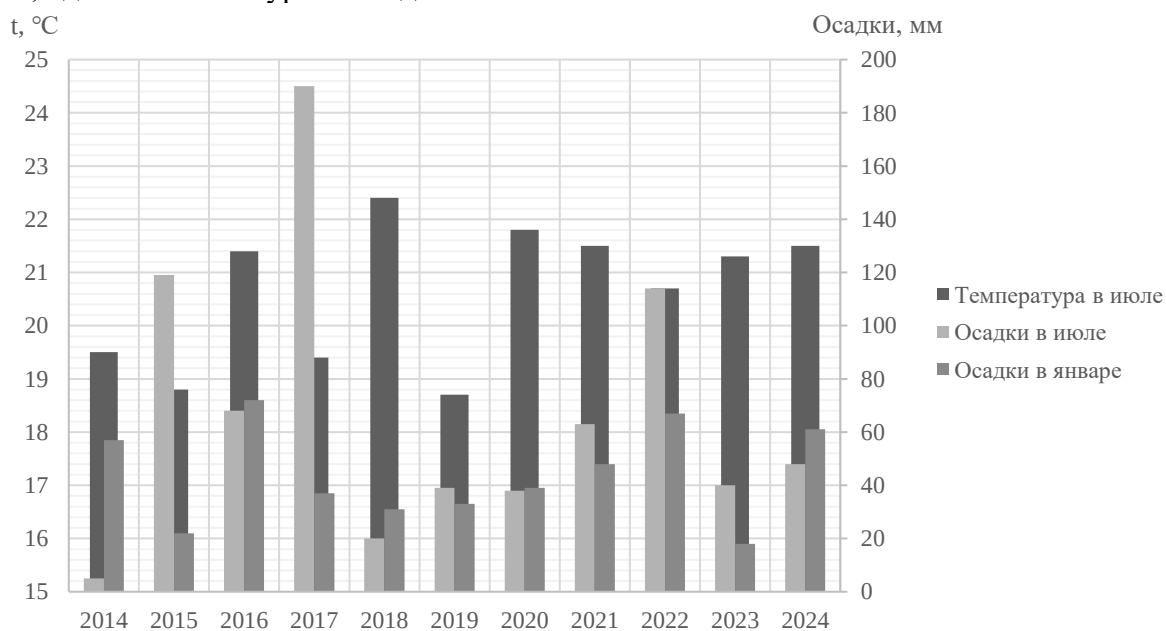


Рис. 1. Средняя месячная сумма выпавших осадков и средняя месячная температура 2014–2024 гг.

Для анализа средних месячных и годовых сумм выпавших осадков и температур воздуха были взяты данные с метеорологической станции г. Ульяновска [4].

По результатам исследований были построены графики изменения температуры воздуха и средних месячных осадков за июль, представленные на рисунке 1, а также гидрограф хода уровня воды Куйбышевского водохранилища [5], представленный на рис. 2.

Уровень воды,

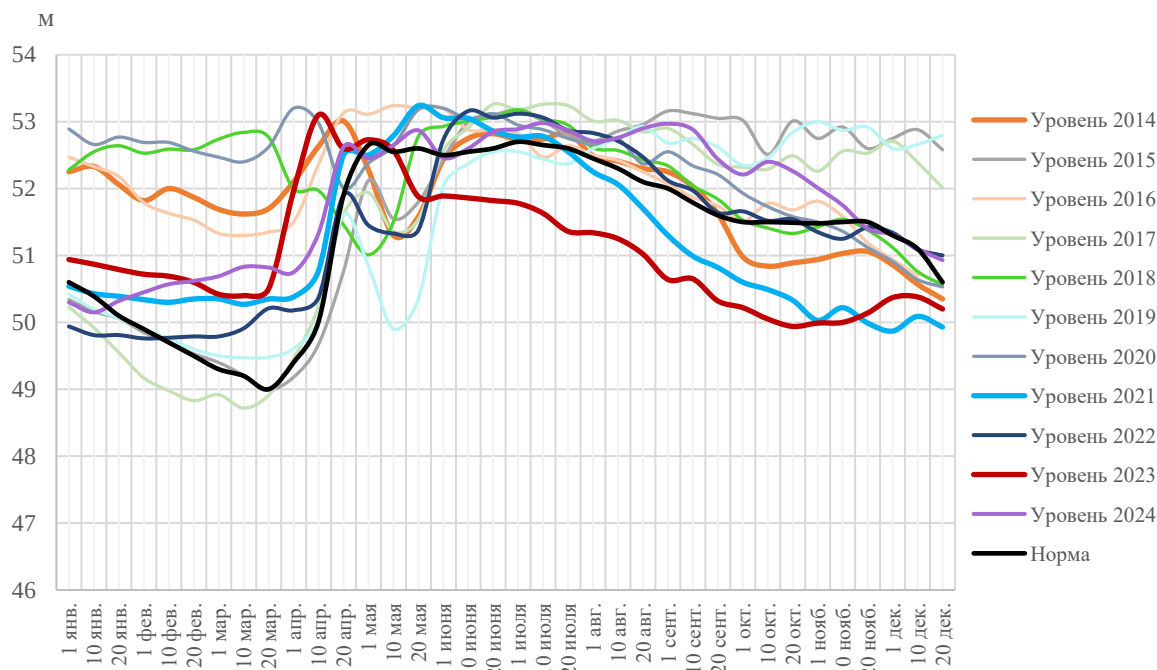


Рис. 2. Гидрограф хода уровня воды Куйбышевского водохранилища по данным РусГидро

В Куйбышевском водохранилище проектный полезный объем заключен в призме регулирования высотой 7,5 м, расположенной между отметками 53 и 45,5 м Балтийской системы (БС).

По результатам исследований можно сделать *вывод*, что локальные климатические условия за период 10 лет не претерпели каких-либо значимых изменений, следовательно, не могут являться первопричиной низкой отметки уровня воды в Куйбышевском водохранилище. За рассмотренный период не наблюдалось снижение уровня водохранилища ниже УМО. Населенный пункт Болгар находится выше Куйбышевского водохранилища, соответственно поддержание уровня, комфортного для функционирования речного порта создаст проблемы в нижнем течении. Можно резюмировать, что основной причиной низких отметок в районе порта являются ошибки проектирования. Кроме того, необходим анализ состояния всего Волжского каскада ГЭС, что позволит сделать вывод о влиянии регулирования на состояние причальных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беднарук С.Е. Опыт управления режимами работы гидроузлов Волжско-Камского каскада водохранилищ и проблемы обеспечения социально-экономической и экологической стабильности в регионах Поволжья. Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии.
2. Росгидромет ФГБУ «УГМС Республики Татарстан»: офиц. сайт. URL: [https://www.tatarmeteo.ru/ru/novosti/o-situaczii-na-kujbyishevskom-vodoxranilishhe-\(2023-god\).html](https://www.tatarmeteo.ru/ru/novosti/o-situaczii-na-kujbyishevskom-vodoxranilishhe-(2023-god).html)
3. Гидрометцентр России: офиц. сайт. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).
4. Погода и климат: сайт. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27785.htm> (дата обращения: 14.01.2025)
5. РусГидро: офиц. сайт. URL: <https://rushydro.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ ДЕРИВАЦИОННОЙ ГЭС НА Р. ШУ, КАЗАХСТАН

Цель работы – разработка компоновки и методики расчета основных гидротехнических сооружений деривационной ГЭС на р. Шу, таких как деривационный канал, напорный бассейн, автоводослив деривации, глубинный холостой водосброс, напорный трубопровод.

На рисунке 1 представлена предлагаемая компоновка водоприемного оголовка деривационной ГЭС на р. Шу.

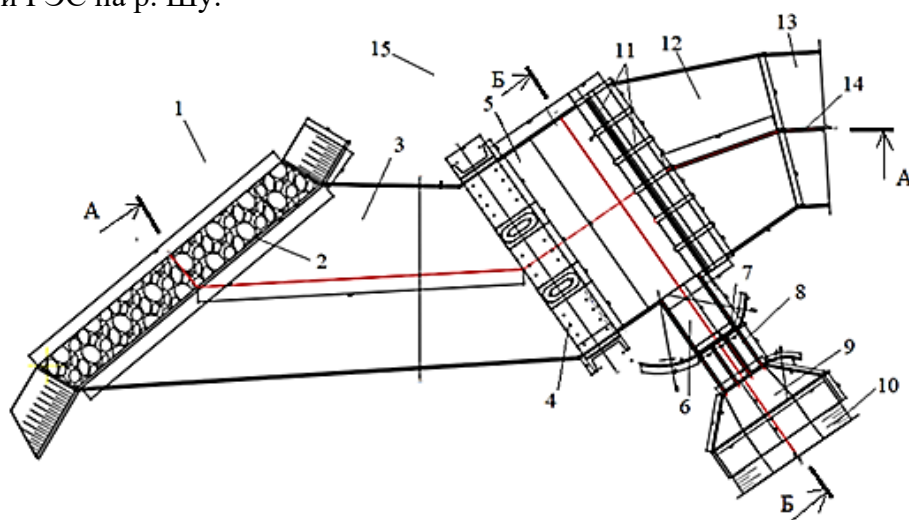


Рис. 1. Компоновка водоприемного оголовка деривационной ГЭС на р. Шу

Водоприемник включает следующие гидротехнические сооружения: 1 – верхний бьеф водозаборного гидроузла; 2 – водоприемный оголовок подводящего канала; 3 – подводящий канал; 4 – мост; 5 – водораспределительный узел; 6 – водоприемник правобережного подводящего канала; 7 – затворы регуляторы ирригационного канала; 8 – трубчатый переезд; 9 – сопрягающий участок; 10 – правобережный подводящий ирригационный канал; 11 – подпорный створ (перегораживающие шлюзы) деривации; 12 – сопрягающий участок деривации; 13 – деривационный канал; 14 – разделительная стенка; 15 – холостой сброс (речной пролет).

Особенностью компоновки сооружений энергетического гидроузла является, во-первых, расположение его сооружений на поворотном участке реки Шу, что позволило создать необходимый напор, при этом существенно сократить длину деривационного канала и затраты на его строительство. Во-вторых, отличительной особенностью проектируемого гидроузла является отсутствие в его составе наносозащитных сооружений, т.е. сооружений, предотвращающих попадание речных наносов в отводящий канал. Это оказалось возможным благодаря наличию в верхнем бьефе деривационного гидроузла Тасоткельского (бывш. Тащаткульского) водохранилища, выполняющего роль руслового отстойника.

Расчетное обоснование гидротехнических сооружений заключалось в определении рациональных размеров их конструктивных элементов.

Расчет деривационного канала выполнялся на расход воды, равный максимальному расходу гидротурбин МГЭС с учетом запаса на фильтрацию $Q_{\max} = 80,0\text{--}90,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Глубина воды в деривации $h = 3,0 \text{ м}$ и ширина деривационного канала $b = 30,0 \text{ м}$ прямоугольного сечения в бетонном русле были рассчитаны из условия соблюдения рекомендуемой средней скорости водного потока $V = 0,89\text{--}1,00 \text{ м/с}$ [1]. Потери напора на водоприемном оголовке

равные $\Delta h = 0,5$ м приняты равными скоростному напору. Потери по длине 45,2 м подводящего участка деривации $\Delta h = 0,003$ м определены из формулы Шези для равномерного движения воды [2]. Следовательно, при определении действующего напора МГЭС этими потерями напора можно пренебречь ввиду малости.

Аналогичным образом определены размеры транзитной части деривационного канала длиной 137,0 м. Здесь деривационный канал имеет разделительную стенку для отдельной подачи воды на каждую турбину. Параметры деривации на этом участке следующие: ширина двух секций 12,25 м каждая, глубина воды в секциях канала 2,83 м, высота центральной разделительной стенки 3,0 м. Строительная высота боковых стенок канала, равная 4,0 м, назначена с учетом создания напора над автоводосливом 2 в напорном бассейне (рис. 2).

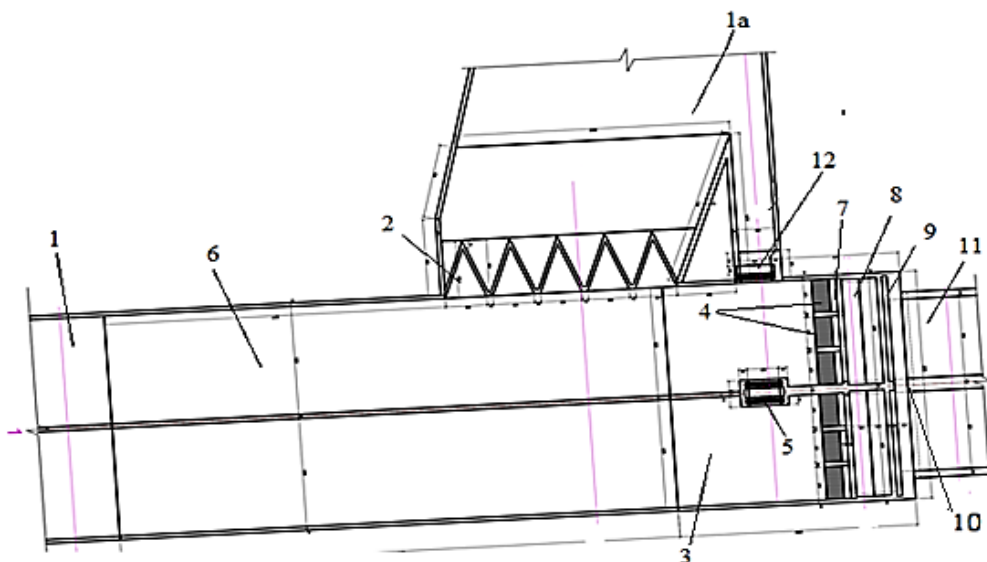


Рис. 2. Напорный бассейн деривационной малой ГЭС на р. Шу:

1 – деривационный канал, 1а – холостой водосброс; 2 – автоводослив деривации; 3 – напорный бассейн; 4 – сороудерживающие сетки (решетки); 5 – сбросной уравнильный узел; 6 – аванкамера; 7 – опорная диафрагма сороудерживающей решетки; 8 – служебный мост; 9 – шандорный паз; 10 – входное сечение турбинного водовода; 11 – турбинные водоводы; 12 – боковое водосбросное отверстие

Напорный бассейн 3, расположенный в конце деривации 2 является сопрягающим сооружением и служит для подачи воды из открытой деривации в напорные турбинные трубопроводы 11. В голове турбинных водоводов установлена сороудерживающая решетка 4, параметры которой установлены следующим расчетом. Требуемая площадь отверстий сороудерживающей решетки 4 определяется по формуле [3].

$$F = 1,25 \frac{Q_n}{V} K_{ст}, \quad (1)$$

где F – площадь водоприемных отверстий решетки; 1,25 – эмпирический коэффициент, учитывающий загрязнение решетки мусором и водорослями; Q_n – расход воды на гидротурбину; V – допустимая скорость втекания воды в отверстия решетки, с учетом очистки решетки и недопущения попадания крупных особей рыб в напорный водовод принимается равной 1,0 м/с [3]; $K_{ст}$ – коэффициент стеснения решетки, определяется по формуле [3].

$$K_{ст} = \frac{a + d}{a}; \quad K_{ст} = \frac{100 + 20}{100} = 1,2, \quad (2)$$

где d – диаметр стержней решетки, принимается равным 20 мм [3]; a – расстояние между стержнями в свету, $a = 100$ мм.

При ширине решетки, равной 11,0 м, ее высота составит $H_p = F/11,0$.

С левого борта напорного бассейна устроен автоводослив деривации 2 (рис. 2) в виде полигонального водослива. Расход истечения через автоводослив при остановке турбин МГЭС определяется по формуле истечения через неподтопленный водослив с тонкой стенкой [4]:

$$Q_{ав} = m_{ав} L_{ав} \sqrt{2g} H_{ав}^{1,5}. \quad (3)$$

Далее по ходу движения потока в боковой стенке напорного бассейна устроен глубинный холостой водосброс деривации 12 в виде плоского затвора (см. рис. 2). Расход истечения через данный водосброс определяется по формуле истечения через большое неподтопленное отверстие [5]:

$$Q_{хв} = \mu \omega_{хв} \sqrt{2g(H_{max} - a)}. \quad (4)$$

Размеры полигонального автоводослива 2 и глубинного холостого водосброса 12 подбираются так, чтобы их суммарный расход был равен расходу деривации $Q_{max} = 90,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

С целью определения параметров армирования был выполнен статический расчет боковой стенки напорного бассейна.

Размеры напорного трубопровода гидроагрегатов определяются методом экономически наивыгоднейшего диаметра. При этом в пределах допустимых скоростей потока выбирается ряд стандартных диаметров трубопровода и для них рассчитываются, с одной стороны, стоимость потерь электроэнергии на преодоление гидравлических сопротивлений S_1 . С другой стороны, определяется удельная стоимость материала трубопровода (сталь, полимеры) для каждого из выбранных диаметров S_2 . Наименьшая суммарная стоимость $S_1 + S_2 = \min$ соответствует экономически наивыгоднейшему диаметру.

Выводы:

1. При выборе местоположения гидроузла деривационной ГЭС на р. Шу рационально использованы особенности гидрографии и существующей инфраструктуры. Линейные сооружения гидроузла располагаются на поворотном участке реки Шу. Это позволило существенно сократить длину деривационного канала и затраты на его строительство.
2. Проектируемая ГЭС располагается в нижнем бьефе Тасоткельского водохранилища, служащего русловым отстойником. Речные наносы (песок, гравий), транспортируемые по реке Шу, осаждаются в ложе водохранилища, что позволяет использовать очищенную воду в сооружениях и агрегатах МГЭС.
3. Рассмотрены принципы гидравлического расчетного обоснования основных гидротехнических сооружений деривационной ГЭС на р. Шу, таких как деривационный канал, напорный бассейн, сороудерживающая решетка, автоводослив деривации, глубинный холостой водосброс, напорный трубопровод.
4. Некоторые приведенные конструктивные размеры сооружений, полученные расчетным путем, требуют экспериментального подтверждения ввиду многофакторности рассматриваемых гидравлических задач.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строительство ГЭС в п. Жана-Жол в Шуйском районе Жамбыльской области, кн.5. Тараз: Кулан, 2019. – 204 с.
2. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. 546 с.
3. Софинская О.С. Водозаборные сооружения: учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Новополюк : ПГУ, 2014. – 264 с.
4. Справочник по гидравлическим расчётам. Под редакцией П.Г. Киселева. М.: Энергия, 1974. 312 с.
5. Кожевникова Е.Н., Локтионова Е.А., Орлов В.Т. Механика жидкости и газа (гидравлика): Методические рекомендации для выполнения и оформления курсовых и расчетно-графических работ. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 39 с.

СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ДЕРЕВЯННОГО ПОКРЫТИЯ ПРОМЗДАНИЯ
ПУТЕМ НАЗНАЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ШАГА ПОПЕРЕЧНЫХ РАМ

Область рационального применения деревянных конструкций (ДК) определяется, в том числе, удельной прочностью, по которой древесина близка к углеродистым сталям и превосходит железобетон [1, 2]. Для большепролетных конструкций решающее значение имеет собственный вес, для них наряду со сталями целесообразно применение древесины. В статье [3] демонстрируется рациональность полигональной схемы деревянных ферм из брусев по сравнению с треугольной. В данной статье приведены результаты проектирования ДК покрытия промздания длиной 68 м с полигональными фермами пролетом 19,2 м при варьировании шага поперечных рам каркаса. Варианты шага рам В1, В2 и В3 приняты 6 м, 5 м и 4 м по рекомендациям [4] для неотапливаемых зданий исходя из загруженности покрытия (снеговой район 1). Фермы шарнирно опираются на оголовки колонн, раскреплены связями (горизонтальными в плоскостях верхнего и нижнего поясов, вертикальными в плоскостях центральных и опорных стоек) и неразрезными прогонами в узлах верхнего пояса. На прогоны с назначаемым шагом « $C_{с.н.}$ » опираются стропильные ноги – опоры досок рабочего настила. На рабочий настил укладываются доски (конструктивно $\delta = 16$ мм) сплошного косоугольного защитного и трехслойная рубероидная холодная кровля.

Цель работы – определение рационального шага рам каркаса здания по критерию минимальной материалоемкости конструкций покрытия. *Задачи*: 1) подбор сечений конструкций покрытия при варьировании шага рам на основе метода предельных состояний; 2) конструирование фермы при рассматриваемых вариантах (13, 15 и 18 рам); 3) оценка расхода материалов на конструкции покрытия здания при вариантах его каркаса, выявление шага рам с минимальной материалоемкостью и расчетных факторов, влияющих на нее.

Расчетная схема рабочего настила принята в виде неразрезной двухпролетной балки с условной шириной сечения 1 м и пролетами « $l_{наст}$ », равными шагу $C_{с.н.}$ стропильных ног. Рассматривались сочетания собственного веса (настила и кровли): а) со снеговой нагрузкой; б) с весом сосредоточенного груза. Шаг стропильных ног в В1 ÷ В3 принят $C_{с.н.} = l_{наст} = 1$ м, для всех вариантов подобран по условию прочности для сочетания «б» разреженный рабочий настил из досок 100×40 мм с шагом 0,35 м. Прогиб от нормативных постоянной и снеговой нагрузок $f_{наст} = 0,4$ мм меньше предельного $f_{наст,ult} = 8,3$ мм. Стропильные ноги рассчитываются на действие собственного веса (в т.ч. настилов и кровли) и снега по однопролетной шарнирной схеме с пролетом $l_{с.н.} = 2,4$ м, равным длине панели верхнего пояса (ВП) фермы, и шириной грузовой площади, равной их шагу $C_{с.н.} = 1$ м. Количество стропил не зависит от шага рам, в В1 ÷ В3 оно одинаково. Подобрано сечение 50×125 мм. Прогиб $f_{с.н.} = 6,3$ мм меньше предельного $f_{с.н.,ult} = 19$ мм. Покрытие в В1 ÷ В3 требует древесины: 21 м^3 и $15,8 \text{ м}^3$ на защитный и рабочий настилы, $8,33 \text{ м}^3$ на стропила. Прогоны спаренные неразрезные из двух рядов поставленных на ребро досок [4] имеют пролеты $l_{прог.}$, равные шагу рам. Ряды досок (полупрогоны) являются консольно-балочными системами, их гвоздевые забои выполняются вразбежку в зонах наименьших моментов на расстояниях $0,2 \cdot l_{прог.}$ от опор. Ширина грузовой площади прогонов в В1 ÷ В3 равна длине панели ВП фермы 2,4 м. Момент $87672 \text{ кН} \cdot \text{м}$ в прогоне при В1 в 1,44 раза превышает В2 и в 2,25 раза В3. Подобраны сечения досок полупрогонов: 75×225 мм, 75×200 мм и 50×175 мм для В1, В2 и В3. Расход древесины на все прогоны при В1 равен $22,95 \text{ м}^3$, что превышает в 1,13 раза В2 и в 1,93 раза В3. Стыки полупрогонов на гвоздевых забоях (220 шт. В1; 260 шт. В2; 320 шт. В3)

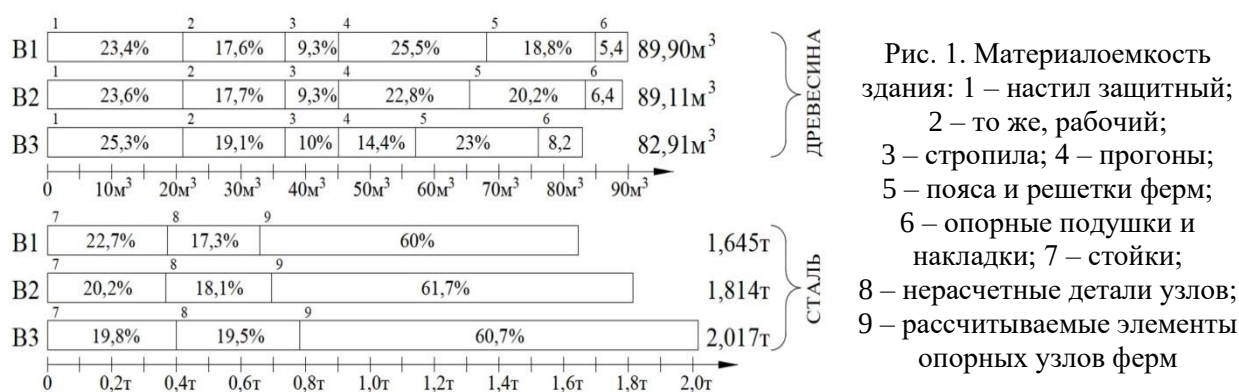
воспринимают поперечные силы. Минимальные несущие способности гвоздей (на изгиб) определяют, что каждый узел на гвоздевом забое требует: 16 гвоздей Ø4 мм, длиной $l_{гв.} = 12$ мм в В1; 12 гвоздей Ø4 мм, $l_{гв.} = 12$ мм в В2; 12 гвоздей Ø3,5 мм, $l_{гв.} = 9$ мм в В3. Общая масса гвоздей всех забоев: 4,31 кг для В1; 3,82 кг для В2; 2,71 кг для В3.

Таблица 1 – Параметры деревянных стержневых элементов ферм

Элемент	Вариант	Усилие N , кН	Расчетная длина $L_x = L_y$, мм	Сечение $b \times h$, мм	Гибк. $\lambda(\max)$	К.п.и. $\varphi(\min)$	Запас, %	Объем, м ³		Доля в общем объеме, %		
								на ферму	на здание	В1	В2	В3
НП	В1	+113,1	-	125x175	-	-	6	0,42	5,46	32,3	30,1	27,2
	В2	+94,1	-	125x150	-	-	8,2	0,36	5,4			
	В3	+73,4	-	100x150	-	-	10,5	0,288	5,19			
ВП	В1	-113,6	2400	125x125	66,44	0,65	16,3	0,31	3,98	23,6	25,5	27,8
	В2	-94,6	2400	125x125	66,44	0,65	30,3	0,31	4,59			
	В3	-73,8	2400	100x150	82,76	0,44	16,4	0,29	5,29			
Р1	В1	-90,6	3450	125x200	95,5	0,33	12	0,17	2,21	13,1	10,9	14,2
	В2	-75,4	3450	125x150	95,5	0,33	2,3	0,13	1,95			
	В3	-58,8	3450	100x225	119	0,21	1,1	0,15	2,7			
Р2	В1	-53,6	3630	125x125	100,8	0,3	8,4	0,096	1,25	7,4	8,0	8,8
	В2	-44,6	3630	125x125	100,8	0,3	23,8	0,096	1,44			
	В3	-34,8	3630	100x150	125,2	0,19	2,9	0,093	1,68			
Р3	В1	-23,3	3810	125x100	131,4	0,17	12,3	0,08	1,04	6,2	6,7	6,0
	В2	-19,4	3810	125x100	131,4	0,17	30	0,08	1,2			
	В3	-15,1	3810	100x100	131,4	0,17	28,8	0,064	1,15			
Р4, Р4'	В1	-8,5	3970	125x100	136,9	0,16	63,8	0,156	2,03	12,0	13,0	11,7
	В2	-7,1	3970	125x100	136,9	0,16	66,1	0,156	2,34			
	В3	-5,7	3970	100x100	136,9	0,16	71,5	0,124	2,23			
С1	В1	-9,3	2240	125x125	62	0,69	93	0,07	0,91	5,4	5,8	4,3
	В2	-7,7	2240	125x125	62	0,69	94	0,07	1,05			
	В3	-6,1	2240	100x100	77,5	0,5	90,3	0,045	0,81			
										16,9м ³	18м ³	19м ³

В таблице 1 подобранные по СП [5] и пособию [4] сечения деревянных стержневых элементов (ДСЭ). Для растянутых панелей нижнего пояса (НП) характерно негативное влияние пороков древесины и почти в 2 раза меньшее, чем при сжатии R_c , расчетное сопротивление R_p (при $m_{дл} = 0,66$; $m_b = 0,9$; $m_o = 0,8$). Сечение НП подбирается по прочности, его ширина определяет ширину сечений верхнего пояса (ВП) и раскосов (Р1 ÷ Р4, Р4'), опорных стоек (С1). Для В2 сечение 125 × 150 мм НП обеспечивает меньшие запас прочности (8,2%) и расход древесины (5,4м³ на здание), чем альтернативное 100 × 200 мм (20% и 6м³), поэтому ширина сечений всех ДСЭ для В2 совпала с таковой для В1. При подборе сечений сжатых ДСЭ определяющей является проверка по потере устойчивости в плоскости или из плоскости фермы. Для сжатых ДСЭ в таблице 1 приведен запас по устойчивости. Сечение 125 × 125 мм ВП для В2 совпадает с таковым для В1 и имеет запас 30,3% (при 16,3% для В1), являясь минимально возможным по расчету. Это объясняется тем, что при уменьшении высоты сечения до 100 мм (сортамент пиломатериалов) максимальная гибкость достигает $\lambda_{\max} = 83$, что больше $\lambda = 70$, разделяющей потерю устойчивости при упругой работе древесины ($\lambda > 70$) и за пределом пропорциональности ($\lambda \leq 70$). Тогда коэффициент продольного изгиба (К.п.и.) вычисляется по формуле (14) п. 7.3 СП [5] для упругих стержней и уменьшается до $\varphi_{\min} = 0,44$ (при 0,65 для сечения 125 × 125 мм), что по расчету приводит к потере устойчивости ВП в плоскости фермы. Все раскосы работают упруго (по λ). Опорные

раскосы имеют оптимальные запасы от 1,1% до 12%. Сечения раскосов Р2 и Р3 для варианта В2 совпали с таковыми для В1 по расчетным причинам как для панелей ВП. Слабонагруженные Р4, Р4' и опорные С1 при фиксированной ширине как у НП имеют минимально возможные по сортаменту сечения (запас 94% для С1). Растянутые стойки ферм стальные круглого сечения, подбираемого по прочности с учетом ослаблений на концах резьбой для гаек. Диаметры стоек С2 (2,65 м, 2 шт.), С3 (2,89 м, 2 шт.), С4 (3,13 м, 2 шт.) и С5 (3,37 м, 1 шт.) подобраны: Ø20, Ø14, Ø12 и Ø12 для В1 (28,7 кг на ферму); Ø18, Ø12, Ø12 и Ø12 для В2 (24,4 кг на ферму); Ø16, Ø12, Ø12 и Ø12 для В3 (22,2 кг на ферму) при минимальном конструктивном Ø12 мм. Расчетные запасы для С2 и С3 до 16%, С4 и С5 приняты конструктивно. Конструкции узлов по расчетам согласно [4]: на опорных подушках для стандартных, особых, конькового и центрального узла НП; на тяжах для опорных узлов. Количество стальных принимаемых конструктивно деталей узлов (штыри раскосов и опорных стоек, стяжные болты опорных подушек) для В1 ÷ В3 одинаково (21,9 кг на ферму), отличия в размерах деревянных опорных подушек (итого 0,15 м³ на ферму) и накладок (для поясов и встречных раскосов) незначительны (итого 0,23 м³ на ферму). Расход стали на подбираемые по расчету элементы одного опорного узла (швеллер торца НП, 4 уголка, 4 тяжа и 12 болтов) для В1, В2 и В3 составил: 37,8 кг, 37,2 кг и 33,9 кг.



Выводы: 1) Общий расход древесины (рис. 1) минимален при В3 (–7,8% от В1): на 48% (11,1м³) снижен объем прогонов за счет уменьшения пролетов; на 19% (4,1м³) возрос объем древесины ферм при их меньших сечениях, но большем числе. 2) Расход стали на одну ферму минимален при В3 (112 кг). Для В1 ÷ В3 соотношения масс поз. 7, 8 и 9 на рис. 1 близки, а доля поз. 8 и 9 (77,3% ÷ 80,2%) делает незначительным снижение массы стоек с уменьшением шага рам. Для В3 получен наибольший суммарный расход стали. 3) Большой шаг рам 6 м позволил достичь экономии стали 22,6% (372 кг) при перерасходе древесины 7,8% (7 м³). С учетом ожидаемого снижения объемов работ (изготовление, транспортировка и монтаж) и затрат на них при меньшем числе рам, этот вариант является рациональным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Арленинов Д.К. Деревянные конструкции : примеры расчета и конструирования / Д.К. Арленинов, Ю.Н. Буслаев, В.П. Игнатьев. – М. : АСВ, 2006. – 246 с. – EDN QNMOLD
2. Конструкции из древесины и пластмасс : Учебник / Б.И. Гиясов, В.И. Запруднов, Н.Г. Серегин, В.В. Стриженко. – М. : АСВ, 2020. – 616 с. – EDN IREDBQ
3. Расчетное обоснование оптимального конструктивного решения деревянной стропильной фермы / Э.И. Фаттахов, Е.П. Федорова, А.А. Меркулов, Г.Л. Козинец // Неделя науки ИСИ : Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 54–56. – EDN NFPVTT
4. Семенов К.В. Конструкции из дерева и пластмасс. Деревянные конструкции : Учебное пособие / К.В. Семенов. – 2-е изд., испр. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 133 с. – EDN NIMWGE
5. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 с изменениями №4 2023-го года. – М.: Министерство регионального развития России, 2017.

ВЛИЯНИЕ БЫСТРОГО ЗАКРЫТИЯ ШАРОВОГО КРАНА
НА СИСТЕМУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КВАРТИРЫ ВЕРХНЕГО ЭТАЖА

В настоящее время существует предположение о локальном характере гидравлического удара в системах водоснабжения многоквартирных домов. Считается, что этот нестационарный (переходный) процесс, возникающий из-за резкого изменения скорости потока жидкости (например, при быстром закрытии крана) [1, 2], ограничивается пределами одной квартиры. Энергия гидравлического удара, согласно этой гипотезе, полностью рассеивается в стояке водоснабжения, который, относительно подводящей трубы к квартире, функционирует как своего рода демпфер, поглощая импульс давления. Однако, данное утверждение требует тщательной проверки и количественной оценки. Именно поэтому целью настоящего исследования является экспериментальное подтверждение или опровержение этой гипотезы, с особым акцентом на оценке влияния гидравлического удара, возникающего в одной квартире, на шаровые краны соседних квартир.

Большинство существующих программных комплексов, заявляющих о возможности моделирования гидравлического удара, не предоставляют необходимой верификации своих результатов, то есть, не подтверждают точность расчетов независимыми экспериментами или аналитическими решениями. Это существенно ограничивает достоверность получаемых результатов. В связи с этим, для данного исследования был выбран программный комплекс FloMASTER от компании Mentor Graphics (в настоящее время принадлежит Siemens), отличающийся наличием верификационных отчетов [4]. Более того, была проведена дополнительная верификация путем сравнения полученных численных данных с результатами, полученными с помощью аналитического метода расчета гидравлического удара, подробно описанного в [3].

FloMASTER использует метод характеристик для решения дифференциальных уравнений, описывающих гидравлический удар. Этот метод известен своей точностью и эффективностью в решении задач, сопряженных с изучением гидравлического удара [1, 2, 5].

Была составлена модель систем ХВС и ГВС жилого дома, состоящая из двух стояков $d_y = 2''$, подводящих воду к двум водоразборным точкам – шаровым кранам со смесителями, сопротивление каждого из которых $\zeta_{см} = 50$ [6]. Влияние гидравлического удара оценивалось в точках сопряжения подводящего трубопровода $d_y = 1/2''$ со стояком и у шаровых кранов. Давление концах стояка и расход в системе были приняты, согласно требованиям [7] и составили 2,7 бар и 0,02 м³/с в каждом стояке соответственно. На подводящем трубопроводе в каждой из квартир установлен элемент местного сопротивления от фильтра, счетчика и другой арматуры на вводе в квартиру с $\zeta_{сум} = 20$. Закрывающийся кран расположен внизу, кран, на который рассматривается влияние гидравлического удара, расположен этажом выше и принимается постоянно закрытым. Время закрытия шарового крана на нижнем этаже принято равным 0,2 с.

Система принята из полипропиленовых труб, соответственно скорость волны гидравлического удара у задвижки в первом приближении по формуле (1) для определения волновой скорости [1, 2]:

$$a = \sqrt{\frac{E_f}{\rho}} / \sqrt{1 + \frac{D E_f}{d E_p}} = \sqrt{\frac{2,03 \cdot 10^9}{998,207}} / \sqrt{1 + \frac{0,0127}{0,0027} \cdot \frac{2,03 \cdot 10^9}{0,9 \cdot 10^9}} = 418,53 \text{ м/с.} \quad (1)$$

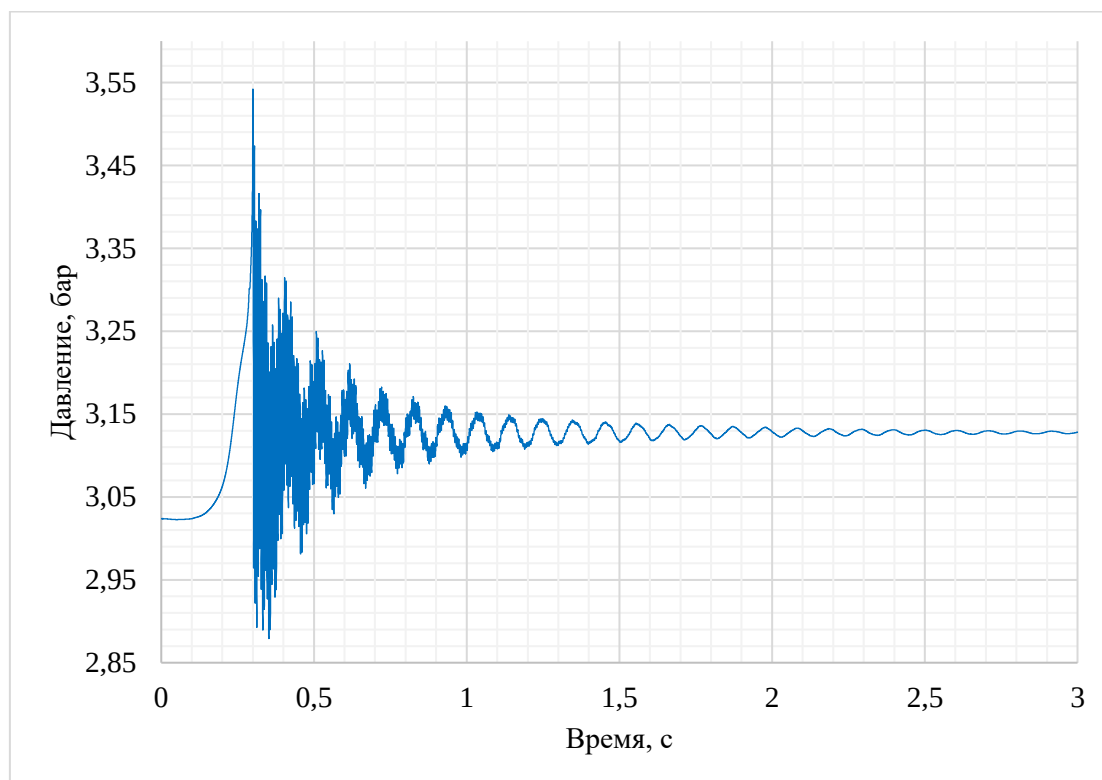


Рис. 1. График давления перед закрывающимся краном

График давления перед закрывающимся краном (нижний этаж) представлен на рис. 1. Скачок давления гидравлического удара составляет 0,54 бар. График давления перед закрытым краном (верхний этаж) представлен на рис. 2. Скачок давления гидравлического удара составляет 0,04 бар.

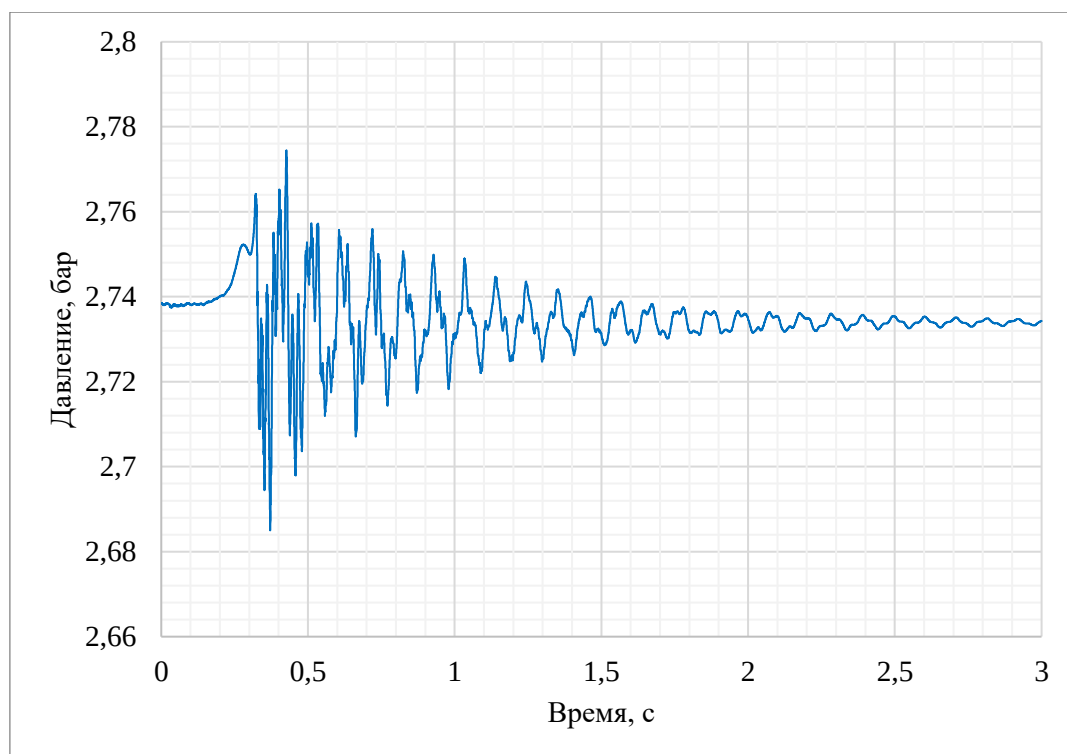


Рис. 3. График давления перед закрытым краном

Давление на входе в стояк на нижнем этаже составило 0,18 бар. Давление на входе в стояк на верхнем этаже составило 0,03 бар.

Таким образом, можно сделать следующие *выводы*:

1. Полученные результаты численного эксперимента позволяют оценить максимальное давление в системе водоснабжения при возникновении гидравлического удара, а также определить распространение волн давления в соседние квартиры и их влияние на работу шаровых кранов.

2. Гипотеза о локальном характере явления гидравлического удара от закрытия шарового крана в системе водоснабжения квартиры не подтверждается. Волна сжатия имеет влияние на другие водоразборные устройства системы, поэтому данный переходный процесс важно учитывать на ранних стадиях проектирования во избежание возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации системы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник для студентов высших учебных заведений – 3-е изд., испр. и доп., СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2007, 546 с.
2. Татура Е.А, Гоголев С.А. Гидравлический удар в напорных водоводах и защита от него: Методическое пособие. – Ижевск: 2007. – 66 с.
3. Свиридова С.Я. Верификация программного комплекса FloMASTER и расчет параметров гидравлического удара / С.Я. Свиридова, А.А. Гиргидов // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов всероссийской конференции. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 206–209. – EDN HIOQOG.
4. Mentor Graphics. Flowmaster V7 Validation Examples, FM7.9.4 // Mentor Graphics. 2015.
5. Mentor Graphics. Simcenter Flomaster Components Reference Manual // Mentor Graphics. 2020.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с: ил. ISBN 5-217-00393-6.
7. СП 30.13330.2020 Внутренний водопровод и канализация зданий СНиП 2.04.01-85* (с Изменениями N 1–4).

УДК 627.51

Н.А. Севостьянов, О.Н. Столяров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ НАВОДНЕНИЙ

Наводнения представляют собой одну из самых разрушительных природных катастроф, вызывая значительные экономические убытки и разрушение инфраструктуры. Традиционные методы защиты, такие как дамбы и плотины остаются ключевыми инструментами борьбы. Они способны обеспечивать долговременную защиту, регулировать уровень воды в реках и водохранилищах. Однако строительство таких сооружений требует значительных финансовых затрат, кроме того, в условиях чрезвычайной ситуации невозможно быстро возвести подобные объекты, что ограничивает их эффективность. В связи с этим возрастает интерес к современным мобильным барьерам, которые позволяют оперативно защитить территории и инфраструктуру, минимизируя ущерб [1].

Целью работы является анализ современных мобильных противопаводковых барьеров и их сравнение с традиционными методами защиты.

Основные способы защиты от наводнений, помимо дамб и плотин, включают возведение земляных насыпей, валов и использование песчаных мешков. Их основная задача создать барьер, препятствующий разливу воды, направляя поток в нужное русло, ограждая населённые пункты и объекты инфраструктуры. Однако их практическая реализация сталкивается с серьёзными ограничениями. Например, сооружение насыпей требует большого количества грунта, привлечения тяжёлой техники и значительных трудовых ресурсов, что

делает этот процесс практически невыполнимым в условиях стремительно развивающегося наводнения. Песчаные мешки, несмотря на относительную мобильность, также имеют свои недостатки: их необходимо заранее подготовить, наполнить песком, доставить к месту установки и уложить вручную, что занимает часы или даже дни. Кроме того, такие барьеры уязвимы к сильным потокам – вода быстро размывает песок, а мешки, пропитываясь влагой, теряют устойчивость и форму, становясь ненадёжными при длительном воздействии. Эти недостатки подчёркивают потребность в более оперативных и устойчивых решениях, способных обеспечить защиту в условиях ограниченного времени [2].

Одним из примеров таких технологий является модульная система защиты, состоящая из складных панелей, усиленных алюминиевыми рёбрами жёсткости. Принцип работы системы основан на использовании давления воды, которое прижимает панели к основанию. Опорные элементы предотвращают опрокидывание, создавая устойчивую защитную стену. Резиновое основание, выполненное из эластомерных материалов, предотвращает подтекание воды, обеспечивая герметичность конструкции. Основное преимущество – скорость монтажа, например, для создания барьера длиной 100 м и высотой 1,2 м традиционный подход потребовал бы 6000 песчаных мешков, что эквивалентно 216 т отходов – объёму, достаточному для загрузки более 15 грузовикам. Применение данного метода связано с высоким расходом ресурсов и требует значительного времени как на обновление, так и на демонтаж этих ограждений. В свою очередь, модульная система требует значительно меньших трудозатрат для установки, обеспечивая оперативность, недостижимую для традиционных методов [3].

Другой подход представлен системой гибких водоналивных барьеров, изготовленными из полимерных материалов, таких как усиленный поливинилхлорид (ПВХ) или полиэтилен высокой плотности. Эти барьеры поставляются в свёрнутом виде и разворачиваются непосредственно на месте применения, после чего наполняются водой с помощью насосов. По сравнению с земляными насыпями, водоналивные барьеры требуют значительно меньше времени на установку – процесс занимает всего несколько часов. Преимущество этой системы заключается в её адаптивности, гибкость материала позволяет барьерам приспосабливаться к неровностям рельефа, что недоступно для традиционных жёстких конструкций. Водяное наполнение обеспечивает амортизацию при столкновении с тупыми объектами, однако многократные удары или абразивное действие мелких частиц могут привести к постепенному износу или локальным разрывам, что требует дополнительные меры контроля [4].

В дополнение к оперативным решениям могут быть рассмотрены воздухоопорные конструкции. Это конструкции из мягких оболочек, поддерживаемые избыточным давлением воздуха внутри. Для их изготовления применяются полиэфирные ткани с покрытиями из ПВХ или политетрафторэтилена, обеспечивающие герметичность и защиту от механических повреждений [5].

В свою очередь, система быстроразворачивающихся противопаводковых мешков представляет иной принцип действия, основанный на применении суперабсорбирующих полимеров, заключённых в оболочку из нетканого материала. В сухом состоянии мешки компактны и удобны для транспортировки, а при контакте с водой полимер впитывает влагу, увеличивая объём барьера до 10–15 раз от исходного. Время активации составляет менее 10 минут, что делает систему оптимальной для экстренной защиты локальных объектов. Тем не менее, долговечность мешков ограничена износом оболочки, а повторное использование возможно лишь при условии полного высушивания [6].

При проектировании противопаводковых барьеров важно учитывать комбинированные нагрузки, включая гидростатические нагрузки, гидродинамические нагрузки и ударные воздействия. Для водоналивных и воздухоопорных конструкций гидростатическая нагрузка распределяется по всей длине конструкции, создавая равномерное давление на основание. В случае

жёстких модульных систем, таких как модульные панели, давление передаётся на соединительные узлы и опоры [7]. Гидростатические нагрузки q_1 можно определить по формуле (1):

$$q_1 = \rho ghL, \quad (1)$$

где ρ – плотность воды, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; h – высота защитного барьера, м; L – длина защитного барьера, $L = 1 \text{ м}$.

При установке барьера в зоне течения воды, если направление потока не совпадает с плоскостью барьера, возникают гидродинамические нагрузки, сила, распределенная по длине барьера. Эти нагрузки q_2 можно рассчитать по формуле (2):

$$q_2 = \rho(v \sin \alpha)^2 L, \quad (2)$$

где v – скорость течения воды, примем $2,0 \text{ м/с}$; α – угол между потоком воды и барьером.

Эта нагрузка учитывает кинетическую энергию движущейся воды и может значительно варьироваться в зависимости от скорости течения и угла наклона барьера.

Для наглядного сравнения характеристик различных способов защиты представлена таблица 1.

Таблица 1 – Характеристики различных способов защиты

	Способ защиты	Высота защиты, м	Скорость установки, м ² /ч	Гидростатическая нагрузка, кН/м	Гидродинамическая нагрузка, кН/м
1	Насыпи	5	5	50	1
2	Мешки с песком	1,5	10	15	4
3	Модульная система защиты	3	25	30	4
4	Водоналивные барьеры	2,5	100	25	4
5	Противопаводковые мешки	0,5	150	5	4

В отличие от традиционных способов, современные мобильные противопаводковые барьеры предлагают более гибкие и оперативные решения для защиты от наводнений. Эти системы позволяют быстро развернуть защиту, минимизируя ущерб и могут использоваться многократно, что делает их экономически выгодными. Выбор способа защиты должен учитывать характер наводнения, доступность ресурсов и срочность реагирования. В перспективе развитие мобильных технологий позволит существенно снизить ущерб и повысить эффективность защиты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kundzewicz, Z.W., & Takeuchi, K. Flood protection and management: Hydrological Sciences Journal, 44(3), 1999. С. 417–432.
2. Проскура Д.Ю., Капустина Ю.Г., Арутюнян А.А. Инженерные гидротехнические сооружения мобильного развертывания // Научные труды Дальрыбвтуза. 2014. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenernye-gidrotehnicheskie-sooruzheniya-mobilnogo-razvertyvaniya> (дата обращения: 20.02.2025).
3. AquaFence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aquafence.com> (дата обращения: 24.02.2025).
4. US Flood Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://usfloodcontrol.com> (дата обращения: 24.02.2025).
5. Столяров О.Н. Ползучесть и релаксация напряжений в воздухоопорных и тентовых строительных конструкциях: учеб. пособие / О.Н. Столяров, П.С. Мостовых. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 109 с.
6. Quick Dams [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://quickdams.com> (дата обращения: 24.02.2025).
7. Research on Design of Extensible Mobile Flood Control Wall in Underground – Текст: электронный // ResearchGate: [сайт]. – 2022. – URL: https://www.researchgate.net/publication/363898392_Research_on_Design_of_Extensible_Mobile_Flood_Control_Wall_in_Underground (дата обращения: 24.02.2025).

КОМПОНОВКА СООРУЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО ГИДРОУЗЛА
МАЛОЙ ГЭС НА Р. ДЖАРДЫ-КАИНДЫ, КЫРГЫЗСТАН

Микро- и малые ГЭС, при сравнительной простоте их конструкции и методов использования, имеют огромный потенциал в области развития нетрадиционной энергетики [1]. Небольшие размеры гидротехнических узлов электростанций, отсутствие водохранилищ, сводят к минимуму воздействие человека на окружающую среду, позволяют сохранить природный ландшафт, а также почти не влияют на экосистему и природный режим речных систем [2].

Цель работы заключается в обосновании состава и размещения гидротехнических сооружений головного гидроузла деривационной малой ГЭС на реке Джарды-Каинды в Чуйской области Кыргызской Республики. При проектировании гидроузла основное внимание уделяется повышению эксплуатационной надежности, эффективности работы и экологической безопасности гидротехнических сооружений для малой энергетики горно-предгорной зоны.

Сооружения головного гидроузла являются основополагающими конструкциями малых деривационных ГЭС. В результате анализа существующих конструкций был выбран вариант низконапорного плотинного гидроузла с береговым водоприемником (рис. 1).



Рис. 1. Предлагаемая схема размещения сооружений водозаборного гидроузла

В состав гидроузла входят следующие сооружения: подводящее зарегулированное русло 1, водозаборное сооружение 2, отводящий канал к отстойнику 3, двухкамерный отстойник с гидравлической промывкой наносов 4, концевой участок деривации с напорным бассейном 5, пульповод для промывки отстойника 6, холостой водосброс 7, отводящее бытовое русло реки Джарды-Каинды 8.

Особенностью данного гидроузла является наличие строительного водосброса 7, который в период эксплуатации МГЭС может служить резервным водосбросом в случае неполадок с затворами на головном водозаборном сооружении. Оригинальной является также ломанная в плане конструкция отстойника 5, позволяющая уменьшить его линейные размеры.

В качестве Водозаборного сооружения 2 принят вариант Водозаборного сооружения для деривационных ГЭС конструкции КРСУ (патент № 607 КР, бюлл. № 11, 2003 на имя Н.П. Лаврова, А.И. Рохмана, Г.И. Логинова). Водозаборное сооружение для деривационных ГЭС (ВСДГ) данного типа успешно эксплуатируется в аналогичных предгорных условиях с 2008 г. на малой деривационной ГЭС на р. Иссык-Ата (Чуйская обл., Кыргызстан) и с 2010 г. на МГЭС Мерке (Жамбылская обл. Казахстан). Общий вид головного водозаборного сооружения малой ГЭС на р. Джарды-Каинды показан на рис. 2.

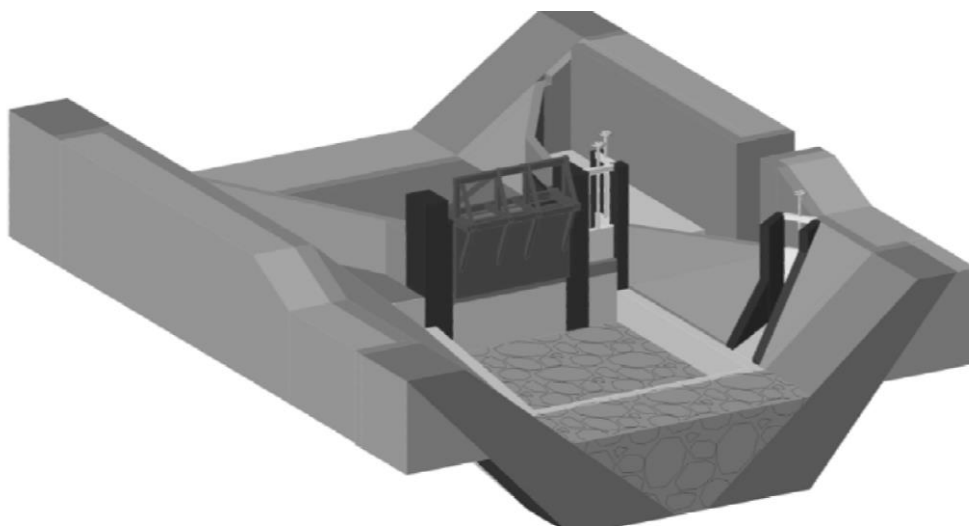


Рис. 2. Общий вид головного водозаборного сооружения малой ГЭС на р. Джарды-Каинды

Для каждого сооружения гидроузла произведены расчеты с использованием исходных данных, полученных из расчета параметров зарегулированных русел и параметров водозаборного сооружения, выполненного по необходимым рекомендациям [4, 5].

Принятая конструкция водозаборного сооружения типа ВСДГ позволяет выполнить все необходимые технологические операции водозабора с соблюдением эксплуатационных требования к водозабору из горных рек [3, 6].

Основными являются следующими технологические операции водозабора [6]:

- 1) забор требуемого расхода воды в деривацию стабилизатором расхода на отводе с поддержанием необходимого горизонта воды авторегулятором уровня верхнего бьефа, установленным на речном пролете сооружения;

- 1) сброс шуго-ледовых образований через гребень плоского затвора, расположенного в промывном тракте ВСДГ;

- 2) противонаносная защита, которая предотвращает поступление речных наносов к турбинам ГЭС, осуществляется в три этапа. На первом этапе создается поперечная циркуляция воды на участке подводящего русла реки. Затем наносозащитным порогом ВСДГ формируется

интенсивная циркуляция перед водоприемником и транспорт наносов в промывник. Далее следует осаждение наносов в нижележащем отстойнике;

3) промывка камер отстойника, для которой запроектирован пульповод квадратного сечения. При проведении поочередных промывок камер отстойника производится поднятие глубинных затворов, устанавливаемых в средних сечениях.

4) создание автоводослива и авторегулятором уровня подпора в верхнем бьефе позволяет осуществить водоотбор из поверхностных горизонтов в теплый период года. Отверстие зимнего водозабора позволяет производить отбор воды из придонных горизонтов в зимний период;

5) суммарная пропускная способность речного пролета, промывного тракта, автоводослива и отстойника позволяет пропустить максимальные поверочные расходы, что подтверждается расчетами основных характеристик конструкции;

6) гашение энергии в водобойном колодце обеспечивает устойчивость флютбета нижнего бьефа;

7) создание достаточных скоростей потока в нижнем бьефе обеспечивает недопущение завала наносами концевой части водозаборного сооружения.

Вывод. Реализуемые данной конструкцией водозаборного сооружения типа ВСДГ технологические операции, подтвержденные проведенными расчетами, позволяют обосновать выбор компоновки сооружений головного гидроузла деривационной малой ГЭС на реке Джарды-Каинды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гидроэнергоресурсы Киргизии и их использование / К.Р. Рахимов. Фрунзе: Илим, 1970. – 85 с.
2. Состояние энергетических гидротехнических сооружений Исык-Атинской ГЭС и меры по их реконструкции / М.К. Торопов. Вестник КРСУ, 2007. – 98–102 с.
3. Строительство малой ГЭС-3 на реке Джарды-Каинды, расположенный на территории Айыльного аймака Курама и Фонда зеленой энергетики Панфиловского района Чуйской области. Проект / Бишкек, 2024. – 142 с.
4. Гидравлические процессы при водозаборе из горных рек / Г.И. Логинов. Бишкек: КРСУ, 2014 г. – 196 с.
5. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках / А.В. Филончиков. Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 376 с.
6. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны/ Под. ред. Н.П. Лаврова. Бишкек: ИД «Салам», 2009. – 504 с.

УДК 621.644.8

С.С. Суднищikov, Т.А. Коряковцева, А.А. Елисеева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ГИДРОСИСТЕМА»

В связи с ростом числа расчётных обоснований различных гидравлических систем, в процессе проектирования применяются широкий круг программных комплексов, позволяющие упростить процесс моделирования и расчёта основных гидравлических параметров, необходимые для подбора насосного оборудования, арматуры, диаметра труб и их материала. К ним относятся такие программы, как FluidFlow, «Гидросистема», «Умная вода» и др.

Одной из наиболее востребованных программ, позволяющая определять гидравлические потери при движении жидкости в трубопроводе, является ПО «Гидросистема» от разработчика НТП «Трубопровод», Российская Федерация.

Цель работы. Проведение верификационного расчёта и оценка точности расчёта гидравлических потерь в ПО «Гидросистема» путём проведения сравнительного анализа результатов аналитического расчёта и расчёта в ПО.

Задачи исследования.

1. Проведение аналитического расчёта гидравлических потерь по длине;
2. Построение расчётной модели и проведение расчёта в ПО «Гидросистема»;
3. Анализ и сравнение результатов расчёта гидравлических потерь.

Исходные данные были приняты в соответствии с литературой [2, 3]:

1. Гранулометрический состав, представленный в табл. 1 взят из [3];
2. Консистенция пульпы (гидросмеси), выраженное в соотношении объёма твёрдой и жидкой фаз в потоке пульпы (Т: Ж): 1:12,3.

Таблица 1 – Гранулометрический состав

Фракция грунта, мм	2-1	1-0,21	0,21-0,074	> 0,074
Процентное содержание i -ой фракции по весу в составе пробы грунта p , %	0,4	0,5	0,9	1,8

На рис. 1 представлена гранулометрическая кривая выбранного гранулометрического состава на основе табл. 1.

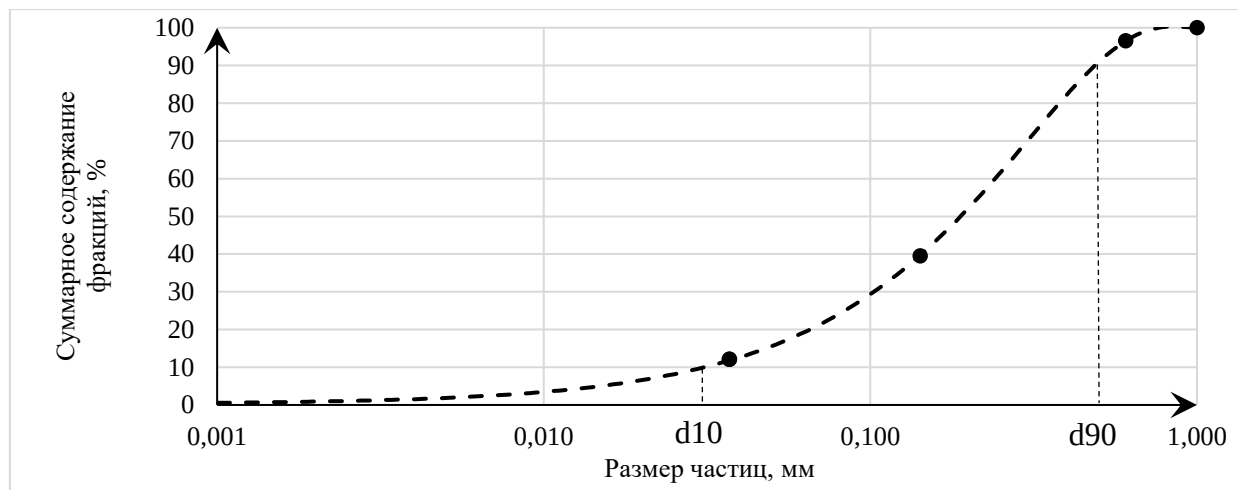


Рис. 1. Кривая гранулометрического состава хвостов

Расходы, принимаемые в качестве верификационных, соответствуют критическим расходам. [3]. Подобное решение принято по рекомендации [п. 2.37, 4]

В первом расчётном случае рассматривалась транспортировка воды по трубопроводам различных диаметров, принятых исходя из опыта проектирования и эксплуатации пульпопроводов хвостовых хозяйств [табл. 21, 3].

Аналитически гидравлические потери по длине были определены по классической формуле Вейсбаха-Дарси [1]:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}; \quad (1)$$

где h_l – гидравлические потери по длине, λ – коэффициент гидравлического трения, l – длина потока (пульпопровода), м, D – внутренний диаметр пульпопровода, м, v – скорость потока, м/с, g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент гидравлического трения λ был принят как для новых стальных трубопроводов и определен по формуле (2) [п. 37, 5]:

$$\lambda = \frac{0,31}{(\lg Re - 1)^2}; \quad (2)$$

где Re – число Рейнольдса.

Расчётная модель в ПО «Гидросистема» представляет собой стальной трубопровод длиной 100 м соответствующих аналитическому расчёту диаметров. Абсолютная шероховатость принята равной $\Delta = 0,02 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$.

Результаты расчёта первого расчётного случая приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта первого расчётного случая

D , мм	426×7	630×10	720×11	820×12	920×12	1020×16
Расход гидросмеси, Q , м ³ /с	0,41	1,02	1,40	1,90	2,50	3,14
Расход гидросмеси, Q , м ³ /ч	1463,1	3669,9	5025,5	6822,2	9007,0	11310,2
Re	1256600	2128900	2547700	3032760	3557120	4050800
λ	0,012	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010
h_{l1} , м – Аналитический расчёт	1,37	1,11	1,03	0,96	0,90	0,85
h_{l2} , м – ПО «Гидросистема»	1,35	1,09	1,01	0,94	0,88	0,84
Погрешность в %	1,3	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3

На основании результатов, приведенных в табл. 2, погрешность в процессе моделирования для первого расчётного случая не превышает допустимых 5% инженерной погрешности, что позволяет проводить моделирование.

Во втором расчётном случае рассматривалась транспортировка взвешенных частиц в потоке воды, кривая гранулометрического состава которых представлена на рис. 1. Основной проблемой в этом случае является определение критических скоростей и соответствующих им расходов. Моменты начала заилиenia пульпопроводов определяются по-разному по методике [4] и методике, применяемой в ПО «Гидросистема» – модели DHLLDV (The Delft Head Loss & Limit Deposit Velocity), подразделяющая движение твёрдой фазы в потоке воды на 5 режимов движения [6, 7].

Результаты второго расчётного случая приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта второго расчётного случая

D , мм	426×7	630×10	720×11	820×12	920×12	1020×16
Расход гидросмеси, Q , м ³ /с	0,45	1,14	1,56	2,51	2,90	3,61
Расход гидросмеси, Q , м ³ /ч	1615,97	4087,45	5608,37	9030,42	10456,27	13000,00
Re	839555,55	1434287,95	1700376,3	2428333,1	2497942,3	2793813,96
λ	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011
h_{l1} , м – Аналитический расчёт	2,73	2,36	2,26	2,48	2,12	2,03
h_{l2} , м – ПО «Гидросистема»	3,79	3,10	2,90	2,71	2,55	2,43
Погрешность в %	27,8	23,8	21,9	8,6	16,9	16,6

Выводы

В результате проделанной работы были проведены верификационные расчёты на основе материалов, полученных ранее [2].

Был проведен аналитический расчёт гидравлических потерь по длине, построение и расчёт гидравлических потерь по длине в программном обеспечении «Гидросистема» для чистой воды и для потока воды, содержащей взвеси определенной фракции.

По итогам сравнительного анализа результатов, приведенных в табл. 2 и 3, для трубопроводов 426×7, 630×10, 720×11, 820×12, 920×12 и 1020×16, можно сделать следующий

вывод, что достоверности программного обеспечения достаточно для моделирования потоков чистой воды (средняя погрешность составляет около 1,9%).

Что касается моделирования движения пульпы, достоверность полученных результатов недостаточна и требуются дополнительные исследования. В среднем погрешность в этом случае составляет около 19% для вышеописанных трубопроводов, что объясняется различными подходами к моделированию. Это подчёркивает необходимость дальнейших исследований в области гидравлической транспортировки взвешенных частиц и проведения эмпирических исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с., ил.
2. Суднищников С.С., Коряковцева Т.А. Сравнение результатов методик по определению удельных гидравлических потерь пульпопровода // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. С. 173–175.
3. Кибирев В.И., Райлян Г.А., Сазонов Г.Т. Гидравлическое складирование хвостов обогащения, справочник. – М.: Недра, 1991 г., с. 207
4. Пособие по проектированию гидравлического транспорта (к СНиП 2.05.07-85) / Промтранспроект. М.: Стройиздат, 1988. 40 с.
5. П 59–72. «Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов». – Ленинград.: ВНИИГ, 1972 г., с. 36.
6. База знаний Учебного центра НТП «Трубопровод»: официальный сайт. Москва URL: https://edu.truboprovod.ru/kb?doc=/kbase/doc/hst/hst_rus/index.htm (дата обращения: 05.03.2025)
7. Miedema S.A. (2017). Slurry Transport. Fundamentals, A Historical Overview & The Delft Head Loss & Limit Deposit Velocity Framework, 2nd edition.
8. Локтионова Е.А., Мифтахова Д.Р. Пропускная способность засоренных напорных трубопроводов // Инженерные исследования. 2022. №4 (9). С. 10–16. EDN: UEPVVP.

УДК 627.88

Н.И. Суханов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЛЕДОВЫХ ОСТРОВОВ МЕТОДОМ НАСЛАИВАНИЯ ЛЕДОВЫХ ПОЛЕЙ

Цель работы – анализ существующих месторождений с целью выбора дислокации будущего сооружения, а также разработка и описание технологии строительства ледового острова.

Главными критериями для выбора дислокации ледового острова являются:

- Небольшие глубины акватории у месторождения (20–30 м);
- Постоянный ледовый покров в период строительства толщиной не менее 30 см и площадью около 5 км²;
- Отсутствие вечномерзлых грунтов на дне акватории;
- Слабая солёность морской воды и, как следствие, высокая прочность льда;
- Длительный ледовый период.

При анализе существующих месторождений оптимальными являются Северо-Гуляевское и Поморское, находящиеся в Печорском море. Северо-Гуляевское месторождение находится на расстоянии 75 км от берега, глубина моря в районе месторождения составляет 10–30 м. Поморское месторождение находится в 20 км от берега, глубина моря в районе месторождения составляет 20–26 м. Принято решение проектировать ледовый остров в районе Поморского месторождения ввиду ближайшего расстояния от берега с целью оптимизации затрат на доставку материалов, оборудования и рабочей силы.

Поморское однопластовое месторождение площадью 41,1 км² было открыто и испытано одной поисковой скважиной глубиной 2750 м, давший дебиты газа до 271 тыс. м³/сут и конденсата – до 18 м³/сут [1].

Запасы в целом оценивались в контуре условного газо-водяного контакта на глубине 2630 м, прерываемого линией разлома. Запасы категории С1 оценивались в круговом контуре с радиусом 2 км, прерываемом газо-водяным контактом (скважина оказалась на периферии залежи на расстоянии 0,9 км от него) и линией разлома. Доля запасов С1 в суммарных запасах Поморского месторождения составляет 27,4%. Средневзвешенная эффективная толщина газонасыщенности – 19,2 м [1].

Анализ гидрометеорологических [2] и геологических характеристик Поморского месторождения показал, что дислокация будущего ледового острова по вышеизложенным критериям является оптимальной. В таблице 1 приведены сводные расчетные характеристики местоположения будущего острова.

Таблица 1 – Сводные расчетные характеристики

Характеристика	Значение
Средняя температура воды на начало строительства, °С	0,32
Скорость ветра 1% обеспеченностью на начало строительства, м/с	20,00
Средняя соленость воды, ‰	34,17
Средняя температура воздуха на начало строительства, °С	-2,80
Средняя толщина льда за расчетный ледовый период, м	0,30

При оценке Сейсмогеологического профиля Поморского месторождения [3] было выявлено, что инженерно-геологическим элементом опирания искусственного острова является аргиллит, являющийся твердой породой спрессования и перекристаллизации глин.

Технология возведения ледового острова методом наслаивания ледовых полей заключается в поэтапном конструировании участков будущего ледового острова.

Первым этапом устройства ледового острова из ледового покрова вырезается поле квадратного контура размером 60×60 м. Вокруг ледового поля вырезается ров шириной 2 м.

Вторым этапом возводится шпунтовое ограждение из трубошпунта 1220×14 [5] по крайней оси подготовленного рва, вплотную к ледовому полю. Три стороны контура возводятся до проектной отметки будущего ледового острова, оставшаяся сторона контура возводится до отметки расчетного уровня воды (РУВ) (рис. 1).

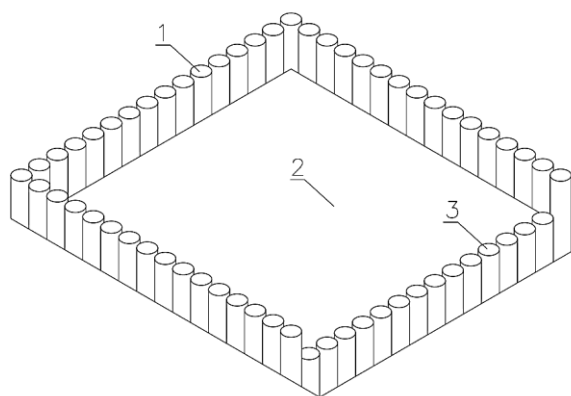


Рис. 1. Схема первого и второго этапов возведения острова: 1 – шпунтовое ограждение с отметкой головы, равной проектной; 2 – ледовое поле (первый (нижний) слой острова); 3 – шпунтовое ограждение с отметкой головы, равной РУВ

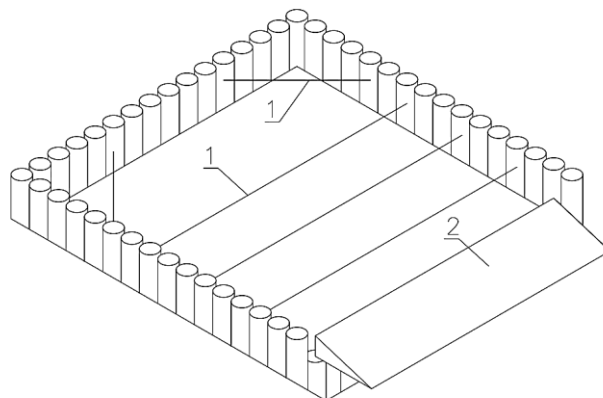


Рис. 2. Схема третьего этапа:
1 – распорки;
2 – поднырывающий оголовок

Третьим этапом устраиваются распорные трубы 1220×14 [5] между стенками контура. На нижнюю часть шпунтового ограждения устраивается подныривающий оголовок с минимальным коэффициентом трения о лед с целью дальнейшего натаскивания ледовых полей (см. рис. 2).

Четвертым этапом к боковой стенке через заранее подготовленное отверстие на уровне дна подводится насосное оборудование с целью откачивания воды внутри контура острова. Вода откачивается до того момента, пока верхняя отметка внутреннего ледового поля не дойдет до отметки РУВ за пределами контура.

Пятым этапом происходит заталкивание второго ледового поля поверх первого поля внутри контура острова. При проведении математического моделирования анкерного крепления к ледовому полю было выяснено, что лед может быть подвержен сколу, от усилий возникающих при натяжении каната с целью натаскивания поля. Таким образом принято решение использовать ряд толкателей с целью заведения поля внутрь контура.

Последующие этапы повторяют последовательность четвертого и пятого этапов.

После того, как конструкция наложенных ледовых полей достигнет отметки уровня дна, необходимо предусмотреть ряд мероприятий по организации целостности и монолитности конструкции шпунтового ограждения со льдом, а именно:

- Прокладка оборудования с целью пропуска хладагента между шпунтовым ограждением и льдом для обеспечения смерзания конструкции;
- Устройство полной герметизации внутреннего шпунтового ограждения с целью избежания дальнейшего проникновения воды;
- Устройство демпферных прокладок между шпунтовым ограждением и льдом в верхней части конструкции с целью гашения передаваемых нагрузок от шпунта к конструкции острова, возникающих вследствие внешних воздействий.

Последним этапом возведения искусственного острова демонтируется насосное оборудование, распорные конструкции у отметки верха острова. Демонтируется оголовок шпунтового ограждения, четвертая стенка контура возводится до проектного положения. Дальнейшая высота острова наращивается существующими методами дождевания и (или) блочным методом возведения ледовых островов.

Рассмотренная технология устройства ледового острова имеет ряд преимуществ:

- Обеспечение нормальной степени примерзания ледовых полей друг к другу за счет отсутствия водяного покрова между полями.
- Точность геометрических размеров острова за счет подгонки ледовых полей друг к другу в границах контура будущего острова и, как следствие, однородность конструкции острова.
- Быстрота возведения ледового острова за счет бесперебойного устройства ледовых полей, точной предварительной подгонки контура, а также замкнутость вертикального продвижения полей во время наращивания толщины острова.
- Отсутствие необходимости в использовании сложной техники во время производства работ, а также минимальное затрачивание людской рабочей силы.
- Разбивка производства работ на несколько этапов. Каждый этап производства работ осуществляется по известной технологии, для обоснования которых существует большая нормативная база [4].

Основными недостатками рассмотренной технологией являются:

- Протяженные вертикальные стенки контура. В элементах шпунтовой стенки будут возникать большие усилия по сравнению с круглым очертанием острова, что приведет к увеличению сечения и удорожанию материалов.
- Сложность подготовительных работ для устройства контура из трубошпунта. Большая длина пролета распорных частей конструкции.

- Учет многочисленных факторов во время производства подготовительных и основных работ. Необходимость проверки работы каждого элемента конструкции на 1 и 2 группы предельных состояний.
- Сезонность возведения конструкции.

Ряд приведенных недостатков играет незначительную роль в принятии решения по использованию представленной технологии. Прямоугольные углы квадратного контура можно срезать с целью придания обтекаемости контуру острова и уменьшению внешней ледовой нагрузки на остров. Сложность подготовительных работ заключается в поэтапном возведении элементов конструкции контура, однако существует нормативная база, с помощью которой можно реализовать все этапы возведения конструкции.

Выводы. Описанная технология возведения ледового острова методом наслаивания ледовых полей позволяет избежать ряд трудностей при организации проектирования и строительства острова. Весь процесс возведения острова разбивается на несколько этапов, которые имеют широкое распространение в проектировании и строительстве, что значительно облегчает проектирование и строительство новой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Новиков Ю.Н., Гажула С.В. Особенности оценки месторождений углеводородного сырья арктического шельфа России и их переоценки в соответствии с новой классификацией запасов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т.3. №1. http://www.ngtp.ru/rub/6/13_2008.pdf.
2. Заболотских Е.В., Балашова Е.А. Динамика морского льда в Печорском море зимой 2019/2020 // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2021. Т. 14, № 1. С. 97–105.
3. Захаров Е.В., Холодилов В.А., Мансуров М.Н., Никитин Б.А., Шамалов Ю.В., Супруненко О.И., Маргулис Л.С. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа морей России // Под ред. Е.В. Захарова, В.А. Холодилова. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2011. 181 с.
4. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения.
5. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные.

УДК 627.83

Э.И. Фаттахов¹, Е.М. Смирнов²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²ООО «ИК Акведук»

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПАВОДКОВОГО ВОДОСБРОСА ГИДРОУЗЛА РОЖДЕСТВЕНСКОЙ МГЭС

Цель работы – проведение анализа и оценки пропускной способности паводкового водосброса гидроузла Рождественской МГЭС. Оценить способность гидроузла пропускать паводковый сток.

Задачи работы – провести рекогносцировочное и инструментальное обследование сооружения. Рассчитать пропускную способность паводкового водосброса. Сделать вывод о пропускной способности водосброса.

Рождественский гидроузел был возведен в 1935–1936 гг. на месте старой водяной мельницы. Это сооружение стало частью более широкой программы по улучшению водных путей и гидротехнических объектов в России, направленной на развитие инфраструктуры и судоходства. Однако во время Великой Отечественной войны гидроузел сильно пострадал: его конструкции были разрушены, что привело к необходимости восстановления.

В 1945–1946 гг. начались работы по частичному восстановлению гидроузла, что позволило вернуть его в эксплуатацию. В 1955 г. была проведена масштабная реконструкция по проекту института «Севзапсельэлектропроект», что значительно улучшило его

функциональные характеристики и безопасность. Эта реконструкция была важной в контексте послевоенного восстановления страны и модернизации её инфраструктуры.

Несмотря на проведенные работы, в 1971 г. гидроэлектростанция, входившая в состав гидроузла, была выведена из эксплуатации, а всё оборудование демонтировано. Это решение было связано с изменением потребностей в электроэнергии и развитием новых технологий, которые требовали более современных решений.

Паводковый водосброс выполнен в виде двухпролетной конструкции из монолитного железобетона, с разделительным бычком в центре.

В 2024 г. в рамках выполнения работ по разработке проектной документации капитального ремонта гидроузла, в целях оценки безопасности комплекса ГТС согласно [1] сотрудниками ООО «ИК Акведук» было выполнено многофакторное обследование гидротехнических сооружений (рис. 1).



Рис. 1. Вид на гидроузел Рождественской МГЭС

Одной из задач являлась оценка безопасности водопропускных сооружений, в частности оценка пропускной способности водосброса. Ниже приведены расчет пропускной способности водосброса и выводы о безопасности водопропускных сооружений.

Водосброс гидроузла выполнен в виде двухпролетной водосливной плотины. Ширина каждого пролета составляет 4,5 м. Пролеты перекрываются плоскими затворами из сплоченных деревянных брусьев. Маневрирование затворами производится с помощью стационарных подъемников.

Расчет пропускной способности при полностью открытых пролетах производится по формуле (1) в соответствии с расчетной схемой (рис.2) [4, 5]:

$$Q = \varepsilon m b \sqrt{2g} H_0^{3/2} \sigma_n, \quad (1)$$

где m – коэффициент расхода; b – ширина пролета; σ_n – коэффициент подтопления; ε – коэффициент бокового сжатия, определенный по формуле (2):

$$\varepsilon = 1 - \frac{aH_0}{H_0 + b}, \quad (2)$$

где a – коэффициент, зависящий от очертания входной быка; H_0 – напор на пороге с учетом скоростного напора, определяемый по зависимости (3):

$$H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2}{2g}, \quad (3)$$

где $\alpha = 1,05...1,1$; V_0 – скорость подхода потока к водосливному порогу; H – геометрический напор на водосливном пороге, рассчитываемый по формуле (4):

$$H = \text{УВБ} - \downarrow_{\text{пор}}, \quad (4)$$

где УВБ – уровень верхнего бьефа; $\downarrow_{\text{пор}}$ – отметка порога водослива.

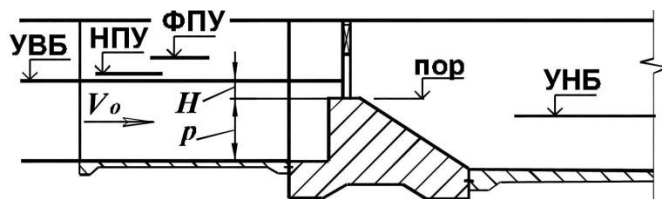


Рис. 2. Расчетная схема водосбросного сооружения

Результаты расчета пропускной способности водосброса в зависимости от уровня воды в верхнем бьефе при полностью поднятых затворах приведены в таблице 1 и представлены на рис. 2.

Таблица 1 – Расчет пропускной способности

Отметка уровня верхнего бьефа, мБс	Напор на пороге, м	Пропускаемый расход, м ³ /с
88,43	0	0
88,53	0,10	0,50
88,63	0,20	1,42
88,83	0,40	4,00
89,03	0,60	7,32
89,23	0,80	11,22
89,43	1,00	15,63
89,63	1,20	20,48
89,83	1,40	25,73
90,00	1,57	31,35
90,20	1,77	37,30
90,30	1,87	40,40
90,60	2,17	50,16
90,80	2,37	57,03

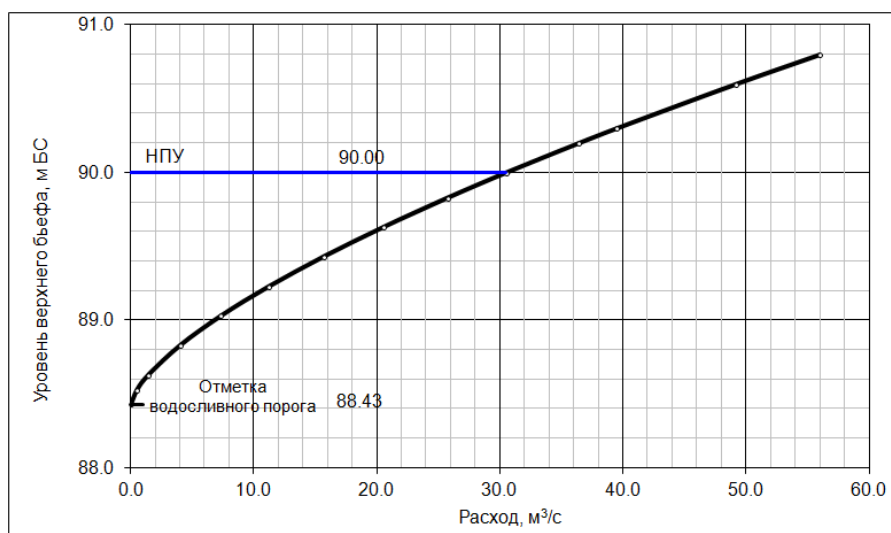


Рис. 3. График пропускной способности водосброса в зависимости от уровня воды в верхнем бьефе водоема при полностью поднятых затворах

В ходе проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий были определены расходы половодья и дождевых паводков различной обеспеченности (в соответствии с классом сооружений), в частности, для половодья, как превышающего расходы дождевого паводка: основной расход ($P = 3\%$) равен $36,17 \text{ м}^3/\text{с}$ и поверочный расход ($P = 0,5\%$) равен $50,45 \text{ м}^3/\text{с}$ [2].

Проведенные расчеты показали, что пропускная способность двух пролетов водосброса является недостаточной: при полностью открытых пролетах при НПУ пропускается расход $30,48 \text{ м}^3/\text{с}$ [(поверочный расход $P = 0,5\%$ (III класс) составляет $50,45 \text{ м}^3/\text{с}$, а для $P = 1\%$ (IV класс) – $45,05 \text{ м}^3/\text{с}$ [2].

После исчерпания резерва пропускной способности пролетов водосброса недостающий расход будут пропускаться через недавно отремонтированный лоток МГЭС, снабженный сороудерживающей решеткой и щитовым затвором.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон от 21.07.1997 N 117-ФЗ (последняя редакция);
2. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. 2012;
3. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов);
4. СП 290.1325800.2016. Водопропускные гидротехнические сооружения (водосбросные, водоспускные и водовыпускные). Правила проектирования;
5. Гидравлические расчёты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат. 1988.

УДК 621.311.213

И.М. Ханцевич

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ.

Цель работы: обоснование актуальности проработки методического пособия по водноэнергетическим расчетам к подбору и обоснованию основных параметров средне- и высоконапорных ГЭС.

Метод исследования: анализ литературных источников.

Водноэнергетический расчет (ВЭР) – совокупность операций, выполняющихся для вычисления выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях (ГЭС), гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) и приливных электростанциях (ПЭС), а также затрат электроэнергии на насосных станциях (НС) в условиях разной водности потока применительно к различным параметрам гидроузлов и правилам использования стока [1].

ВЭР в первую очередь ведется на стадии разработки основных технических решений (ОТР) в целях технико-экономического обоснования (ТЭО) основных параметров гидроузла. Специалисты в проектных организациях пользуются для решения задач, связанных с ВЭР, различными нормативными и справочными пособиями.

Существует много источников, в которых описаны основные положения ВЭР. Однако, большая часть из них не содержит в себе тех или иных критически важных рекомендаций (например, порядка действий в условиях недостатка исходных данных) или они излишне велики по объему, что затрудняет их использование в проектной практике. Кроме того, наличие достаточного и приспособленного к применению на практике методического пособия будет существенно экономить время более опытных специалистов, занимающихся в том числе и подготовкой новых кадров (молодых специалистов, недавно окончивших ВУЗ; практикантов).

Задачи, решаемые в работе: сбор и анализ литературных источников на предмет наличия схожей методики, удовлетворяющей всем требованиям.

Перечень выявленных источников по водноэнергетическим обоснованиям гидроузлов состоит из двух нормативных документов [2, 3], двух учебных пособий [1, 4] и одного стандарта организации [5].

Язык написания документов [2, 3] может быть излишне сложным для студентов или молодых специалистов, пришедших работать в профильную организацию, однако они активно используются организациями в проектной деятельности. Методические указания [2] применяются при разработке правил использования водохранилищ, устанавливают единые подходы к разработке и расчетному обоснованию правил использования водохранилищ, их форме и содержанию. Они содержат рекомендации по методикам водохозяйственных, водноэнергетических, гидравлических и других расчетов, являющихся основой обоснования

проектов правил использования водохранилищ. Методика [3] устанавливают совокупность методов и порядок расчета водохозяйственных балансов по речным бассейнам, подбассейнам и водохозяйственным участкам с целью оценки количества и степени освоения доступных для использования водных ресурсов при различных условиях водности водных объектов.

Так как документы в большей степени посвящены правилам использования водохранилищ и водохозяйственным расчетам, полнота приведенных данных, касающихся водноэнергетических расчетов, недостаточна. В них отсутствуют алгоритмы действий в различных условиях, справочные величины, примеры расчета, а также инструкции по анализу результатов расчета.

Исследованные документы служат нормативной базой для проектирования и содержат в себе главные положения ВЭР, однако не охватывают всех тонкостей ведения расчета в реальных условиях.

Рассмотренные пособия [1, 4] подходят для специалистов любого уровня и студентов и могут быть очень полезны в проектной практике. Целью пособий является ознакомление проектировщиков и эксплуатационного персонала ГЭУ и энергосистем с современными методами и практическими приемами водноэнергетических расчетов [1], а также изучение студентами практических приемов водохозяйственных и водноэнергетических расчетов [4].

Учебные пособия охватывают большое количество тем. Полнота приведенных данных обеспечивает успешное использование их при ведении ВЭР. Кроме того, авторы Асарин А.Е. и Бестужева К.Н. включили в свои труды множество реальных примеров гидроузлов, а Арсеньев Г.С. посветил отдельную главу водноэнергетическому обоснованию параметров гидроузлов. Однако, в пособиях отсутствуют инструкции по верификации и анализу полученных результатов расчета. Также в частных случаях объем написания, фокусирование внимания на теоретических аспектах может дезориентировать и быть излишним.

Проанализированные учебные пособия подходят как для первого знакомства, так и для подробнейшего изучения ВЭР, что обеспечивает доступный язык написания и полнота приведенных данных. Однако для работающих специалистов представленный объем теории избыточен. Несмотря на свою универсальность, пособия не в полную меру подходят к использованию в проектной практике в качестве основных методических указаний.

Анализ СТО РусГидро 06.08.84-2013 «Гидроэлектростанции. Планирование водноэнергетических режимов. Методические указания» [5] показывает, что сухость его написания может составить незначительные трудности в понимании студентами, однако для работающих специалистов документ остается доступным и активно используется в проектной деятельности. Стандарт является нормативным документом ОАО «РусГидро» и устанавливает основные правила планирования водноэнергетических режимов ГЭС и каскадов ГЭС [5]. В документе присутствуют основные положения ВЭР, однако из-за отличающейся главной направленности, в качестве методического пособия по водноэнергетическим расчетам его применение крайне ограничено.

Выводы

Проведенный анализ нормативной и справочной литературы показал, что выявленные источники так или иначе затруднительно использовать в проектировании на ранних стадиях и в условиях недостатка исходных данных. Исходя из этого, можно сформулировать цель для дальнейшей работы в виде разработки методики водноэнергетических расчетов к подбору и обоснованию основных параметров средне- и высоконапорных ГЭС на примере ТЭО по ГЭС с водохранилищем сезонного регулирования в горной местности, достаточной для проведения расчетов и анализа результатов.

Сформулируем требования к методическому пособию:

- доступность для специалистов любого уровня;
- достаточность для ведения ВЭР в указанных условиях;
- компактность;

– наличие ссылок на соответствующие нормативные документы и методические пособия.

Для соблюдения всех указанных требований выдвигается следующий предполагаемый состав методического пособия:

1. Введение.
2. Принятые допущения. Выбор расчетного створа.
3. Перечень необходимых и достаточных исходных данных для проведения ВЭР на ранних стадиях проектирования.
 - 3.1. Расчетный гидрологический ряд.
 - 3.2. Топографические условия.
 - 3.3. Морфометрическая характеристика водохранилища, седиментация.
 - 3.4. Расходная кривая нижнего бьефа.
 - 3.5. Тип регулирования стока (многолетнее, сезонное, недельное, суточное), вопрос трансформации паводков.
 - 3.6. Ограничения по уровням воды в верхнем бьефе. Наличие хозяйственных объектов в зоне колебаний уровней. Перечень и характеристика водопользователей и водопотребителей.
 - 3.7. Ограничения по уровням воды в нижнем бьефе. Наличие хозяйственных объектов в зоне колебаний уровней. Перечень и характеристика водопользователей и водопотребителей.
 - 3.8. Данные по потерям стока (фильтрация, испарение, ледообразование).
 - 3.9. Данные по потерям напора в водопроводящем тракте. Наличие подпора льда в нижнем бьефе.
 - 3.10. Наличие особых условий водопользования: судоходство, рыбное хозяйство, безвозвратное водопотребление, санитарные попуски, допустимая скорость сработки водохранилища в зависимости от типов грунтов.
4. Принцип назначения расчетных сценариев (вариантов) проведения ВЭР.
 - 4.1. Принцип варьируемых и фиксированных величин.
 - 4.2. Определение возможного диапазона значений основных параметров (граничные условия).
5. Основные расчетные зависимости и методика проведения расчета.
 - 5.1. Расчет балансовым методом по наблюдаемым рядам многолетнего гидрологического ряда.
 - 5.2. Расчет в случае отсутствия наблюдаемых длительных рядов (по трем годам характерной водности).
6. Анализ полученных результатов.
 - 6.1. Выявление оптимальных значений установленной мощности, пропускной способности и напора по приращению выработки электроэнергии.
 - 6.2. Определение приоритетного варианта установленной мощности, пропускной способности и напора ГЭС по принципу экономической эффективности (технико-экономическое сопоставление вариантов).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водноэнергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986 – 224 с.
2. Приказ Минприроды России от 26.01.2011 N 17 «Об утверждении Методических указаний по разработке правил использования водохранилищ». Консультант [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902260669>
3. Приказ Минприроды России от 30.11.2007 «Об утверждении методики расчетов водохозяйственных балансов водных объектов». Консультант [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902078439>
4. Арсеньев Г.С. Практикум по водному хозяйству и водохозяйственным расчетам. Учебное пособие. – Л.: ЛГМИ, 1989 – 195 с.
5. СТО РусГидро 06.01.84-2013. Гидроэлектростанции. Планирование водноэнергетических режимов. Методические указания : стандарт организации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом ОАО «РусГидро» от 03.10.2013 № 954 / разработан Некоммерческим партнерством «Гидроэнергетика России», ООО «Современные системы реформирования». – Москва : 2013.

АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗАННЫХ С НЕФТЕДОБЫЧЕЙ

В современном мире происходит активное внедрение альтернативных источников энергии, однако, значимость нефтепродуктов не только не уменьшается, но и продолжает расти. Это связано, как с использованием нефтепродуктов в качестве производственного сырья, так и с растущими потребностями в энергоресурсах. Между тем, производство и переработка нефти является сложным производственным процессом, сопряженным с рядом трудностей и поэтому возможны возникновения внештатных или аварийных ситуаций, которые и рассматриваются в статье.

Нефтедобыча на шельфе возможна не только с морских платформ и с искусственных островов, что существенно влияет на операционную деятельность [1]. Часть трудностей возникает еще на этапе проектирования, и решается инженерными методами для повышения надежности и безопасности сооружений [2].

Цель работы: изучение и анализ происшествий и аварий на нефтяных объектах.

Р-36, Бразилия, 20.03.2001

Эксплуатационные трудности при установке осушительного насоса для резервуара привели к обратному току нефти и газа, через отводящие линии. При запуске проверки осушительного насоса, через 54 минуты произошло возрастание обратного тока нефти и газа. Подпорный насос, который должен был обеспечить увеличения давления и количества откачиваемых нефти и газа, был отсоединен для технического обслуживания. вследствие чего, в резервуарах накапливалось повышенное давление, что привело к первому взрыву и их разрушению.

Спустя два часа произошел разлив нефти, газа и воды внутрь колон платформы, начался процесс затопления колон. Газ начал распространяться по внутренней области колон, и достиг тела платформы, однако 4 и 5 уровни платформы(нижние) не были определены системой безопасности как опасные зоны с газом, что привело к накоплению газа и взрыву, причина воспламенения не установлена. В следствии взрыва погибло 11 пожарных, платформа затонула через несколько часов [3, 4].

Причиной аварии стало расположение резервуаров с легковоспламеняющимися жидкостями и газами в телах колон, поддерживающих платформу. В ходе разработки станции был неверно оценен риск взрыва резервуаров и влияния подобного взрыва на колонны. Для уменьшения вероятности аналогичных аварий следует использовать дублирующую пожарную систему, которая будет являться запасной при выходе из строя первой системы и уменьшать вероятность полного отключения системы безопасности. Подобные системы внедрены в современные платформы, на основе опыта данной аварии.

Мумбаи, Mumbai High North (MHN) Oilfield, Арабское море 27.07.2005

Судно, находящееся вблизи MHN транспортировало человека с тяжелым состоянием здоровья, с MHN было согласовано, что судно подплывет для передачи человека на платформу. После оказания помощи судно начало отплывать от MHN, однако, ввиду погодных условий и большой амплитуды волн, судно врезалось каркасом вертолетной площадки в газовые трубопроводы платформы, что привело к разрыву газопровода, стремительному распространению газа, и в последствии взрыву [5, 6].

Для уменьшения рисков, связанных с разрушающими воздействиями на газопроводы, следует располагать их под водой на достаточной глубине, а также/или предусматривать реализацию защитного каркаса вокруг, для уменьшения вероятности их разрушения

внешними, механическими силами. Также, следует строго регламентировать процессы взаимодействия и движения морских судов в зоне работы нефтяных платформ, с учетом разных погодных условий.

Baker, Мексиканский залив, 19.03.1989

В следствии, ошибки наемных работников станции, при проведении холодной сварки на нефтепроводе произошло стремительное излияние и воспламенение углеводородов. Первый взрыв по цепочке привел к разрушению и взрыву также других шести нефтепроводов, что было вызвано воздействием на них мощного теплового излучения от первого взрыва [7].

Таким образом, следует следить за квалификацией специалистов, выполняющих любые виды работы на станции, для предотвращения ошибок, которые могут быть совершены неквалифицированными нанятыми работниками. Также следует использовать такие методики выполнения работы, которые предусматривают перепроверку качества выполненной работы другими специалистами.

При проектировке расположения взрывоопасных объектов следует вводить и использовать специальные системы расположения подобных объектов, чтобы уменьшать вероятность возникновения цепных реакций взрывов.

Мексиканский залив, US, 21.04.2010

В результате сильного пожара, возникшего на верхних уровнях платформы, огонь быстро распространился до нижних уровней и начал наносить урон несущим узлам конструкции, звеньям соединений. Главной причиной распространения пожара являлась большое отверстие в газопроводе, вызванное коррозией металла [7].

Таким образом, следует использовать систему, при которой технический анализ платформы и ее устройств проводится регулярно. Это предотвратит аварии и инциденты, которые могут быть вызваны выходом из строя тех или иных частей платформы, устройств и механизмов, используемых для ее функционирования.

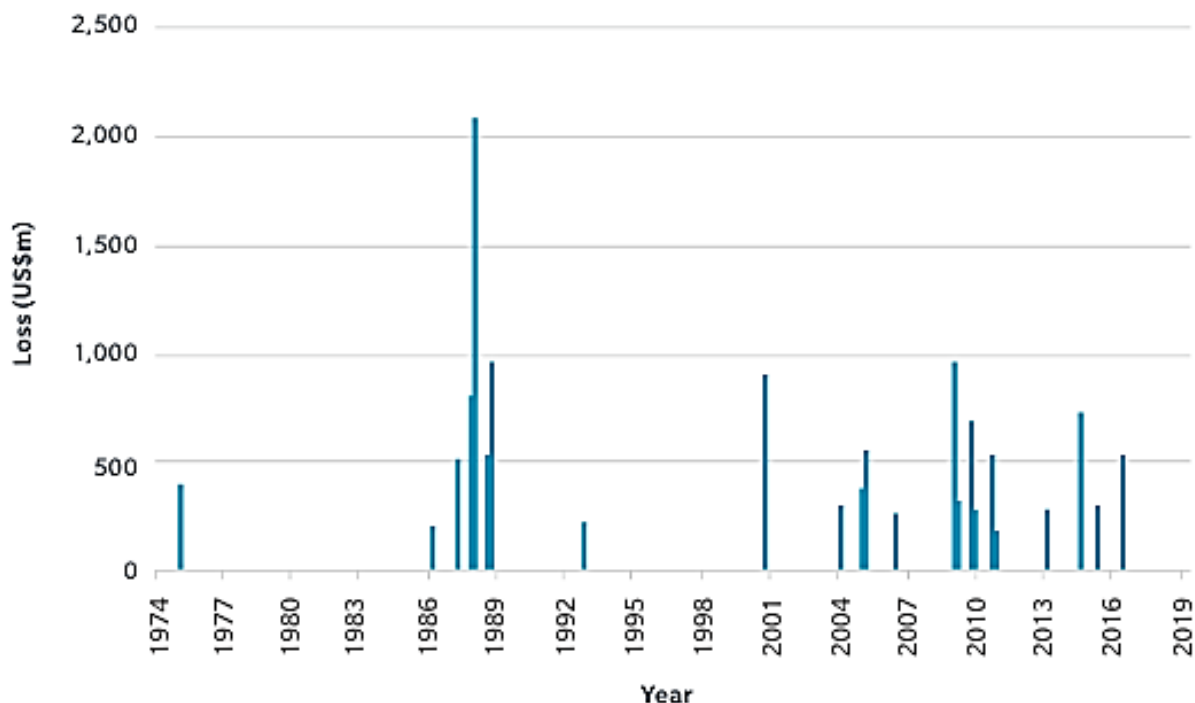


Рис. 1. Количество аварий по годам

Piper Alpha 06.07.1988

Первый взрыв был вызван пробоем в нефтепроводе, в следствие, совпадения двух факторов – большая протечка нефти и удар молнией. Второй взрыв был вызван первым взрывом, после чего началось распространение легковоспламеняющегося, низколежащего газа, что привело к дополнительным возгораниям и разрушению платформы.

Было установлено, что пожарные системы на платформе в момент взрыва не работали. Также не работали системы аварийного освещения, что привело к дезориентации и гибели работников в подводной части платформы. Серия взрывов, разрушение тела платформы, падение крана, пожар, привели к полному разрушению конструкции, в следствие, чего платформа затонула [8].

Таким образом, следует использовать систему, при которой технический анализ платформы и ее устройств проводится регулярно, а система безопасности дублируется.

The DeepWater Horizon 20.04.2010

Основной причиной аварии считается проникновение природного газа сквозь бетон и его разрушение. Бетон был залит незадолго до аварии, для консервации одной из скважин. Далее природный газ поднялся вверх до основной части платформы, где произошло воспламенение и взрыв газа, приведшие к смерти 11 работников и полному затоплению платформы [7].

В данном случае причиной аварии стал некорректный расчет при разработке бетонной заглушки скважины. Нахождение подобных ошибок во время выполнения строительных работ является сложной задачей, поэтому следует использовать системы дублирующих проверок среди специалистов, для предотвращения подобных ошибок на моменте проектирования/расчета платформы.

Выводы: из анализа причин аварий и инцидентов данных примеров можно сделать вывод, что большинство аварий могли не произойти, если бы были учтены те или иные возможные обстоятельства и процессы. В основном причиной аварий становится человеческий фактор на этапе разработки или эксплуатации платформы. Однако, стоит отметить, что как видно из графика (см. рис. 1) [9], количество аварий в данной сфере снижается с каждым годом, и в последнее время стремится к нулю. Это говорит о том, что компании учитывают и используют опыт аварий, а также строительства и разработки старых платформ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sharapov D. Artificial ice island. / D. Sharapov, S. Andreeva // E3S Web of Conferences. Vol. 431. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 06011. – DOI 10.1051/e3sconf/202343106011. – EDN CEJHGS.
2. Дерябин А.С., Шарапов Д.А. Укрепление грунтов месторождения «Утреннее» методом инъецирования с поверхности ледяного покрова для постановки массивов-гигантов. // Современное строительство и архитектура. 2019. № 2(14). С. 19–25. DOI 10.18454/mca.2019.14.1. – EDN CWKZDX.
3. Gonçalves Figueiredo M., Alvarez D., Nunes R., Revisiting A. The P-36 oil rig accident 15 years later: from management of incidental and accidental situations to organizational factors, Cad. Saúde Pública 34 (4) 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00034617>.
4. Oswaldo Antunes O., Junior Hélio P., da Silva Eduardo C., Cesar C., dos Santos Aloysio D. de Carvalho Júnior, Ricardo Rios, de Campos Rosa Analysis of the Accident with the Platform P-36 – Report of the ANP / DPC Commission of Investigation. July 2001.
5. Marsh P. Lessons learned Database, Individual Incident Summary Report, IChemE Centenary, 2022
6. Jenine Daley. Mumbai High North Platform Disaster, Coastal and Ocean Engineering (ENGI.8751), Vol. 1, 2013.
7. Shakeel H Kadri. 100 Largest Losses in the Hydrocarbon Industry 1974-2019 and Future of Offshore Drilling, Marsh JLT Specialty, 2021.
8. The Hon Lord Cullen. The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster, London HMSO, 1990.
9. BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling the Gulf Oil Disaster, National Commission Report, Featured Commission Publications, 2011.

ИЗУЧЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЫВА
ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И МУСОРА ОСАДКАМИ

Проблема засорения ливневых коллекторов и сетей в современных городских условиях становится все более острой. Неконтролируемое попадание загрязнений в ливневую канализацию приводит к ее засорению, нарушению гидравлических режимов, подтоплению территорий во время сильных дождей, создавая риски для безопасности инфраструктуры и жизнедеятельности населения. Кроме того, наличие мусора и взвешенных веществ в стоках ведет к загрязнению окружающей среды при сбросе неочищенных стоков в водоемы.

Цель работы заключается в модернизации стенда для экспериментального определении количества и морфологических особенностей мусора и взвешенных веществ с полотна автодорог, попадающих в ливневую канализацию за счет смыва осадками.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Произвести анализ существующей литературы и выявить актуальность использования лабораторного стенда;
2. Спроектировать и изготовить выходную часть лотка стенда, обеспечивающую беспрепятственный смыв мусора и взвешенных веществ с поверхности лотка в приёмную емкость.

Приток элементов дорожного мусора и взвешенных веществ в канализацию, как правило, происходит путем природного или техногенного вмешательства, а именно: смыва частиц различной крупности с дорожного полотна выпадающими осадками или мусора (смета) во время уборки территорий с помощью щеток, гидросмыва и т.д. [1].

Вопрос поступления мусора и взвешенных веществ в канализационные сети крайне важен для прогнозирования эксплуатационных мероприятий и выработки путей предотвращения их попадания. Аварийная очистка сетей от скопившегося масс мусора требует больших затрат. Изучение и моделирование процессов смыва мусора и взвешенных веществ с полотна дорог, водосборных поверхностей и т.д. позволяет оптимизировать эксплуатацию сетей, снизить риски засорения, повысить эффективность их работы.

Наряду с регулярными и натурными наблюдениями за составом реального поверхностного стока на различных территориях [2–4], а также лабораторным моделированием его состава [5–7], проводятся гидравлические испытания и моделирование взаимодействия взвешенных веществ и мусора с водосборными поверхностями [8, 9].

Для реализации цели и задач исследования будет использован лабораторный стенд (рис. 1), разработанный сотрудниками ИСИ (Научно-исследовательская лаборатория «Технологии очистки промышленных и поверхностных сточных вод» (ТОП и ПСВ)). На рис. 2 представлена гидравлическая схема.

Предлагаемая лабораторная установка (стенд) представляет собой модульную конструкцию, позволяющую воссоздать процесс выноса частиц мусора в соответствии с заданным типом дорожного покрытия под воздействием дождевых осадков. Конструкция установки предусматривает возможность установки уклона лотка, соответствующего уклону автодороги, что позволяет исследовать влияние данного параметра на интенсивность выноса мусора, а также модульность конструкции дает возможность изменять шероховатость дорожного покрытия для проведения сравнительных экспериментов.



Рис. 1. Лабораторно-испытательный стенд для измерения и моделирования процессов смыва взвешенных веществ и мусора осадками:

- 1 – диспергатор (дождеватель); 2 – водонепроницаемая электрическая лампа;
3 – лоток; 4 – канализационная труба; 5 – корзина для сбора мусора;
6 – приемная емкость для отработанной воды; 7 – металлическая опорная рама; 8 – лестница

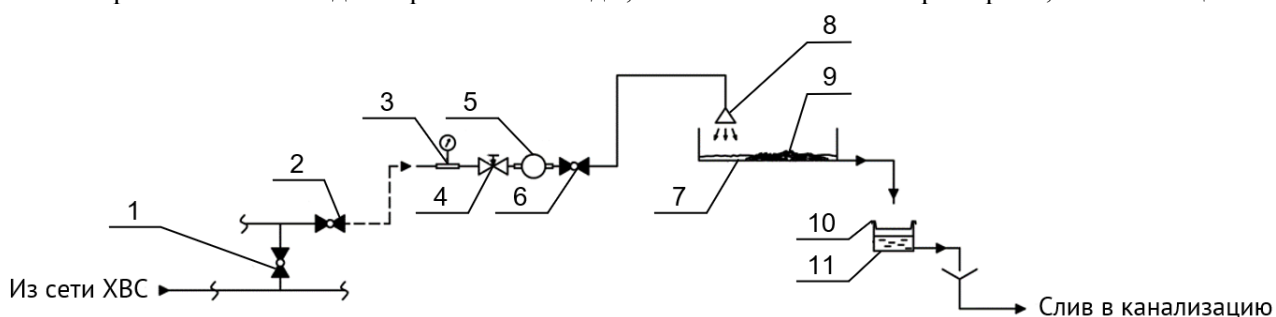


Рис. 2. Гидравлическая схема лабораторной установки: 1 – первый отсечной клапан подключения к сети водоснабжения; 2 – второй отсечной клапан, располагающийся на подводке; 3 – манометр; 4 – регулировочный кран; 5 – расходомер; 6 – третий отсечной клапан, располагающийся после оборудования, непосредственно перед диспергатором; 7 – лоток; 8 – диспергатор (дождеватель); 9 – изучаемые элементы мусора; 10 – корзина для сбора мусора; 11 – приемная емкость

Использование лабораторной установки для моделирования процессов накопления и смыва таких загрязнений с различных типов покрытий, в том числе после механизированной уборки дорог, позволит сделать выводы о влиянии данных операций на вынос элементов мусора в ливневую канализацию. Полученные данные могут быть использованы для рекомендаций по уборке городских территорий.

Мусор и взвешенные вещества после их смыва потоком воды с поверхности лотка собираются на выходе с помощью сетки (мусор) и сборной емкости (взвешенные вещества), после чего изолируются и высушиваются в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 1^\circ\text{C}$. Шероховатость поверхности водосбора будет моделироваться с помощью полотен ткани с закрепленными на них монослоями дисперсных узкофракционных материалов (крупный песок).

Практический результат заключается в разработке и изготовлении нового водосливного модуля стенда (рис. 3) лабораторией «ТОП и ПСВ», позволяющего решать поставленные задачи исследования.

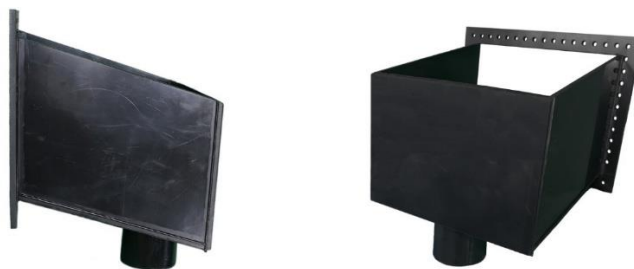


Рис. 3. Конструкция водосливного модуля для безнапорного смыва воды и мусора из лотка стенда

Выводы:

1. В результате анализа литературы выявлена необходимость создания стендов испытательного оборудования для изучения взаимодействия мусора (смета) с водосборных поверхностей селитебных территорий и дорог.
2. Установлена необходимость научно-прикладного подхода, (включающего моделирование) к механизации смыва отдельных компонентов мусора с водосборных поверхностей потоком осадков.
3. Совместно с сотрудниками лабораторией «ТОП и ПСВ» разработано и изготовлено устройство для безнапорного смыва воды и мусора из лотка экспериментального стенда, (взамен старого) которое позволит более эффективно изучать процессы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Каманина И.З., Каплина С.П., Мелин Н.С. Смет транспортно-дорожного комплекса как источник загрязнения городской среды. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки, №. 3, pp. 88–97, 2019, doi: 10.18384/2310-7189-2019-3-88-97.
2. Ma Y., Hao S., Zhao H., Fang J., Zhao J., and Li X. Pollutant transport analysis and source apportionment of the entire non-point source pollution process in separate sewer systems. Chemosphere, vol. 211, pp. 557–565, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.184.
3. Янцен О.В., Гогина Е.С., Колосова К.Г., Спасибо Е.В. Исследование характеристик поверхностных сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника, no. 12, pp. 51–59, 2023, doi: 10.35776/VST.2023.12.08.
4. Zhao H., Jiang Q., Ma Y., Xie W., Li X., and Yin C. Influence of urban surface roughness on build-up and wash-off dynamics of road-deposited sediment. Environmental Pollution, vol. 243, pp. 1226–1234, 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2018.09.105.
5. Федоров М.П., Масликов В.И., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Универсальный стенд для натурных испытаний фильтров ФОПС®. Нефтепродукты. Экология и промышленность России, vol. 24, no. 4, pp. 4–9, 2020, doi: 10.18412/1816-0395-2020-4-4-9.
6. Фёдоров М.П., Чечевичкин В.Н., Тряскин М.А., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Универсальный стенд для натурных испытаний фильтров ФОПС®. Тяжёлые металлы. Экология и промышленность России, vol. 27, no. 1, pp. 4–11, 2023, doi: 10.18412/1816-0395-2023-1-4-11.
7. Федоров М.П., Чечевичкин В.Н., Наумова З.В., Тряскин М.А., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Универсальный стенд для натурных испытаний фильтров ФОПС® и моделирование загрязнения взвешенными веществами. Экология и промышленность России, vol. 29, no. 1, pp. 10–15, 2025, doi: 10.18412/1816-0395-2025-1-10-15.
8. Shaw S.B., Parlange JY., Lebowitz M., and Todd Walter M. Accounting for surface roughness in a physically-based urban wash-off model. J Hydrol (Amst), vol. 367, no. 1–2, pp. 79–85, 2009, doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.01.004.
9. Мануйлов М.Б., Московкин В.М. Изучение процесса выноса дорожного смета с водонепроницаемых поверхностей дождевым поверхностным стоком. Экологический вестник России, 2018, №12, с. 62–68.

РОЛЬ МОРСКИХ ПОРТОВ АРКТИКИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

Современная транспортная система претерпевает значительные изменения, вызванные глобальным потеплением, ростом мировых торговых потоков и необходимостью освоения новых логистических маршрутов. В связи с этим арктические морские порты играют все более важную роль в обеспечении международных грузоперевозок [1]. Настоящая статья посвящена исследованию роли арктических портов в глобальной транспортной системе, анализу их значимости и перспектив развития.

Для выполнения исследования проводился анализ литературных и статистических источников по теме [2], судоходных маршрутов [3], экспертных оценок и прогнозов [4], а также сравнительный анализ арктических портов с традиционными морскими транспортными узлами [5].

Основной *целью работы* является определение значения арктических морских портов в глобальной транспортной системе и оценка перспектив их дальнейшего развития. В рамках исследования поставлены следующие задачи:

- Анализ текущего состояния арктических морских портов и их транспортной инфраструктуры.
- Определение факторов, влияющих на развитие портов Арктики.
- Сравнительный анализ Северного морского пути (СМП) и традиционных маршрутов.
- Прогнозирование влияния климатических изменений на судоходство в Арктике.
- Поиск возможных решений по модернизации арктической портовой инфраструктуры.

В ходе проведенного анализа выявлено, что:

Наблюдается рост грузопотоков по Северному морскому пути. За последние десять лет объем перевозок по СМП увеличился более чем в три раза, что подтверждает возрастающую роль арктических портов [1]. Основными причинами этого роста стали увеличение добычи и экспорта углеводородов, расширение ледокольного флота, а также инвестиции в инфраструктуру арктических портов. Крупнейшими грузоотправителями являются энергетические компании, такие как «НОВАТЭК» и «Роснефть», реализующие масштабные проекты по транспортировке сжиженного природного газа и нефти через арктические воды.

Также выявлена необходимость модернизации инфраструктуры. Большинство арктических портов нуждаются в развитии глубоководных терминалов, улучшении логистических цепочек и строительстве ледокольного флота [5]. Такая задача сильно усложняется суровыми климатическими условиями: затраты на строительство причальных объектов в Арктике значительно превышают аналогичные проекты в более благоприятных районах. Недостаток транспортной и энергетической инфраструктуры в регионе ограничивает оперативное выполнение строительных работ и увеличивает затраты на логистику.

Климатические изменения являются важным фактором роста. Сокращение ледового покрова позволяет увеличить навигационный период, что делает арктический маршрут более конкурентоспособным по сравнению с Суэцким и Панамским каналами [6].

Суровые арктические условия сильно усложняют строительство. Постоянное воздействие экстремально низких температур приводит к изменению физико-механических свойств строительных материалов, что требует разработки и применения специализированных материалов с высокой морозостойкостью. Интенсификация процессов промерзания грунта создает дополнительные сложности при выполнении земляных работ и закладке фундаментов. Для земляных работ промерзание грунта увеличивает трудоёмкость и удорожание работ из-за повышения твёрдости грунта при замерзании и необходимости его разрыхления, оттаивания или предохранения от промерзания. Также нужно учитывать особые способы укладки грунта

в насыпи и ограничения в применении мерзлых глинистых грунтов, заключающих в себе большое количество воды и льда. Движение ледяных массивов создает мощные горизонтальные и вертикальные нагрузки на причальные сооружения. Необходимость использования ледозащитных барьеров увеличивает сложность и стоимость проектов. Трудности транспортировки строительных материалов и оборудования обусловлены удаленностью региона и сложностью навигации в ледовых условиях. Использование стандартной строительной техники в условиях низких температур приводит к снижению ее эксплуатационных характеристик. Все вышеперечисленные факторы, усложняющие и увеличивающие стоимость строительства объектов в арктической зоне, с изменением климата оказывают меньшее влияние и позволяют снизить затраты на строительство причальных сооружений, увеличивая рентабельность Северного морского пути.

Инвестиционная привлекательность региона на данный момент велика. Развитие транспортных коридоров в Арктике становится приоритетной задачей для многих стран, включая Россию, Китай и страны Северной Европы [5]. Особенно активное участие в развитии арктической инфраструктуры принимает Китай, который в рамках инициативы «Полярный шелковый путь» инвестирует в строительство портов и логистических хабов [7]. Также крупные европейские и американские компании проявляют интерес к проектам по добыче и транспортировке природных ресурсов из арктического региона. Кроме того, страны Северной Европы, такие как Норвегия и Финляндия, активно развивают партнерские программы по строительству терминалов и логистических центров, ориентированных на перевозку сжиженного природного газа (СПГ) и других стратегически важных ресурсов. Дополнительно, инвестиции направляются в развитие ледокольного флота и цифровизацию процессов управления грузопотоками, что позволяет повысить эффективность арктических портов и минимизировать затраты на эксплуатацию.

Выводы по проведённому анализу: арктические морские порты становятся важными элементами глобальной транспортной системы, что обусловлено ростом грузоперевозок, изменениями климата и развитием международного сотрудничества. Для их успешного функционирования необходимо продолжать модернизацию портовой инфраструктуры, развивать ледокольный флот, усилить международное взаимодействие в сфере арктической логистики. Строительство причальных объектов в арктической зоне характеризуется высоким уровнем сложности, вызванным экстремальными природными условиями, сложной геологией и строгими экологическими ограничениями. Решение этих задач требует применения междисциплинарного подхода, включающего использование инновационных технологий, тщательное планирование и привлечение значительных ресурсов. Перспективы освоения арктического региона напрямую зависят от способности инженерного сообщества преодолевать эти вызовы, обеспечивая надежность и устойчивость гидротехнических сооружений в условиях экстремального климата.

Перспективы развития арктических портов напрямую связаны с глобальными трендами и экономическими интересами крупнейших мировых держав.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблемы и решения арктической транспортной системы // Журнал «Морские вести России». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://morvesti.ru/themes/1700/53265/>.
2. Леонтьева Е.О., Агафонов С.А. Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути. Арктика и инновации. 2024; Том 2 (№1). С. 71–79.
3. Arctic Council. Arctic Shipping Status Report. – 2023 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arctic-council.org/projects/arctic-shipping-status-reports/>.
4. Отчет Министерства транспорта РФ о состоянии Северного морского пути, 2023.
5. XIV Международный форум «Арктика: настоящее и будущее» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.forumarctic.com/conf2024/>.

6. How did climate change shape the Arctic over 2022 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/stories/2022/12/climate-change-shape-the-arctic-2022/>.
7. Колзина А.Л, Миндубаева А.А. «Полярный шелковый путь» как сфера стратегического партнёрства Российской Федерации и КНР. Вестник Удмуртского университета. 2020, т. 4, вып. 2. С. 186–195.

УДК 627.8.09

П.В. Маслов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Цель работы: анализ особенностей строительства Толмачевской ГЭС-4 для повышения надёжности электроснабжения потребителей Центрального энергоузла Камчатки в условиях района Крайнего Севера и увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе региона.

Схема расположения Толмачевской ГЭС-4 в каскаде малых Толмачевских ГЭС на участке района Крайнего Севера представлена на рисунке 1 [1].

Основными задачами, которые будут решены в рамках проекта ГЭС-4 каскада Толмачёвских ГЭС, являются: обеспечение экологически чистой электроэнергией потребителей Усть-Большерецкого района, выведение из оборота постоянно растущего в цене дизельного топлива, уменьшив загрязнение окружающей среды, и рост доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе [2–4].

По предварительным данным мощность станции составит 6 МВт, в год она сможет вырабатывать 41,55 млн кВт·ч экологически чистой, возобновляемой электроэнергии.

Систематическое изучение района началось с 1952 г. геолого-гидрогеологическими исследованиями под руководством О.Н. Толстихина и В.П. Мокроусова. В 1988 г. выпущена государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000 западно-камчатской серии. Комплексные инженерные изыскания, в том числе инженерно-геологические по долине реки Толмачева проводились, начиная с 1990-х годов, с целью обеспечения проектирования на разных стадиях строительства каскада Малых ГЭС-1, ГЭС-2, ГЭС-3 на реке Толмачева [5].

Определение состава мероприятий по подготовке зоны водохранилища ГЭС-4 выбранного варианта верхнего створа с выявлением зон влияния водохранилища на прилегающие территории, земельные участки, хозяйственные объекты и объекты инфраструктуры, производилось на основе топографических карт и, находящихся в открытом доступе материалов, в том числе схем территориального планирования Камчатского края и Усть-Большерецкого района Камчатского края в действующих редакциях [6].

Створ плотины Толмачевской ГЭС-4 планируется расположить в районе впадения ручья Ключевой в реку Толмачева. Станция относится к категории малых ГЭС, ее воздействие на окружающую среду будет минимальным, в том числе по причине принятой деривационной компоновки сооружений, исключающей затопление земель.

Проведенные инженерно-геологические изыскания в границах размещения сооружений Толмачевской ГЭС-4 дают все необходимую информацию для проектирования. Инженерно-геологические условия всех сооружений гидроузла классифицированы как сложные. Следует учитывать, что пески пылеватые почвенно-пирокластические ИГЭ 1, развитые повсеместно, имеющие в зоне влияния отдельных сооружений (здание ГЭС) мощность до 5,2 м, не рекомендуемые в качестве основания сооружений, в строительный период, даже необводненные, могут затруднять производство работ в верхней части котлованов, а при смачивании атмосферными осадками, оплывать в их стенках.

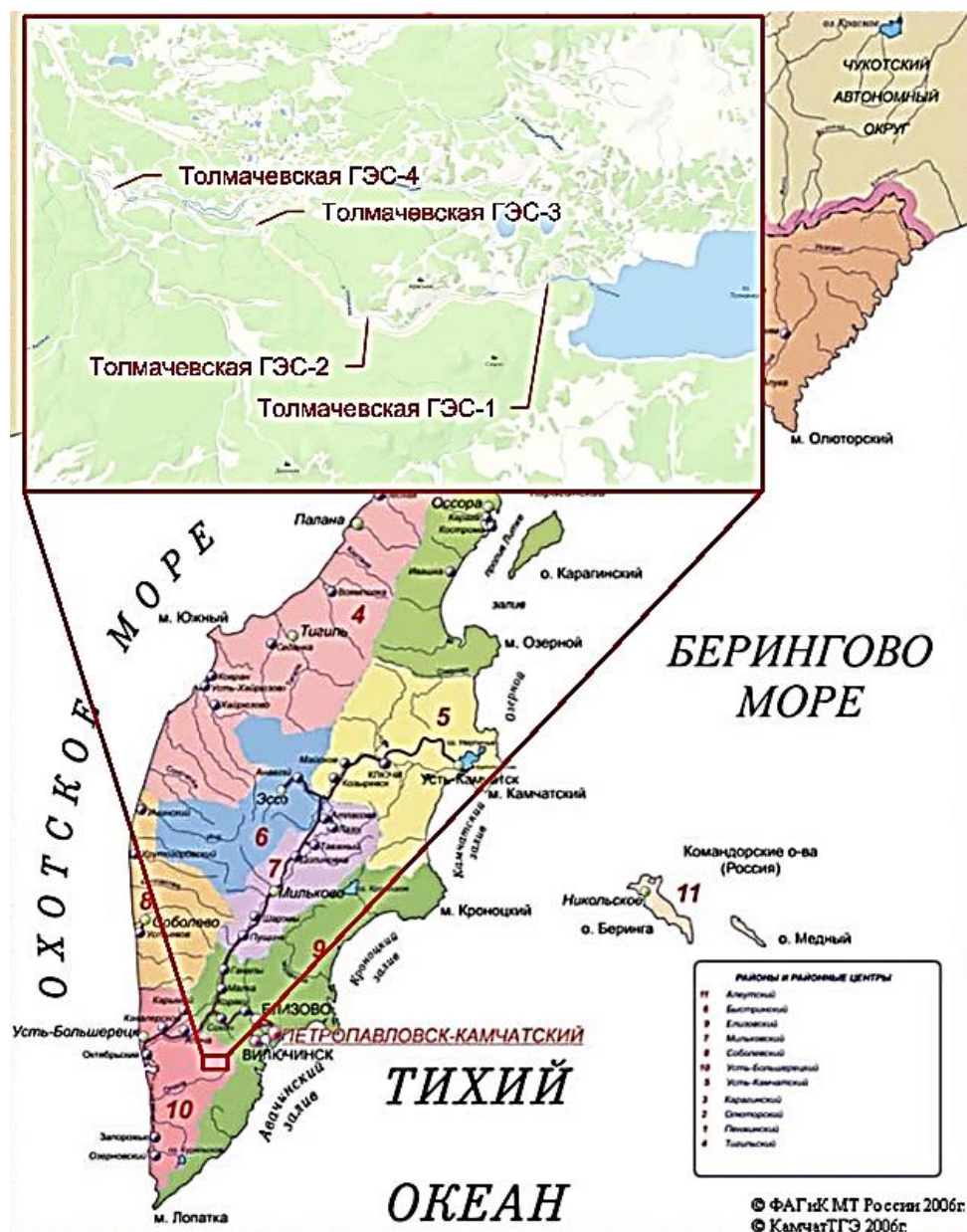


Рис. 1. Схема расположения Толмачевской ГЭС-4 в каскаде малых Толмачевских ГЭС

Создание водохранилища не приведет к активизации гравитационных процессов по его берегам. Длина береговой линии, подверженной волновой переработке, составляет 26% от общей протяженности береговой полосы водохранилища при рассчитанной на 10-летний период ширине в 64 м.

Согласно предварительным расчетам, подпор от водохранилища не вызовет подтопления автодорог, жилых домов и гражданских строений.

Расчётная сейсмичность участка изысканий, определённая по результатам сейсмологических работ, в целочисленных значениях, составляет 9 баллов по шкале MSK-64.

Решения по организации строительства проектируемой ГЭС-4 учитывают специфические условия Камчатского края – ее отдаленность от основных промышленно-развитых районов страны и баз снабжения, сложность транспортной схемы обеспечения привозными материалами и оборудованием, отсутствие строительных организаций

гидроэнергетического профиля. Строительство предполагается обеспечить местными строительными материалами.

Для строительства ГЭС в качестве подрядных организаций предполагается привлечь специализированные организации, имеющие опыт гидротехнического строительства из близлежащих регионов Российской Федерации и местные организации строительно-производственного профиля, имеющиеся в Усть-Большерецком и смежных с ним районах. Строительство ГЭС-4 предполагается осуществлять вахтовым методом, с устройством в необходимом минимальном объеме производственной базы на территории бывшей производственной базы строительства каскада Толмачёвских ГЭС-1, 2, 3 и вахтового поселка в районе села Апача с населением около 650 человек.

От пос. Апача до эксплуатирующегося каскада Толмачёвских ГЭС-1, 2, 3 имеется подъездная автодорога. Вдоль автомобильной дороги проходит ВЛ-110 кВ, отходящая от ГЭС-3 к подстанции «Апача». Для строительства ГЭС-4 от вышеназванной автомобильной дороги к строительной площадке в районе водоприемника запланировано устройство постоянной подъездной автомобильной дороги.

На промплощадках в районе водоприемника, земляной плотины и здания ГЭС-4 предполагается формирование участковых хозяйств основных работ. Также устраиваются участковые хозяйства карьеров песчаной смеси и горной массы.

Транспортная схема строительства предусматривает поступление привозных и некоторых видов местных материалов морским, в отдельных случаях, воздушным видом транспорта до города Петропавловск-Камчатского, далее грузы доставляются автотранспортом.

Предварительный общий срок строительства Толмачевской ГЭС-4 составит 3 года, в том числе подготовительный период 8 месяцев.

Проведенный анализ информации, связанной со строительством Толмачевской ГЭС-4, позволяет сформулировать следующие *выводы*:

- В настоящее время каскад Толмачевских ГЭС, включающий три гидроэлектростанции общей мощностью 45,4 МВт, который был построен в 1999–2011 гг., действуют по пиковому графику. Строительство ГЭС-4 повысит надёжность потребителей Центрального энергоузла Камчатки.
- Компактное расположение земляной плотины, водосброса, водоприёмника и здания ГЭС в непосредственной близости к створу плотины делает существенно оптимизирует расходы, позволяя отказаться от протяжённой деривации.
- Деривационная компоновка сооружений, исключая затопление земель и сведение к минимуму вреда окружающей среде.
- Создание сравнительно небольшого водохранилища общей площадью примерно 1,3 км² позволит минимизировать затраты по подготовке водохранилища. Полный объём водохранилища оценивается в 11,7 млн м³ и позволяет вести суточное регулирование стока.
- Строительство Толмачевской ГЭС-4 повысит мощность каскада Толмачевских ГЭС и послужит развитию генерирующих мощностей Центрального энергоузла энергосистемы Камчатского края.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://wmaps.ru/russia/kamchatskii-krai/0.jpg>.
2. Дворецкая М.И., Жданова А.П., Лушников О.Г., Слива И.В. Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 224 с.
3. Слива И.В. История гидроэнергетики России. М.: Филиал ОАО «РусГидро» – «КорУнГ», 2014. – 304 с.
4. Гидроэлектростанции России. – М.: Типография Института Гидропроект, 1998. – 467 с.
5. Точка на карте под новую ГЭС. Вестник РусГидро – Наука и технологии. «Вестник РусГидро» Выпуск: № 6, июнь 2024.
6. Otchet TTSA Tolmachevskaya GES-4_svod.pdf.

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Актуальность работы. В настоящее время в Санкт-Петербурге наблюдается, подходящий к окончанию, срок жизненного цикла большого числа зданий. В процессе эксплуатации количество ветхих и аварийных зданий и сооружений с каждым годом увеличивается.

В 57 субъектах РФ площадь аварийного жилья увеличилась более чем в полтора раза [1]. На основе этой статистики можно сделать вывод, что обследование зданий и сооружений проводится несвоевременно. Рост уровня аварийного жилья представлен на рисунке 1 [2].



Рис. 1. График отображения уровня аварийного жилья в РФ

Некоторые аварийные случаи с большим количеством жертв происходят из-за обветшания и разрушения зданий:

- Обрушение торгового центра «Рана Плаза» в Бангладеш в апреле 2013 г. Погибли более 1120 человек, свыше 2500 посетителей получили ранения [3].
- Обрушение шестизэтажного жилого дома в итальянском городе Фоджа в ноябре 1999 г. Погибли 67 жильцов [3].
- Обрушение торгового центра Samroong в Южной Корее в 1995 году. Погибло более 500 человек и около тысячи получили ранения [3].

Причинами возникновения подобных аварий приводят различные факторы, начиная от обветшания конструкций, и заканчивая причинами стихийного характера. Одной из основных задач становится своевременное определение фактического технического состояния объекта, а также возможные решения по его восстановлению, ремонту или сносу, а также финансовая составляющая проблемы в целом [4].

Вся оценочная база для стоимостного анализа сегментирована, часто изменялась, а в настоящее время основные нормативы по расчёту стоимости при проведении обследований зданий и сооружений вообще отменены.

Метод исследования

Включает в себя обзор литературных данных, анализ существующих нормативов ценообразования по обследованию зданий и подходов к определению стоимости, анализ имеющихся данных организаций по проведению обследованию и коммерческого предложения с расценками работ, обработка статистической информации.

Цель и задача работы

Целью настоящей работы является разработка подхода к определению ценовых показателей при проведении обследований.

Были выполнены работы по анализу существующей нормативной базы, связанной с обследованием, мониторингом зданий, правилами проведения, а также имеющейся стоимостной нормативной базой, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативная база, относящаяся к работе

Нормативный документ	Название	Действует /отменён (статус)	Примечание
МРР 3.2.05.02-00	Порядок определения стоимости работ по техническому обследованию строительных конструкций зданий и сооружений (2-я редакция)	Отменён	«Порядок» предназначен для определения стоимости работ по обследованию строительных конструкций существующих зданий и сооружений, определения их технического состояния, условий капитального ремонта или реконструкции, условий примыкания проектируемых пристроек, выявления несущей способности перекрытий и др. конструкций
МРР 3.2.05.03-05	Рекомендации по определению стоимости работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений	Заменен	Рекомендации предназначены для определения стоимости работ по обследованию строительных конструкций существующих зданий и сооружений, определения их технического состояния, условий капитального ремонта или реконструкции, условий примыкания проектируемых пристроек и возможности надстройки здания.
МРР 3.2.05.04-07	Сборник базовых цен на работы по обследованию и мониторингу технического состояния строительных конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений	Утратил силу	Сборник предназначен для определения стоимости работ по обследованию строительных конструкций и инженерного оборудования существующих зданий и сооружений, определению их технического состояния, условий капитального ремонта или реконструкции, условий примыкания проектируемых пристроек и возможности надстройки зданий, а также для определения стоимости мониторинга технического состояния зданий и сооружений

Цель обследования технического состояния здания заключается в определении действительного технического состояния здания и его элементов, получение количественной оценки фактических показателей качества конструкций с учётом изменений, происходящих

во времени [5]. При этом перед самым проведением обследования стоит задача представить коммерческое предложение заказчику, в котором будет представлена общая цена на проведение обследования. Для этого необходимо посещение сооружения и предварительная оценка его состояния, так как при недостатке времени, для такой оценки объекта обследования иногда отталкиваются от данных электронных карт для анализа сведений о площади здания, количества этажей и условия стеснённости окружающей среды.

Результаты

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что порядок определения стоимости работ по КТО на основе МРР с 2017 г. утратила силу. Поэтому дальнейшие расчёты будут проводиться на основе: СБЦ (СБЦП 81-2001-25 Справочник базовых цен на обмерные работы и обследования зданий и сооружений. Справочник базовых цен на проектные работы для строительства), государственный сметный норматив от 25.04.2016 г. № 270/пр, справочник базовых цен от 16.06.1998 г. № 9-10-17/33. Они являются действительными и на их основе можно провести расчёты цен на проведение работ по обследованию зданий и сооружений.

Вывод

В работе была выполнена оценка всей имеющейся в РФ нормативной базы для определения ценовых показателей при проведении обследования и были определены нормативы, на основе которых можно провести все нужные расчёты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Минстрой: Площадь аварийного жилья в РФ выросла более чем в полтора раза. URL: <https://finance.rambler.ru/realty/52898043-minstroy-ploschad-avariynogo-zhilya-v-rf-vyroslo-bolee-chem-v-poltora-raza/>
2. Увеличение площади ветхого жилья. URL: https://www.ng.ru/economics/2024-10-27/4_9123_realestate.html.
3. Минстрой России. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/>
4. Дублин Ю.В. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений: учебное пособие //Электронная библиотека политеха. 2012, №1. С. 22–109.
5. Соколов В.А. Обследование и испытание зданий и сооружений. Поверочные расчеты: методические указания [Электронный ресурс] / Л.Н. Синяков, Д.А. Страхов //Электронная библиотека политеха. 2020, №1. С. 4–33.

УДК 72.036

Е.В. Спиридонова, С.Я. Павлов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДОХОДНЫЙ ДОМ РОМАНОВА: АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ И СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ

Цель работы – анализ архитектурного стиля фасадов и доступных интерьеров дома; оценка текущего состояния строительных конструкций. При выполнении работы были решены следующие задачи: собраны исторические сведения об объекте, произведено визуальное обследование, проанализированы архитектурные особенности дома, выполнена оценка технического состояния здания и сформированы рекомендации по улучшению его внешнего вида и состояния несущих конструкций.

Актуальность: Санкт-Петербург является исторически значимым городом. Подтверждение этому является исследование на платформе «Яндекс. Недвижимость», которое выявило, что на 2024 год доля сохранившихся дореволюционных домов составляет 29% от общего количества жилых строений [1]. Благодаря этому город имеет уникальный облик с обилием объектов культурного наследия, отражающих исторические ценности и архитектурные традиции.

Метод исследования – метод визуального обследования, архивных исследований, архитектурного анализа.

Объект исследования – доходный дом А.Г. Романова 1911-го года постройки по адресу: улица Восстания, 32 – Митавский переулок, 10.

Доходный дом А.Г. Романова в 2001 г. был включён КГИОПом в «Перечень вновь выявленных объектов, представляющих историческую, научную, художественную или иную культурную ценность» [2]. Исследуемый шестиэтажный дом, спроектированный архитектором Орловым В.М., выполнен в стиле неоклассицизма [3, 4]. Многоэтажность и наличие эркеров говорит о том, что это постройка начала XX-го века. Гармоничные пропорции и ясно читаемые в перспективе улиц силуэты делают дом характерным и качественным примером застройки начала XX-го века в Санкт-Петербурге [5].



Рис. 1. Общий вид здания

На фасаде, облицованном серым камнем (цоколь) и гладкой штукатуркой, выделяются эркеры на три этажа, львиные маски, высокий пологий фронтон. Угловая часть завершена эффектным аттиком с классическим рельефом. Общий вид здания представлен на рис. 1. Особенно интересны барельефы в медальонах на темы детства, материнства и воспитания. В центральной части фасада присутствуют рустованные пилястры, которые имеют ионическую капитель, дополненную гирляндой. Фриз представляет собой заменяющие триглифы прямоугольные вставки с круглой лепниной по центру, вместо метоп используется поле, заполненное гирляндой. Дворовые фасады имеют сугубо утилитарный облик: их монотонность оживляется только полукруглым выступом в торцевой части двора.

Интерьерами, доступными для обозрения, являются вестибюль, лестница и одна из квартир. Объем вестибюля декорирован ионическими колоннами, увенчанными дорическим фризом без архитрава. По периметру потолка расположены декоративные розетки. Лестница на косоурах со ступенями из путиловского известняка. Хорошо сохранились кованые перила в стиле скандинавского модерна и «родные» деревянные оконные переплеты. Площадки выложены метлахской плиткой высокого художественного достоинства.

Удалось также увидеть состояние одной из квартир. В хорошем качестве сохранилась изразцовая печь в стиле неоклассического модерна. Отделка внутри квартиры обновлена, тем не менее, лепнина на потолке осталась, паркет сохранился. Особо интересны неглубокие ниши, декорированные консолями. Платяной шкаф, декорированный в стиле модернизированного барокко, предположительно остался в квартире с начала XX-го века.

По спутниковой карте был определен тип кровли – скатная, выполненная из профилированного листа (рис. 2). На фото видно локальное проявление ржавчины.

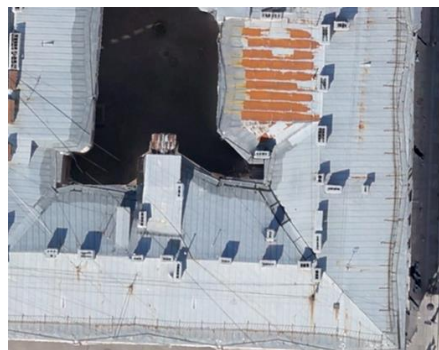


Рис. 2. Кровля

При осмотре также было выявлено повреждение фасадной кладки, которые могли возникнуть из-за некорректного монтажа табличек или технического оборудования. Со стороны двора, на стенах ярко выражены повреждения штукатурного слоя здания из-за воздействия атмосферных осадков или повреждения гидроизоляционного слоя.

Результаты: Проведена оценка состояния здания в помещениях, где долгое время не производился ремонт; фотофиксация приведена на рис. 3. Выявлены дефекты в виде локального разрушения покрасочного слоя и отслоения штукатурки на лестничной площадке последнего этажа, что связано с намоканием внешней стороны стены. Деревянные междуэтажные перекрытия находятся в удовлетворительном состоянии. Об этом говорит отсутствие колебания перекрытий при динамическом воздействии и отсутствие жалоб жильцов на просадки полов.

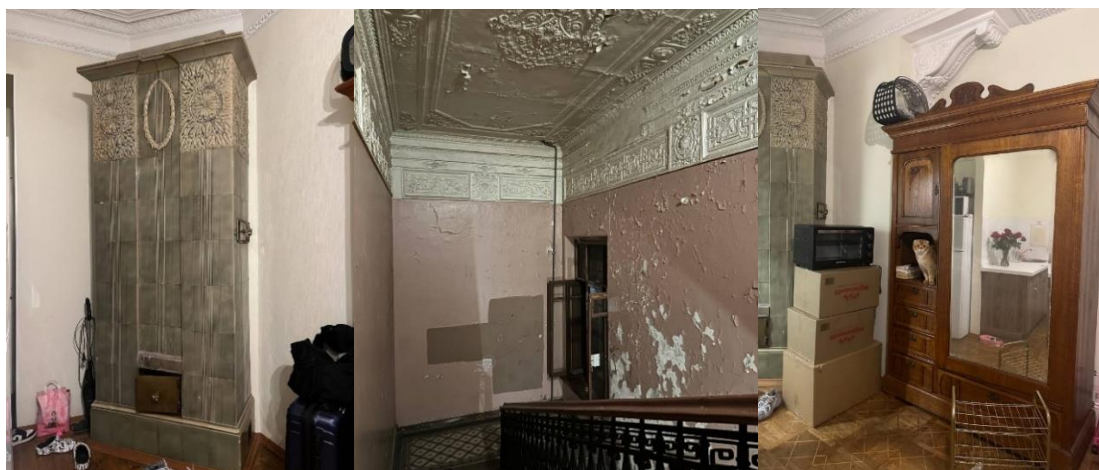


Рис. 3. Фотофиксация интерьеров

На основании выявленного технического состояния конструкций и облика интерьеров можно сформулировать следующие рекомендации по обеспечению их лучшей сохранности [6]:

- провести ремонт кровельного покрытия согласно проектному решению;
- провести мониторинг осадки фундамента;

- провести работы по исключению попадания на внешнюю сторону стен концентрированного потока атмосферной воды;
- выполнить косметический ремонт фасадных стен и стен интерьеров лестницы;
- восстановить декоративные элементы, поврежденные при монтаже наружных конструкций.

Выводы:

1. Здание представляет ценный образец доходного дома, построенного в стиле неоклассики.
2. Фасады дома за время его эксплуатации не претерпели значительных изменений.
3. Интерьеры вестибюля, лестницы и, предположительно, квартир сохранили многие элементы первоначальной отделки.
4. Осмотр показал, что на фасаде здания имеются незначительные повреждения, не оказывающие влияния на эксплуатационные характеристики здания; сохранились балконы, перила, плитки пола и лестницы.
5. Особо опасным для сохранности дома представляется намокание стен.
6. Так как здание находится на оживленном перекрестке, слишком шумном для комфортного проживания, часть освободившихся после расселения коммунальных квартир помещений могут быть приспособлены под офисы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. РБК Недвижимость: названы города, в которых сохранилось больше всего дореволюционных зданий [Электронный ресурс]. URL: <https://realty.rbc.ru/news/66f57a749a7947694bd3f0a9> (дата обращения: 03.03.2025).
2. Доходный дом А.Г. Романова: архитектура и история Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <https://www.citywalls.ru/house4670.html> (дата обращения: 25.02.2025).
3. Artchive: коллекция произведений искусства [Электронный ресурс]. URL: <https://artchive.ru> (дата обращения: 23.02.2025).
4. Борисова Е. А. Русская архитектура конца XIX – начала XX века / Е.А. Борисова, Т.П. Каждан. – Москва: Наука, 1971. – 240 с. – EDN ZDPY CZ.
5. Большая Российская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru> (дата обращения: 25.02.2025).
6. Ямшанов И.В. Концепция реновации доходных домов на примере доходного дома М.Г. Лапина в Санкт-Петербурге / И.В. Ямшанов, П.А. Зайцева // Научные труды Тувинского государственного университета : Материалы ежегодной НПК. – Кызыл: Тувинский государственный университет, 2023. – С. 60–63. – EDN XJXDTL.

УДК 728.1

Е.А. Егорова, К.С. Киселева, С.Я. Павлов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДОХОДНЫЙ ДОМ И.П. СТРУБИНСКОГО: ИСТОРИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Целью работы является выявление исторической значимости и архитектурных особенностей доходного дома И.П. Струбинского (архитектор А.В. Иванов, 1880 г.), а также оценка его современного состояния. Для достижения этой цели необходимо решить несколько *ключевых задач*: изучить историю здания и его архитектурный стиль в аспекте творчества архитектора А.В. Иванова, провести визуальный осмотр для выявления дефектов и повреждений, оценить современное состояние здания, предложить меры по его сохранению и восстановлению, сравнить архитектурные особенности здания с другими примерами эклектики в Санкт-Петербурге.

Архитектурное наследие Санкт-Петербурга представляет собой уникальное сочетание различных стилей и эпох, отражающих историческое и культурное развитие города. Одним из таких значимых объектов является доходный дом И.П. Струбинского, расположенный по адресу ул. Жуковского, дом 6. Этот дом является ярким примером эклектики – архитектурного стиля, который доминировал в России во второй половине XIX века. Эклектика, как направление, характеризуется сочетанием элементов различных стилей, что позволяет создавать уникальные и выразительные здания [1, 2]. В рассматриваемом случае это ренессанс, барокко, классицизм и неогрек.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью сохранения и анализа исторических зданий, которые формируют культурный облик города. В условиях современной активной застройки исторических районов изучение и сохранение таких объектов становится особенно важным. Доходный дом И.П. Струбинского стал не только архитектурной достопримечательностью застройки, примыкающей к Невскому проспекту, но и символом буржуазного процветания Санкт-Петербурга конца XIX века. Он иллюстрирует переходный период в архитектуре, когда традиционные стили адаптировались к новым условиям городской жизни и требованиям общества. Фасады многоквартирного дома декорируются элементами, привлекательными для буржуазии, но разработанными для дворцов и особняков феодальной эпохи.



Рис. 1. Фасад здания

Доходный дом И.П. Струбинского – характерный памятник «архитектурного безвременья». Об этом свидетельствует пышный, но «дешёвый» декор, симметрия фасада (рис. 1). Однако, насыщенность декором и некоторые удачные детали (изящные пилястры и кованые балконы) несколько выделяют его из ряда подобных ему зданий конца XIX века. Несмотря на художественную и историческую ценность, здание требует реставрации из-за повреждений фасада, утраты декоративных и конструктивных элементов. Архитектор Александр Васильевич Иванов – один из ярких представителей

русской архитектурной школы XIX века. Окончив Императорскую Академию художеств, он работал в Санкт-Петербурге и Москве и создал более 60 зданий. Среди его известных проектов – здание страхового общества «Россия» на Лубянке, гостиница «Националь». Доходный дом И.П. Струбинского является одним из наиболее выразительных примеров его творчества [3].

Фасад здания выполнен в светлых тонах, нижний этаж выделяется более светлым оттенком, создавая визуальный контраст с верхними. Архитектурный декор включает пилястры, карнизы, сандрики над окнами, а также богатую лепнину, изображенные на рис. 2. Балконы украшены ажурными коваными решетками, добавляющими зданию элегантность. Балкон пятого этажа поддерживается кариатидами. Тумбы балюстрады увенчаны вазами. Кариатиды и пологий фронтон дают отсылку к афинскому Эрехтейону. Внутреннее пространство организовано с учетом удобства жильцов: просторные лестничные марши, высокие потолки, анфиладная система расположения комнат, дополненная коридором. Подъезды с фасадной стороны богато украшены, в отличие от дворовых, где отделка более скромная. Хорошо сохранились чугунные лестничные перила, на площадках имеются элементы мозаичного покрытия. Стены дворового фасада не имеют исторических декоративных элементов, но в последние годы были украшены мозаичными и живописными декоративными панно. Двор несколько оживляют граффити, созданные студентами



Рис. 2. Декоративные элементы фрагмента фасада здания

фрагментарное разрушение кирпичной кладки и штукатурного слоя, повреждение декоративных элементов. Балконы находятся в аварийном состоянии, некоторые элементы фасадного декора утрачены. Оконные блоки частично заменены на пластиковые, что нарушает исторический облик здания [6]. Особенно, по мнению авторов, фасад теряет свои качества из-за замены в 1960-1970-х годах великолепных «кружевных» балконных решёток на убогие сварные ограждающие конструкции.

Результаты и выводы:

- Объект является характерным примером профессионально спроектированного (но архаического) доходного дома.
- Основным достоинством здания является пышный фасад с интересными декоративными элементами.
- Здание нуждается в восстановительных работах, включая ремонт штукатурного слоя, укрепление кирпичной кладки, реставрацию лепных элементов.
- Особое внимание следует уделить конструкциям и декору балконов и карнизов, которые находятся в аварийном и предаварийном состоянии.
- Проведение указанных мероприятий позволит сохранить архитектурное наследие Санкт-Петербурга и продлить срок эксплуатации здания, сохранив его эстетическую и историческую ценность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Эkleктика в русской архитектуре [Электронный ресурс] / Википедия. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эклектика_в_русской_архитектуре.
2. Архитектурная эклектика [Электронный ресурс] / Фасад-проект. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.facade-project.ru/arhitekturnaya_eklektika.
3. Иванов А.В. Александр Васильевич Иванов (архитектор) [Электронный ресурс] / Википедия. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Иванов_А.В.

Санкт-Петербургской государственной художественно-промышленной академией имени А.Л. Штиглица, зелёные насаждения и кованые решётки (рис. 3). Жители дома приняли решение не закрывать двор от посторонних, планируя в будущем проводить экскурсии по обновленному пространству [4]. В этом доме в разные годы проживали известные личности. Это электротехник Н.Н. Бенердос, поэт О.Э. Мандельштам, архитекторы М.Л. Крицкий и Г.С. Райц. Писательница Н.Н. Берберова также жила в этом доме и описала его в своих мемуарах. Анализ петербургских эклектических зданий показывает, что доходный дом И.П. Струбинского, несмотря на его неординарный фасад, является довольно архаическим объектом. На смену зданиям со «сплошным» фасадом, декорированным штукатуркой и лепниной, приходят постройки «кирпичного стиля» (И.С. Китнер) и дома с эффектными арками и курдонёрами (П.Ю. Сюзор) [5].

Визуальное обследование показало, что состояние здания на сегодняшний момент вызывает обеспокоенность.

На фасадах и в интерьерах выявлены трещины, на фасадах и в интерьерах выявлены трещины,



Рис. 3. Граффити со стороны двора

4. История улицы [Электронный ресурс] // ГрадПетра. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://history.gradpetra.net/ulitsa/36/1021-6.html>.
5. Справочник по архитектуре Санкт-Петербурга // Издательство СПбГУ, 2019.
6. Материалы КГИОП о состоянии здания [Электронный ресурс] / Комитет по охране памятников СПб. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://kgiop.gov.spb.ru/>.

УДК 622.23.05

Н.Ю. Кинев, С.Я. Павлов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ИНОСТРАННЫЙ КОНСОЛЬНО-ШЛАМОВЫЙ НАСОС: СРАВНЕНИЕ ПО ОСНОВНЫМ ПАРАМЕТРАМ

Целью работы является исследование вопроса о преимуществах и недостатках эксплуатируемого в настоящее время насоса, а также насоса, предполагаемого для замены последнего. Для достижения этой цели необходимо решить *следующие задачи*:

- 1) проанализировать особенности конструкций шламовых консольных насосов;
- 2) ознакомиться с характеристиками, описанием, параметрами функционирующего шламового консольного насоса и насоса, предполагаемого к установке;
- 3) провести сопоставление насоса, предполагаемого к установке с насосом, эксплуатируемым в настоящее время по параметрам, важным для актуальных эксплуатационных условий.

В настоящее время весьма актуальным является строительство пульпонасосных станций, транспортирующих смесь воды и измельчённой горной породы к объекту переработки смеси, или к хвостохранилищу. В качестве реального объекта была рассмотрена пульпонасосная станция (ПНС), функционирующая в Кемеровской области. На станции в соответствии с [1] установлен ряд насосов, работающих на одинаковую подачу ($Q = 2,2 \text{ м}^3/\text{с}$) и одинаковый напор ($H = 71 \text{ м}$). Все насосы по перемещаемой жидкости являются шламовыми, а по конструкции – консольными с футеровкой проточной части. Подразделением, эксплуатирующим в настоящее время ПНС, предлагается перейти от разных марок насосов, установленных на ПНС, к насосам одной марки.

В отличие от консольного насоса, перекачивающего чистую воду, консольно-шламовые насосы, как правило, используются для перекачивания шламов, содержащих высокую концентрацию эрозионных твердых веществ, что определяет условия, требующие оборудование чрезвычайно высокой надёжности. Во избежание засорения проточной части обычно используется кольцевой отвод и рабочее колесо с уменьшенным количеством лопаток.

Для перекачки эрозионных твёрдых частиц при обеспечении минимального износа проточной части, а также при изготовлении элементов проточного тракта насоса используются особо износоустойчивые материалы. Например: рабочее колесо отливается из высокохромистого белого чугуна, футеровка и передний бронедиск выполняются из высокохромистого белого чугуна или других высокопрочных металлов. При перекачке пульпы с мелкодисперсными частицами, возможна футеровка из резины или пластика.

Обычно, перемещаемым материалом являются абразивные гидросмеси с рН от 6 до 8, (слабокислая или слабощелочная среда), плотностью от 1100 до 1300 кг/м³, содержащие твёрдые включения объёмной концентрацией до 15% с размером частиц до 5 мм. Температура перекачиваемой среды может колебаться в пределах от +1 до +70⁰ С.

Уплотнение вала насоса осуществляется сальником с подводом промывочной воды. Чаще всего насосы устанавливаются с напорным патрубком, направленным вверх.

Насосный агрегат, состоящий из шламово-консольного насоса и электродвигателя, имеет ту особенность, что оставляющие его механизмы опираются на отдельные рамы. Принципиальная схема консольно-шламового насоса приведена на рис. 1.

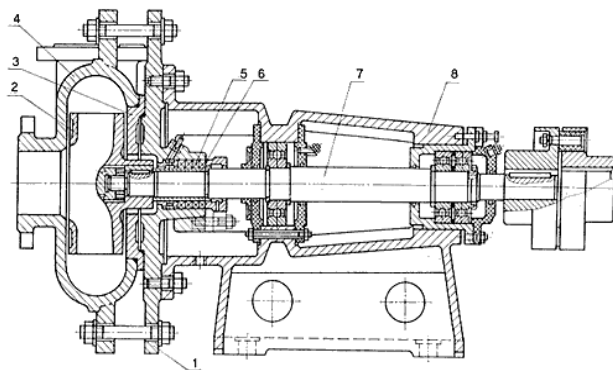


Рис. 1. Принципиальная схема шламового консольного насоса –
1 – крышка корпуса; 2 – рабочее колесо; 3 – защитный диск; 4 – корпус; 5 – узел сальника;
6 – защитная втулка; 7 – вал; 8 – опорная стойка

Консольные-шламовые насосы является актуальным решением в различных отраслях, таких как металлургическая промышленность и горнодобывающей промышленности. По сравнению с другими типами насосов (гидроэлеваторы и т.п.) они имеют больший КПД, компактны и надёжны в эксплуатации [1–3].

Таблица 1 – Параметры существующего консольно-шламового насоса 2ГрТ 8000/71

Напор-подача	Марка	КПД, %	Длина насосного агрегата, мм	Ширина насосного агрегата, мм	Масса насосного агрегата, кг	Цена, руб.	Гарантийный срок эксплуатации, месяцы
$H = 71$ м; $Q = 2,2$ м ³ /с	2ГрТ 8000/71	74	6515	3445	$29900 + 25300 = 54200$	2 241 500	12

Таблица 2. Параметры предлагаемого к установке консольно-шламового насоса ROITECH RT-6HPP 28/24 (Китай)

Напор-подача	Марка	КПД, %	Длина насосного агрегата, мм	Ширина насосного агрегата, мм	Масса, кг	Цена, руб.	Гарантийный срок эксплуатации, месяцы
$H = 71$ м; $Q = 2,2$ м ³ /с	RT-6HPP 28/24	85	9000	3060	74594	1 136 000	16

Результаты: В работе рассмотрен консольно-шламовый насос 2 ГрТ 8000/71 (СвердМаш, Россия) [4], в настоящее время функционирующий на ПНС, а также насос RT-6HPP 28/24 (ROITECH, Китай), который может заменить на ПНС существующие насосы [5]. Сравнение произведено по пяти параметрам: КПД, габариты, масса, цена и гарантийный срок эксплуатации. Для анализа взяты насосы, работающие при одинаковых напорах и подачах. Параметры каждого насоса представлены в таблицах 1 и 2.

По данным таблиц 1 и 2 можно констатировать следующее:

1) по коэффициенту полезного действия китайский насос значительно превосходит насос отечественный, соответственно 85 % и 74 %;

2) по массе отечественный насосный агрегат легче китайского (соответственно 54200 кг и 74 594 кг); по габаритам отечественный более компактен;

3) отечественный насосный агрегат значительно дороже китайского аналога (соответственно 2241500 рублей и 1136000 рублей);

4) по гарантийному сроку эксплуатации отечественный насос также проигрывает китайскому аналогу (соответственно 12 и 16 месяцев).

Выводы. По предварительному сравнению насосный агрегат Roitech RT-6HPP 28/24 предпочтительнее насосного агрегата 2 ГрТ 8000/71. Однако, окончательное решение о замене эксплуатируемых агрегатов на китайский аналог может быть принято с обязательным учётом и других факторов: возможность установки большиеразмерных китайских насосных агрегатов в существующем здании ПНС; гарантированность сервисного обслуживания; поставка комплектующих и т.п.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 70519-2022 Хвостохранилища гидromеталлургических заводов уранодобывающих предприятий. Нормы проектирования – 6 Системы гидротранспорта хвостохранилища, <https://files.stroyinf.ru/Index/79/79312.htm>.
2. Карелин В.Я, Минаев А.В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1986, <https://djvu.online/file/Oxt80ecOpU5rm?ysclid=m7d9h9rfy8105911693>.
3. Моргунов К.П. Насосы и НС, М.: Лань, 2024, 302 с, <https://e.lanbook.com/book/402923?ysclid=m7d9ndvu5i816165801>.
4. Ереванцев Г.А. Каталог насосов СвeрдМаш ООО "Гидромашина", <https://gidromashina.ru/proizvoditeli-nasosov/ooo-sverdmash.html>.
5. Каталог насосов ОА "РОЙТЕК" ROITECH China, Shanghai, Pudlong New Area, Waigaoqiao FTZ, Anona Street, 55 bld, 1 corp, 607. Приводное оборудование, насосное оборудование и запорно-регулируемая арматура, <https://roitech.ru/6?ysclid=m6xr9dqdrq358663949>.

УДК 62-1/-9

М.Х. Майер, С.Я. Павлов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНСОЛЬНЫЕ МОНОБЛОЧНЫЕ НАСОСЫ: СРАВНЕНИЕ НАСОСОВ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Цель работы – произвести сравнение консольных моноблочных насосов различных производителей по актуальным параметрам.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить конструкцию, достоинства и недостатки консольных моноблочных насосов;
- 2) получить информацию по брендам консольных моноблочных насосов, наиболее распространённых в Российской Федерации;
- 3) в табличной форме представить данные по актуальным параметрам насосов для широкого диапазона подач и напоров;
- 4) по данным таблиц произвести анализ насосов, сравнив их по стоимости и гарантийному сроку эксплуатации.

Согласно [1] моноблоком называется спаренная компоновка, имеющая двигатель, который оснащен переходным фланцем, на котором непосредственно смонтирован опорный корпус или корпус насоса, что делает возможным использование одинарного или жестко спаренного вала. Консольно-моноблочный насос – это тип центробежного насоса, который обладает компактной конструкцией и интегрированным двигателем. Данная конструкция обеспечивает удобство в эксплуатации и установке, а также высокую эффективность работы [2, 3]. Принципиальная схема консольного моноблочного насоса (КМ) приведена на рис. 1.

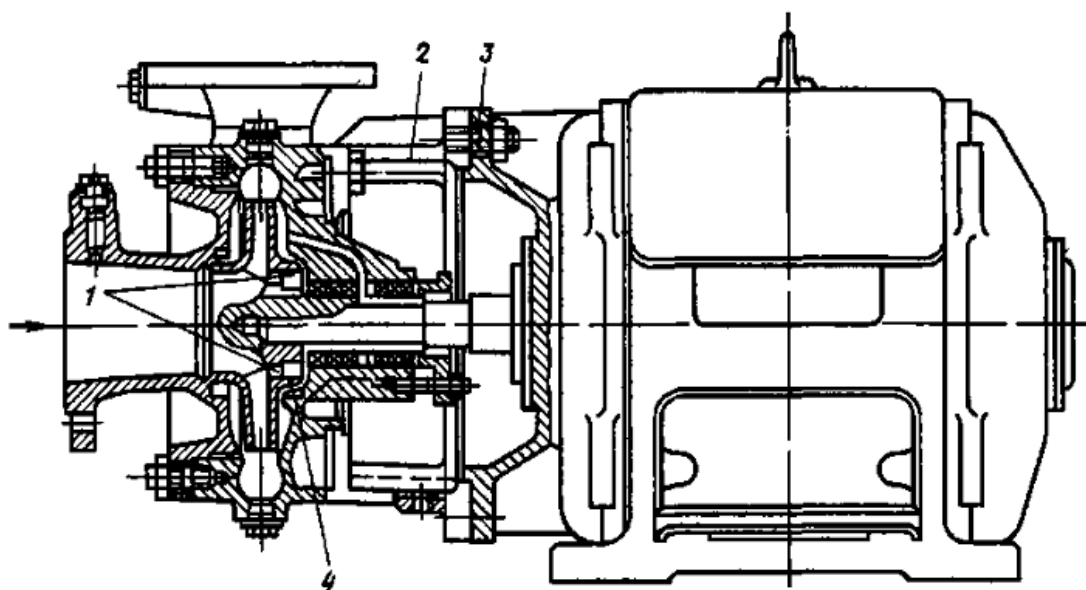


Рис. 1. Устройство насоса типа КМ:
1 – разгрузочные отверстия; 2 – промежуточный фонарь;
3 – фланец электродвигателя; 4 – поясок уплотнения

К достоинствам консольных моноблочных насосов относятся компактность и небольшая масса. Недостатком является меньшая надёжность в эксплуатации по сравнению с консольными насосами, имеющими промежуточную подшипниковую опору. Указанный недостаток определяется непосредственной передачей усилия от момента, создаваемого рабочим колесом на подшипники двигателя.

Из большого перечня брендов, эксплуатируемых в Российской Федерации консольных моноблочных насосов, выбраны Grundfos (Германия), Calpeda (Италия) и Ливгидромаш (Российская Федерация). Основой для выбора указанных производителей послужило широкое присутствие их на российском рынке и максимально подробная информация по изделиям. В качестве источников для анализа консольных моноблочных насосов использованы соответствующие каталоги [4–6]. Из информации, приведенной в вышеуказанных каталогах, использовались описания насосов и их характеристики.

Результаты:

Ниже приведены таблицы 1–3, дающие информацию по коэффициенту полезного действия (КПД) насоса, а также по цене, массе и гарантийному сроку эксплуатации насосного агрегата для указанных выше брендов. Таблицы 1–3 разделяются по значениям напоров и подач, характерных для консольных моноблочных насосов.

Таблица 1 – Сравнение актуальных параметров консольных насосов различных брендов для «больших» напоров и подач

Напор-подача, м – м ³ /с	Бренд, марка	Цена, руб.	КПД, % Max(%)	Масса, кг	Гарантийный срок, мес.
60 – 0,022	GRUNDFOS NB 50-200/210	327 210	78(79)	180	24
	CALPEDA NM(S) 65/25C/A	466 797	68(78)	222	36
	ЛИВГИДРОМАШ KM100-65-250a	322 584	68(81)	220	12

Таблица 2 – Сравнение актуальных параметров консольных насосов различных брендов для «средних» напоров и подач

Напор-подача, м – м ³ /с	Бренд, марка	Цена, руб.	КПД, % Max(%)	Масса, кг	Гарантийный срок, мес.
40 – 0,011	GRUNDFOS NB 50-160/167	261 040	79(82)	152	24
	CALPEDA NM 50/16B/B	135 228	66(74)	68	36
	ЛИВГИДРОМАШ KM 80-50-200a	99 972	62(68)	133	12

Таблица 3 – Сравнение актуальных параметров консольных насосов различных брендов для «малых» напоров и подач

Напор-подача, м- м ³ /с	Бренд, марка	Цена, руб.	КПД, % Max(%)	Масса, кг	Гарантийный срок, мес.
20 – 0,0055	GRUNDFOS NB 32-125.1/121	122 850	64(69)	42	24
	CALPEDA NM 10S/A	50 654	66(72)	21,5	36
	ЛИВГИДРОМАШ KM65-50-125	53 088	66(80)	50	12

В столбце КПД, % в скобках показан максимально возможный коэффициент полезного действия для данной марки насоса.

Выводы:

По результатам выполненной работы можно констатировать следующее:

1. В рассмотренных пределах подачи и напора насосы всех производителей имеют приблизительно одинаковый КПД.
2. Наибольшую массу имеют насосы отечественного производителя – наиболее «лёгкие» насосы Calpeda.
3. GRUNDFOS – самые «дорогие»; Calpeda и ЛИВГИДРОМАШ – наиболее «бюджетные».
4. Наибольший гарантийный срок предлагается итальянскими производителями; самый «короткий» срок – у отечественных насосов.
5. Авторы полагают, что в нынешней ситуации российскими пользователями предпочтительнее приобретение насосов отечественных производителей. Насосы КМ по сравнению с насосами типа К менее надёжны. Ремонт может производиться только в специализированном сервисном пункте, где могут быть проблемы с импортными комплектующими.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ ISO 17769-1-2014. Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Часть 1. Жидкостные насосы (<https://meganorm.ru/Data2/1/4293759/4293759814.pdf>).
2. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.
3. Моргунов К.П. Насосы и насосные станции: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2024. 308 с.
4. Каталог насосов двустороннего подвода GRUNDFOS – URL: <https://www.grundfos.com>.
5. Каталог насосов двустороннего подвода и консольных насосов Calpeda – URL: <https://calpeda.su/catalog/>.
6. Каталог насосов двустороннего подвода и консольных насосов ЛИВГИДРОМАШ – URL: <https://www.hms-livgidromash.ru/catalog/>.

ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ ПЕРВОМАЙСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКА

Целью работы является разработка предложений по размещению и конструкции водоотводящей сети для защиты прибрежных территорий Первомайского района Новосибирска.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- 1) комплексное изучение осушаемой территории и оценка гидрометеорологических условий в районе проектирования;
- 2) выполнение трассировки самотёчной водоотводящей сети и проведение расчёта на выбранном участке с помощью цифровых инструментов QGis и Civil 3D.

Настоящая работа является продолжением исследований, основные результаты которых изложены в [1]. Для получения исходных данных была собрана информация по климатическим и геологическим условиям района. Проведено подробное визуальное обследование осушаемой территории и фотофиксация наиболее проблемных участков. В качестве топографической основы использованы находящиеся в открытом доступе планы осушаемой территории [2].

Город Новосибирск расположен в континентальном климате. Зима продолжительная с устойчивым снежным покровом [3]. После насыщения почв водой в результате таяния снегов наступает период весенних паводков, сопровождающийся затоплениями частных участков вдоль берегов р. Обь. В результате гибнут посевы и страдает имущество. Предлагаемое расположение водоотводящей сети Первомайского района определяется следующими факторами:

1. Водоотводящая сеть должна пролегать вдоль улиц с учётом наличия свободного пространства для их прокладки и подходящих уклонов для функционирования безнапорной ливневой канализации.

2. Параметры системы водоотведения должны соответствовать нормативным требованиям [4].

На рис. 1 представлена территория Первомайского района, критичная по отношению к условиям, реализующимся при возведении дамбы, защищающей от затоплений. На рис. 1 оранжевой линией со штриховкой показана вся предполагаемая к осушению территория. Красной линией со штриховкой выделена та её часть, которая может быть осушена с помощью самотёчной ливневой канализации.

Трассировка водоотводящей сети оказалась возможной только на ограниченной части предполагаемой к осушению территории. Это связано с переуплотнённой застройкой и отсутствием подходящих уклонов для функционирования безнапорной ливневой канализации [5]. Сброс поверхностного стока будет осуществлён в старицу р. Обь.



Рис. 1. План территории (в Civil 3D), предполагаемый к осушению, с демонстрацией участка расположения самотёчной



Рис. 2. Трассировка самотечной ливневой канализации в зоне проектирования

Она протекает вдоль всего побережья рассматриваемой территории и соединена с Обью протоками. Для трассировки водоотводящей сети была выбрана перпендикулярная схема с несколькими магистральными коллекторами [6]. Граница зоны проектирования самотечной ливневой канализации и её трассировка показаны на рис. 2. Используя формулу (1), определяются расчётные расходы дождевых и талых вод в коллекторах сетей водоотведения [4]

$$Q = \frac{Z_{mid} A^{1,2} S}{T^{1,2n-0,1} r}, \quad (1)$$

где A , n – параметры, характеризующие соответственно интенсивность и продолжительность дождя для конкретной местности; Z_{mid} – среднее значение коэффициента покрова; S – расчетная площадь стока, Га; r – расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания дождевых вод по поверхности и трубам до расчетного участка.

Результаты. Расчётный расход ливневого стока с осушаемой территории составляет $Q = 156,7$ л/с. Поскольку общий сток распределён по шести не связанным между собой магистральным коллекторам, постольку расход каждого отдельно взятого магистрального коллектора соответствует 25–30 л/с. Таким образом, диаметры магистральных коллекторов могут быть приняты $D = 300$ мм с резервом на период паводка.

Выводы. Предлагаемые решения по созданию водоотводящей сети приведут к скорейшему отводу избытков воды с частных участков в период таяния снега и весенних паводков. Предлагается связать эту сеть с проектом землеустройства по размещению дамбы обвалования, чтобы полностью исключить возможность паводковых затоплений [7–10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Школин В.Д. Дамба на реке Обь для защиты от затоплений Первомайского района Новосибирска / В.Д. Школин, С.Я. Павлов, О.С. Скворцова // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов всероссийской конференции. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 303–305. – EDN BJRDPJ.
2. Технология создания цифровой картографической основы на базе архивных фоновых материалов / В.В. Гарманов, А.Г. Осипов, В.В. Терлеев, А.Р. Грик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 268–275. – EDN ZBFABH.
3. Климат Новосибирска – Погода и климат [Электронный ресурс] // URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29638.htm> (Дата обращения 03.03.2025).
4. СП 32.13330.2018. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
5. Доскина Э.П., Кичева Т.Д., Коган С.Г. Водоотводящие сети. Методические указания к курсовому проекту, Волгоград, ВолгГАСУ 2013г.
6. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704 с.
7. Схема территориального планирования Новосибирского района Новосибирской области, том 2, часть 1, г. Новосибирск 2015 г. 10–31 с.
8. Шишов Д.А. Землеустройство в системе концепции охраны нарушенных земель на примере экологически загрязненных территорий / Д.А. Шишов, Г.Б. Стрекулев, В.В. Терлеев // Неделя науки СПбПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 189–191. – EDN VAAEWH.

9. Крылова И.Ю. Моделирование гидрологических характеристик почвы / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // XXXVII неделя науки СПбГПУ: Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 277–279. – EDN QBZPAH.

10. Bank Protection on Storage Reservoirs for Municipal Coastal Areas / N. Arefiev, V. Badenko, A. Nikonorov [et al.] // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities (SPbUCEMF-2015), 2015. – P. 20–25. – DOI 10.1016/j.proeng.2015.08.118. – EDN UETQXR.

УДК 379.844

К.Д. Долгова, Ю.В. Волкова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ЗОНЫ РЕКРЕАЦИИ В ГОРОДЕ КУДРОВО ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель работы – определить факторы, которые подтверждают необходимость создания зоны рекреации в городе Кудрово, а также предложить критерии ее создания.

Кудрово – малый город, который интенсивно развивается. Численность населения за последнее годы увеличилась в десятки раз благодаря массовой жилой застройке. В то же время инфраструктура, которая включает зеленые зоны, не успевает за темпами урбанизации. Дефицит парков и общественных пространств негативно сказывается на качестве жизни, что требует научно обоснованных решений. Для исследования данного вопроса необходимо собрать информацию о городе, чтобы обосновать разработку парка в нем (см. рис. 1). Население г. Кудрово составляет 66310 человек при плотности застройки больше 10 тыс. чел./км². Минимальная норма зеленых насаждений на человека в малых городах равна 8–10 м² по правилам Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) и СП «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [1, 2]. По данным Экологического паспорта Заневского городского поселения площадь озеленения г. Кудрово составляет менее 50 га [3]. Из этих данных следует, что в городе показатель обеспеченности зелеными насаждениями не соответствует требованиям. Это негативно влияет на психическое и физическое здоровье жителей.



Рис. 1. Материалы, которые следует изучить

В г. Кудрово наблюдается экологическое загрязнение атмосферы: индекс качества воздуха (AQI) в городе равен 91. Он небезопасен для людей, у которых повышенная чувствительность к загрязнению воздушной среды. При таких показателях может возникнуть затрудненное дыхание или раздражение горла [4]. Также в населенном пункте есть шумовое загрязнение: уровень шума в жилых кварталах находится в диапазоне от 65 до 70 дБ, при норме в 55 дБ [5]. Беспокойство вызывает отсутствие биоразнообразия на экологически загрязненной территории, что может нарушать баланс экосистемы города [6]. Кроме того, землеустроительный аспект вопроса организации городской среды показывает, что в г. Кудрово существует дисбаланс застройки. Примерно 85% территории г. Кудрово занято

жилыми и коммерческими объектами. Согласно СП, доля зеленых пространств от площади города должна составлять минимум 40%, что не соответствует требованиям [2]. Стоит отметить, что существующие парки расположены неравномерно. Около 40% жителей г. Кудрово тратят на дорогу более 30 минут до зеленой зоны. Социальный опрос населения показал, что большая его часть не удовлетворена сложившейся ситуацией с рекреационными пространствами в городе (табл. 1). Также 64% опрошенных жителей готовы принять участие в разработке по созданию парка, который будет удовлетворять их потребности.

Таблица 1 – Результаты опроса

Существующая проблема	Кол-во проголосовавших, %
Недостаточно мест для прогулок с детьми	89
Стресс из-за отсутствия доступных зон отдыха	72



Рис. 2. Критерии проектирования

Результаты. Из проведенного анализа следует, что наличие зон рекреации в городе повышает его привлекательность для различных инвестиций. Жилье рядом с парком стоит на 15-20% дороже, чем в обычном районе. Помимо этого, наличие зеленых зон создает рабочие места в сфере обслуживания. Можно выделить основные критерии по проектированию рекреационного пространства (рис. 2).

Выводы. По нашему мнению, зона рекреации должна располагаться так, чтобы от жилого комплекса до нее можно было дойти пешком (радиус 500 м). В парке должно быть функциональное зонирование со спортивными и детскими площадками, зоной тихого отдыха, кафе и т.д. Также стоит обратить особое внимание на использование местных древесных и кустарниковых видов для озеленения. Рекреационное пространство должно удовлетворять потребности населения города.

Создание парка в г. Кудрово является необходимым условием для устойчивого развития города. Рекреационная зона, безусловно, поспособствует улучшению качества окружающей среды и повышению темпа социально-экономического развития г. Кудрово. Условия жизни населения станут благоприятнее, что позволит решить многие проблемы психического и физического здоровья жителей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха // Всемирная Организация Здравоохранения URL: <https://www.who.int/ru/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines> (дата обращения: 26.02.2025).

2. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1034/пр) (ред. от 19.12.2019)
3. Заневское городское поселение экологический паспорт / [Электронный ресурс] // Экопортал: [сайт]. – URL: https://ecoportal-vsev.ru/assets/userfiles/default/moddocument/EP_Zanevskoe_merged.pdf (дата обращения: 06.10.2024).
4. Что такое индекс качества воздуха (AQI) // Prana Air: Решение для обеспечения качества чистого воздуха | Продукты против загрязнения URL: <https://www.pranaair.com/ru/what-is-air-quality-index-aqi-and-its-calculation/> (дата обращения: 26.02.2025).
5. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 28.12.2010 N 825).
6. Шишов Д.А. Землеустройство в системе концепции охраны нарушенных земель на примере экологически загрязненных территорий / Д.А. Шишов, Г.Б. Стрекулев, В.В. Терлеев // Неделя науки СПбПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 189–191. – EDN VAAEWN.

УДК 711.142

Е.А. Егорова, К.С. Киселева, Ю.В. Волкова,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБЗОР КАРЬЕРОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ

Цель исследования заключается в выявлении и анализе состояния территорий Ленинградской области, на которых находятся карьеры. Оценка этих территорий будет способствовать разработке мероприятий по возврату этих территорий в хозяйственный оборот для целей градостроительства. Планируется разработать рекомендации по устойчивому развитию территорий бывших карьеров, учитывающие экономические, экологические и социальные аспекты.

Актуальность исследования перспектив развития промышленных карьеров в Ленинградской области обусловлена необходимостью сбалансировать экономические интересы с экологической устойчивостью, а также совершенствованием методов рекультивации земель [1].

В условиях активного развития строительных проектов в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, которое является важным элементом развития инфраструктуры и экономики, растет потребность в строительных материалах, таких как песок, щебень, глина и другие полезные ископаемые. Эти материалы добываются в карьерах, где осуществляется разработка месторождений. Использование карьеров становится важным элементом обеспечения стабильного функционирования строительной отрасли. Однако разработка карьеров требует тщательного планирования, соблюдения экологических норм и рекультивации земель после завершения добычи, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду [2]. Как показывает практика, процесс добычи полезных ископаемых связан с рядом экологических и социальных проблем (табл. 1).

Таблица 1 – Экологические и социальные последствия эксплуатации карьеров

Экологические последствия:	Социальные последствия:
– деградация ландшафтов; – загрязнение воды и воздуха; – увеличение уровня шума; – образование техногенных пустошей.	– ухудшение качества жизни местного населения; – отсутствие вовлеченности местных жителей в процесс принятия решений.

Современные промышленные карьеры Ленинградской области занимают значительную территорию и являются важным источником нерудных материалов [3]. Месторождения песка

и гравия расположены в различных районах области, причем многие из них были разработаны еще в советский период. В настоящее время некоторые карьеры не эксплуатируются, что делает их объектами, требующими особого внимания при перестройке или рекультивации территории. На сегодняшний момент в Ленинградской области активно используются старые месторождения.

В Ленинградской области насчитывается 103 песчаных, 11 гранитных, 4 известняковых и 16 щебёночных карьеров, из которых 29 уже закрыты. Песчаные месторождения обладают значительными запасами сырья, которых хватит на несколько сотен лет. Основное их предназначение – обеспечение строительных нужд, за исключением Лужского карьера, где добываемый песок используется в стекольной промышленности.

Известняковые карьеры Ленинградской области также играют важную роль в промышленности. Добытое сырьё применяется в металлургии, стекольном производстве и цементной отрасли.

Выборгский район лидирует по количеству гранитных месторождений, которые использовались для облицовки набережных Санкт-Петербурга. Однако современные разработки выявляют значительные вкрапления зёрен шпата. Часть карьеров используется для производства гранитного щебня, тогда как некоторые закрываются из-за повышения уровня грунтовых вод и затопления выработанных котлованов [4].

Результаты. Анализ количества действующих карьеров Ленинградской области представлен в таблице 2. В Ленинградской области, как и в других регионах России, существует дефицит эффективных методов восстановления нарушенных земель. Большинство заброшенных карьеров не подвергается качественной рекультивации, что приводит к нарушению водного баланса, вымыванию почвы, загрязнению существующих водоемов, а также способствуют ухудшению качества воздуха [5].

Таблица 2 – Наиболее эксплуатируемые действующие карьеры Ленинградской области

Песчаные	Известняковые	Гранитные
Карьер Каллелово	Карьер Кикерино	Карьер Боровинка
Карьер Манушкино	Борницкий карьер	Карьер Кузнечное
Карьер Таменгонт	Гавриловское карьероуправление	Карьер Гаврилово
Карьер Кузнечное	Выборгское карьероуправление	Карьер Пруды
Карьер Дубровка		Гавриловское карьероуправление
Карьер Приветнинское-3		Выборгское карьероуправление
Карьер Горное Елохово		Карьер Перово
Карьер Малукса		
Карьер Надино		
Карьер Майское		
Карьер Высокое		
Карьер Плоское		
Карьер Самушкино		
Карьер Новая Середка		
Карьер Новосаратовское – 1		
Карьер Брусова гора-2		
Карьер Степаново		
Карьер Костуя-1		
Карьер Вуолы-Эко		
Гавриловское карьероуправление		
Выборгское карьероуправление		
Карьер Залесье		
Карьер Отрадное		
Карьер Александровка		

На сегодняшний момент существует ряд методов восстановления нарушенных земель, которые позволяют вернуть их в хозяйственное использование [6]. Неэксплуатируемые карьеры бывают затопленные и незатопленные. Исходя из этого, необходимо тщательно подбирать методы рекультивации, такие как: засыпка, гидромелиорация, озеленение, создание рекреационных зон, в том числе организация водоемов. Однако для того, чтобы эти методы стали более эффективными, необходимо их внедрение на системной основе (с учетом особенностей каждого карьера) [7].

При разработке карьера важно учитывать не только возможное влияние на окружающую среду и социальную инфраструктуру, но и его экономическую эффективность и перспективы окупаемости. Одним из ключевых факторов является близость карьера к населенным пунктам, что может значительно упростить логистику и снизить затраты на транспортировку материалов [8]. Однако такая близость также требует продуманного подхода к будущему использованию территории после завершения добычи.

Выводы

По результатам исследования можно констатировать:

1. Ленинградская область является развивающейся территорией с множеством строящихся объектов, для обеспечения которых необходимо внушительное количество материалов, добываемых непосредственно в карьерах.

2. Разработка карьеров сопровождается экологическими и социальными проблемами для местного населения.

3. Многие карьеры после завершения добычи не подвергаются восстановлению, что может наносить существенный ущерб экосистемам и угрожать деградацией окружающим территориям (в том числе – сельскохозяйственным землепользованиям) [9, 10].

4. Преобразование экологически загрязненных территорий, расположенных вблизи населенных пунктов, в полезные для общества объекты землеустройства позволит не только восстановить экологический баланс на нарушенных землях, но и организовать рабочие места, а также создать комфортные условия для жизни и отдыха населения [6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рекультивация земель после добычи полезных ископаемых / В.П. Петров. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2019. – 265 с.
2. Дзюбаренко А.А. Экологические проблемы добычи полезных ископаемых. А.А. Дзюбаренко – М.: Наука, 2021. – С. 24–29.
3. Тенденции развития горнодобывающей промышленности в России / И.Э. Дикунов. – ИГУ, 2021. – 3 с.
4. Карта карьеров Ленинградской области [Электронный ресурс] / Единая база карьеров. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://karery-len-obl.ru/karta-vse-karery>.
5. Пространственное распределение экологического риска при работе железорудных карьеров / В.С. Кузнецов. – СПб.: Экология и право, 2006. – 6 с.
6. Шишов, Д.А. Землеустройство в системе концепции охраны нарушенных земель на примере экологически загрязненных территорий / Д.А. Шишов, Г.Б. Стрекулев, В.В. Терлеев // Неделя науки СПбПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 189–191. – EDN VAAEWN.
7. Проблемы и перспективы развития карьеров в Ленинградской области / Журнал "Региональная экономика", 2021.
8. Современные технологии добычи и рекультивации карьеров / Журнал "Горная промышленность", 2021.
9. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.
10. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
САДА ИСЛАМСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ (УНИВЕРСИТЕТ АЛЬ-БАЙТ)

Устойчивое развитие является ключевым фактором в решении экологических проблем, связанных с урбанизацией и изменением климата. Одним из наиболее эффективных способов содействия устойчивому развитию является интеграция солнечной энергии в архитектурные проекты. В данной работе рассматривается роль солнечной энергии в устойчивом развитии и ее применение в парке исламской архитектуры (Университет Аль-Байт).

Цель исследования – показать роль солнечной энергии в проектах создания исламских садов. В работе представлены расчеты системы, которая обеспечит электричеством сад в исламском стиле на территории кампуса университета Аль-Байт, который будет оснащен солнечными батареями.

Университетские кампусы, в том числе Аль-Альбайт, представляют собой перспективные площадки для внедрения решений в области устойчивой энергетики. Исследование показывает, что университетские городки являются значительными потребителями энергии, что делает их подходящими кандидатами для использования в качестве источников возобновляемой энергии [1]. Используя солнечную энергию, университеты могут значительно сократить свой углеродный след, снизить расходы на электроэнергию и служить образцом устойчивого городского развития.

Рассмотрим роль солнечной энергии в устойчивом развитии. Использование солнечной энергии позволяет значительно снизить выбросы углекислого газа, что способствует достижению университетами целей в области устойчивого развития и соответствует международным экологическим стандартам [2]. Несмотря на первоначальные инвестиции, солнечные установки в долгосрочной перспективе обеспечивают значительную экономию на счетах за электроэнергию и снижают эксплуатационные расходы [3]. Университеты могут самостоятельно обеспечивать себя энергией, что снижает их зависимость от внешних источников и повышает уровень энергетической безопасности [4].

Проектируемый парк расположен на территории кампуса университета Аль-Байт в Мафраке, Иордания. И в этом районе было проведено всестороннее исследование солнечной радиации с учетом среднего количества солнечных дней в году. Регион Мафрак в течение всего года подвергается значительному воздействию солнечной радиации. Проектирование исламского сада в соответствии с принципами экологичности требует эффективного решения в области энергоснабжения. Освещение является основным источником энергии: выполняет как функциональные, так и эстетические функции. Светодиодные светильники, потребляющие 5–15 Вт и работающие около 10 часов в день, являются рациональным решением. Энергия также необходима для систем орошения и фонтанов. Насосы на солнечных батареях мощностью 400–500 Вт могут эффективно выполнять эти задачи, работая по 10 часов в день. Работы по техническому обслуживанию приводят к увеличению потребления энергии. Используются электрические инструменты, такие как газонокосилки, триммеры и воздуходувки, которые потребляют 300–1000 Вт 1–2 часа в неделю. Интеллектуальные контроллеры и датчики орошения управляют системами орошения и освещения, потребляют менее 100 Вт и снижают общее энергопотребление.

Рекомендации по освещению (IESNA), [5] для дорожек и садов рекомендует уровень освещенности 5–10 люксов. Для нашего сада мы стремимся к 5 люксам на 1 м², что в общей сложности составляет около 15 000 люмен. При использовании обычных светодиодных ламп

мощностью около 1200 люмен для достижения требуемого уровня освещенности в соответствии с формулой (1) потребовалось бы 125 ламп:

$$I \text{ (световой поток в люменах)} = E \text{ (освещенность в люксах)} \times \text{Площадь, м}^2. \quad (1)$$

Формула (1), применяемая для расчёта энергопотребления, широко используется в литературе, посвящённой вопросам оценки энергоэффективности по формуле (2):

$$\text{Энергия, кВт} \cdot \text{ч} = \text{Мощность, Вт} \times \text{Время работы, ч} / 1000. \quad (2)$$

Формула (2) встречается в таких источниках, как Руководство по энергоэффективности наружного освещения Международного энергетического агентства (МЭА).

Результаты. Общая мощность, необходимая для сада, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет общая потребляемая электроэнергия за день

Потребность в энергии	Мощность, Вт	Количество устройств	Общее потребление электроэнергии, Вт	Общая потребляемая электроэнергия за день, Вт·ч
Освещение	15	125 ламп	$125 \cdot 15 = 1875$	$1875 \cdot 10 = 18750$
Водяные насосы	500	12 насоса	$12 \cdot 500 = 6000$	$6000 \cdot 10 = 60000$
Другие устройства	1000	1	1000	$1000 \cdot 10 = 10000$
Сумма Общая потребляемая электроэнергия за день (10 часов работы)				88750

Предполагая, что в среднем солнечное освещение длится пять часов в день, суточную выработку энергии одной панелью можно рассчитать [5] по следующей формуле (3):

$$E_{\text{panel/день}} = P_{\text{panel}} (\text{вых. мощн. панели (300 Вт)}) \times \text{Сред. кол-во солн. ч/день}. \quad (3)$$

Таким образом, каждая солнечная панель вырабатывает 1,5 кВт·ч в день при определенных условиях. Определить количество панелей, необходимое для выработки требуемого количества энергии по формуле (4):

$$\text{Количество панелей} = \frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{panel/день}}}. \quad (4)$$

Чтобы обеспечить полное использование возобновляемой солнечной энергии в нашем проекте, к солнечной системе необходимо подключить несколько батарей. Такие батареи играют важную роль в накоплении энергии в течение дня и подаче ее в системы освещения и орошения ночью. Полный расчет был произведен для установки в садовой системе батарей общей мощностью 40 000 Вт. Ожидается, что система освещения сада будет работать в среднем 10 часов между заходом и восходом солнца. Также ожидается, что фонтанная система не будет работать в течение того же периода, но система водоснабжения будет работать в обычном режиме. Было рассчитано количество батареек, необходимое для 10-часового рабочего дня. Общий расход батареи рассчитывается следующим образом по формуле (5):

$$\text{Треб. запас энергии} = \text{Общ. потреб. мощн. с-мы} \times \text{Время работы после захода солнца}. \quad (5)$$

Авторами выбраны литий-ионные аккумуляторы типа lifebo4 от Tesla Powerwall 2 емкостью 100 кВт·ч. Однако (из-за ограничений и снижения эффективности) они не могут быть разряжены на 100%. Фактическая полезная ёмкость аккумулятора мощностью 100 кВт·ч составляет [6] по формуле (6):

$$\text{Полез. ёмк. 1 батареи} = \text{Ёмк. 1 батареи} \times \text{Эффект-ть батареи} \times \text{Глубина разряда}. \quad (6)$$

Наконец, количество батареек можно рассчитать по приведенной ниже формуле (7):

$$\text{Необходим. кол – во батарей} = \frac{\text{Требуемый запас энергии}}{\text{Полезная емкость каждой батареи}}. \quad (7)$$

В таблице (2) приведены значения солнечной системы сада. По нашим расчетам, на крыше зданий будет установлено 60 солнечных панелей, а батареи будут размещены в подвале, чтобы защитить их от влаги и солнечного света. Схема сада на рисунке 1 показывает расположение элементов, имитирующих солнечную систему в саду.

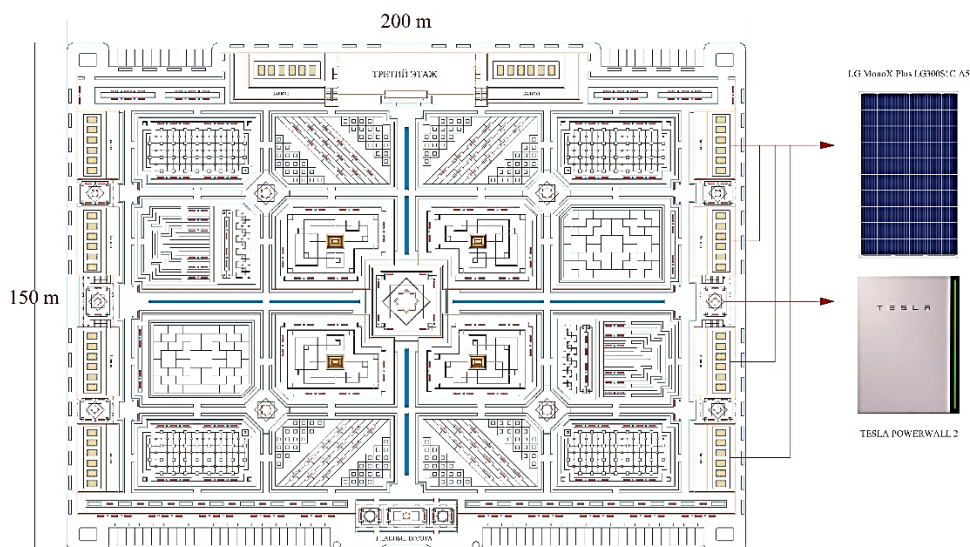


Рис. 1. Расположение солнечных панелей и батареи

Таблица 2 – Параметры солнечной системы сада

$E_{\text{общ}}$, Вт·ч	88750	Емкость одной батареи, Вт	100
$E_{\text{panel/день}}$, Вт·ч	1500	Эффективность батареи, %	90
Количество панелей, шт.	≈ 60	Глубина разряда (DOD)	0,8
Общая потребляемая мощность, Вт	40000	Полезная ёмкость одной батареи, Вт	72000
Время работы после захода солнца, ч	10	Необходимое количество батарей, шт.	≈ 6
Требуемый запас энергии, Вт	400000		

Выводы. Использование солнечных технологий в исламских садах является важным шагом на пути к поиску устойчивых архитектурных решений, которые гармонично сочетают заботу об окружающей среде и традиционные исламские ценности жизни в единстве с природой. Используя солнечную энергию для освещения и управления водными ресурсами, эти парки могут значительно снизить воздействие на окружающую среду, уменьшить зависимость от ископаемого топлива и стать самодостаточными экосистемами. Исламские сады могут служить образцами устойчивых городских ландшафтов, сочетая в себе духовные, эстетические и экологические принципы.

ЛИТЕРАТУРА:

- Алмасри Радван, Абу-Хамдех Нидаль и Недаль Аль-Тамими. (2024). Современный обзор энергоэффективных систем и систем использования возобновляемых источников энергии в высших учебных заведениях. Новые горизонты в энергетических исследованиях.
- Дель Борги А., Шпигельхальтер Т., Морески Л., Галло М. Углеродно-нейтральное здание кампуса: проектирование и модернизация двух университетских зданий с нулевым потреблением энергии в Европе и Соединенных Штатах. Устойчивое развитие 2021, 13, 9023.
- Мартинес И., Залба Б., Трилло-Ладо Р., Бланко Т., Камбра Д., Касас Р. Интернет вещей (IoT) как цель устойчивого развития (SDG), позволяющая использовать технологии для разработки интеллектуальных показателей готовности (SRI) университетских зданий. Устойчивое развитие 2021, 13, 7647. <https://doi.org/10.3390/su13147647>.
- Мартин-Гарин А., Миллан-Гарсия Х.А., Леон И., Ореги Х., Эстевес Х., Мариета С. Педагогические подходы к устойчивому развитию в сфере высшего образования. Устойчивое развитие 2021, 13, 10203 <https://doi.org/10.3390/su131810203>.
- Уоттон Э. Руководство по освещению IESNA и офисному освещению. Lighting 14 (2000).
- Ньюка Г.М., Могака Л. и Вангаи А. Повышение стабильности и отказоустойчивости электросетей за счет оптимального размещения и калибровки BESS в системах, в которых доминируют VRES. Энергетические отчеты, 13 (2025): 1764–1779.

ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ БИОБАССЕЙНЫ
КАК ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДОВ

Цель работы: рассмотреть способ отведения поверхностного стока с улиц города с применением инфильтрационного сооружения – инфильтрационного биобассейна (ИББ).

Согласно [1], указанная цель может быть достигнута применением двух типов конструкций: гидротехнических инфильтрационных систем (колодцы, туннели, траншеи) и экологических инфильтрационных решений (биосклоны, биобассейны, «дождевых садов»), характеризующихся значительным использованием зелёных насаждений.

В работе [2] подробно изучены условия, при которых целесообразно применять инфильтрационные колодцы и туннели. В исследовании [3, 4] представлена оценка эффективности использования биоинфильтрационных систем: «дождевой сад» и ИББ.

В данном исследовании подробно анализируется устройство и применение ИББ; их структура демонстрируется на рис. 1.

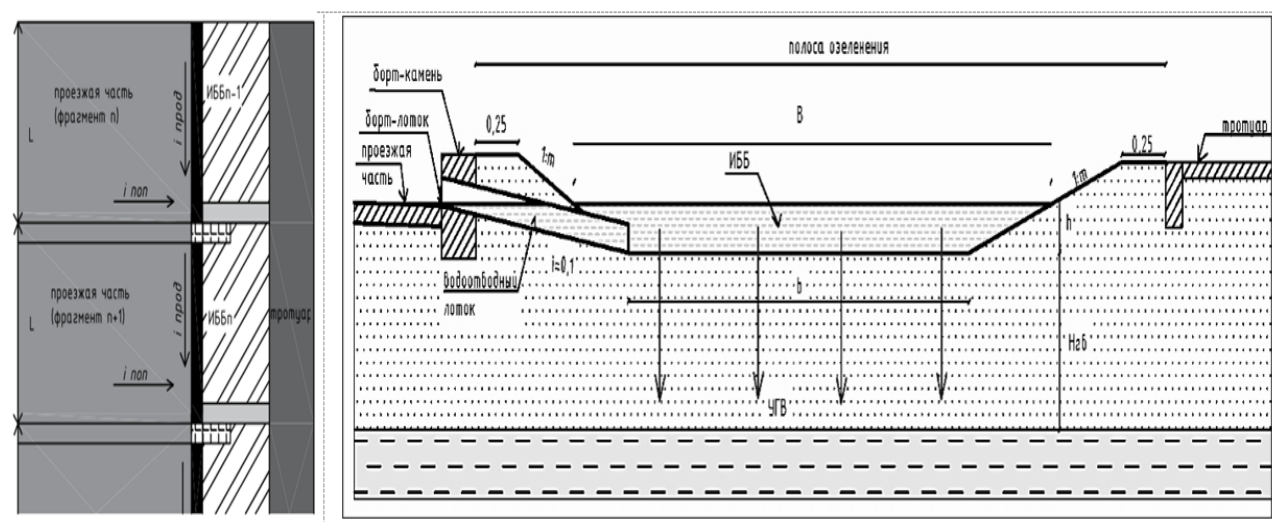


Рис. 1. Схема конструкции инфильтрационного биобассейна

Инфильтрационные биобассейны могут быть интегрированы в полосу озеленения между дорожным покрытием (в границах красных линий улицы) и тротуаром, характеризуясь трапециевидным поперечным профилем с откосами под углом 1:3...5. Дном ИББ обеспечивается на глубине $h = 0,1–0,15$ м ниже уровня дна бортового лотка дорожного покрытия. Уклон в продольной плоскости ограничен значением до 0,005; поперечный уклон не превышает 0,01 и направлен в сторону от проезжей части. Максимальная длина ИББ ($L_{иб}$) при уклонах дорожного покрытия между 0,004 и 0,006 составляет до 20 м по расстоянию между водоразделами.

Системы водоотведения, состоящие из лотков-соединителей (ВЛ), обеспечивают связь между дорожными кюветами и системой инфильтрационных биобассейнов (ИББ). Эти локации собирают дождевые потоки с водосборной зоны $F_{иб}$ (преимущественно дороги или тротуаров). На нижнем уровне ВЛ для предотвращения эрозии необходимо закрепить основание ИББ. Верхняя часть оснащена бесколодезным дождеприемником,

оптимизирующим сбор и транспортировку осадков в систему. Растительный покров на территории ИББ с использованием влаголюбивых (гигрофитов) и умеренно увлажняемых (мезофитов) растений способствует повышению функциональности системы за счет синергии процессов инфильтрации воды в почву и испарения через растительный покров.

В работе ИББ выделяются три стадии: аккумуляции, инфильтрации, фильтрации.

Стадия аккумуляции – заполнение объема аккумуляции ИББ $W_{ак}$, заключенного в ИББ между отметками дна и уровня борт-лотка. Может быть определен по формуле (1):

$$W_{ак} = (b_{инб} + mh_{инб})h_{инб}L_{инб}, \quad (1)$$

где $W_{ак}$ – объем аккумуляции ИББ; $b_{инб}$ – ширина ИББ; m – коэффициент уклона ИББ; $h_{инб}$ – глубина ИББ; $L_{инб}$ – длина ИББ.

Из условия отсутствия затопление проезжей части улицы $W_{ак}$ должен быть не меньше, чем объем дождевых вод W_d водосборной площади ИББ (за расчётный период, например – за сутки). Этот объем может быть определен по СП 32.13330.2018 по формуле (2):

$$W_d = 10h_d\psi_dF_d, \quad (2)$$

где F_d – водосборная площадь ИББ; ψ_d – общий коэффициент стока дождевых вод; h_d – слой осадков (СП 131.13330.2012). Для условий Санкт-Петербурга при $F_d = 180 \text{ м}^2$ (проезжая часть $20 \times 7 \text{ м}$ и тротуар $20 \times 2 \text{ м}$); $W_d = 3,1 \text{ м}^3$ (расчетная повторяемость дождя – 1 раз в год).

Необходимая ширины по дну ИББ (при $m = 3$; $h_{инб} = 0,1 \text{ м}$; $L_{инб} = 19 \text{ м}$) составит $b_{инб} = 1,35 \text{ м}$; а ширина полосы озеленения составит $B_{пз} = 3,4 \text{ м}$ (при рекомендуемом значении $2,0 \text{ м}$).

Стадия инфильтрации начинается при заполнении объема аккумуляции ИББ вода начинает впитываться в грунт [5], поступая в свободное поровое пространство зоны аэрации, расположенной выше уровня грунтовых вод (УГВ).

Объем впитывания ИББ зависит от свойств грунта. Согласно [4] удельный объем инфильтрации дождевых вод $w_{ин}$ на 1 м^2 площади составит по формуле (3):

$$w_{ин} = (h_{гв} - 0,5h_{кк})\mu, \quad (3)$$

где μ – коэффициент водонасыщения (водоотдачи); $h_{кк}$ – высота капиллярного поднятия, м; $h_{гв}$ – глубина залегания УГВ под дном ИББ, м.

Применительно к рассматриваемому примеру в супесчаных грунтах при $h_{гв} = 1,0 \text{ м}$; $h_{кк} = 0,7 \text{ м}$; $\mu = 0,12$ величина $w_{ин} = 0,078 \text{ м}^3/\text{м}^2$, а объем впитывания составит $W_{вп} = w_{ин}b_{инб}L_{инб} = 2,0 \text{ м}^3$, что меньше объема $W_d = 3,1 \text{ м}^3$.

При скорости инфильтрации в супесчаных грунтах $v_{вп} = 0,05 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{сут}$ (СТО НОСТРОЙ 2.17.176–2015) период инфильтрации составит $t_{вп} = W_{вп}/v_{вп} = 1,6 \text{ сут}$. По окончании этого периода объем впитывания ИББ полностью заполнен водой.

Стадия фильтрации наступает в случае, если объем аккумуляции $W_{ак}$ больше объема впитывания $W_{вп}$ после завершения стадии инфильтрации. Объем фильтрации $W_{ф} = W_{ак} - W_{вп}$, а продолжительность $t_{ф} = W_{ф}/(q_{ф}L_{инб})$.

Удельный расход $q_{ф}$ ($\text{м}^3/\text{с}$ на 1 пог. м длины) фильтрационных вод может быть определен в соответствии с СП 100.13330.2016 по формуле (4):

$$q_{ф} = 0,0116\varphi k_{ф}(B + 2h), \quad (4)$$

где $k_{ф}$ – коэффициент фильтрации грунтов, $\text{м}/\text{сут}$; $B_{инб} = b_{инб} + 2mh$ – ширина по верху, м; h – глубина воды, м; φ – коэффициент ($\varphi \approx 1,0$).

Применительно к рассматриваемому примеру: объем фильтрации $W_{ф} = 3,1 - 2,0 = 1,1 \text{ м}^3$; удельный расход (при коэффициенте фильтрации супесчаных грунтов $k_{ф} = 0,5 \text{ м}/\text{сут}$) составит $q_{ф} = 1,5 \text{ м}^3/\text{сут}/\text{пог}/\text{м}$; продолжительность $t_{ф} = 0,4 \text{ сут}$.

Результаты и выводы.

Разработана модель расчета ИББ и выполнено моделирование. Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

- Если в продолжение стадий инфильтрации и фильтрации произойдет выпадение дождя, то это может явиться причиной переполнение объема аккумуляции ИББ и затопление проезжей части улицы.
- Полное заполнение объема впитывания ИББ означает подъем УГВ до уровня дна ИББ.
- При увеличении ширины ИББ увеличивается ширина полосы озеленения, а значит и ширины улицы в границах «красных линий», как итог – уменьшение коэффициента застройки.
- В примере расчета рассматривалась проезжая часть улицы минимальной ширины (две полосы движения по 3,5 м); при увеличении до четырех полос движения необходимая ширина ИББ возрастет в два раза.
- В примере расчета рассматривались условия г. Санкт-Петербург. В других регионах, где интенсивность выпадения осадков значительно выше, размеры и нагрузка на ИББ будет выше на 35–50%.
- С поверхности проезжей части улицы с дождевыми водами в ИББ будут поступать загрязняющие вещества во взвешенном и растворенном состоянии. Наличие взвешенных частиц создает предпосылки для формирования на поверхности ИББ слоя загрязняющих веществ, которые будут угнетать нормальное развитие растений. Инфильтрационные воды и растворенные в них вещества, продвигаясь по почвенно-грунтовому профилю, достигают зоны грунтовых вод и создают предпосылки для их загрязнения [6, 7].
- Условия эксплуатации уличной сети не допускает глубины залегания УГВ менее 1,2–1,8 м. Для обеспечения этого требования необходимо устройство сопутствующего дренажа между ИББ и проезжей частью.

На основании выполненного моделирования сформулированы условия применения ИББ:

- на глинистых и суглинистых грунтах не эффективно и не обосновано, так как процесс инфильтрации в этих грунтах практически отсутствует (на песчаных грунтах и легких суглинках – возможно);
- с увеличением глубины залегания УГВ под дном ИББ (минимально 1,0–1,5 м) эффективность увеличивается;
- с увеличением уклонов территории и водосборной площади увеличивается сложность конструкции ИББ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. – М.: Минстрой России, 2019. – 165 с.
2. Дюенина А.К., Криулин К.Н. Инфильтрационные тоннели в искусственной экосистеме городских улиц // Сборник материалов Всероссийской конференции. Часть 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 134–137.
3. Бабанина А.И., Криулин К.Н. Расчет конструкции дождевого сада // Неделя науки ИСИ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2021, No 1. – С. 328–330.
4. Китаева Е.С., Криулин, К.Н. Оценка эффективности и условий применения инфильтрационных колодцев, как элементов искусственной экосистемы городских улиц // Материалы ХСIV научной конференции, Казань, 2025. – С.17–21.
5. Криулин К.Н., Дренажные системы в ландшафтном и коттеджном строительстве. – СПб.: Изд-во ООО «НП-Принт», 2014.
6. Крылова И.Ю. Моделирование гидрологических характеристик почвы / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 277–279. – EDN QVZPAN.
7. Информационное обеспечение расчета динамики почвенной влаги / Г.А. Бернштейн, Б.Г. Заславский, А.Л. Сариев, В.В. Терлеев // Почвенные условия и эффективность применения удобрений в Западной Сибири. – Омск: ОмСХИ, 1988. – С. 101–107. – EDN PXGGAJ.

УЧЕТ ФАКТОРА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

В настоящее время *актуальна задача* защиты зданий, сооружений и территорий от подземных вод [1]. Одним из методов борьбы с подтоплением является установка дренажных систем, способствующих понижению уровня грунтовых вод (ГВ) [2]. После окончания устройства системы и ее запуска принято выделять два режима работы: стационарный (установившийся режим движения ГВ) и нестационарный (неустановившийся, начальный). При начальном режиме работы дренажа происходит постепенное изменение положения грунтовых вод ГВ от начального (существовавшего до начала строительства) до расчетного (проектного), то есть нестационарный режим плавно становится стационарным.

Традиционно, в реальном проектировании редко рассчитываются параметры неустановившегося режима. Более того, в научно-методической литературе его изучению уделяется значительно меньше внимания, чем установившемуся [3]. Однако, кроме повышенной нагрузки на дренажную систему в начальный период работы, которая может привести к нарушению нормальных условий эксплуатации, при слишком раннем начале строительства сооружения над дренажом, могут возникнуть и другие неблагоприятные последствия.

Теоретически возможно интенсивное развитие суффозии – выноса частиц грунта подземными водами, – что приводит к негативным последствиям, например, к снижению устойчивости основания объекта строительства, для которого устанавливалась дренажная система. Также возможна осадка основания вследствие деформации земной поверхности [4]. С другой стороны, необоснованное и слишком длительное ожидание перед началом строительства – нерентабельно, поскольку любой процесс реального строительства строго завязан на календарном плане, и при его несоблюдении все участники понесут убытки. Кроме того, поскольку параметры дренажных систем рассчитываются на установившийся режим движения ГВ, возможно полное затопление котлована, так как расход жидкости при нестационарном режиме может в 10–15 раз превосходить расход при стационарном режиме [3]. В сложившихся условиях производители строительных будут вынуждены затрачивать дополнительное время на откачку воды насосами, ожидать наступления стационарного режима, только после этого начинать работы по возведению строительного объекта.

В таком случае возникает вопрос: через какое время после установки дренажа возможно начало возведения строительного объекта? О необходимости определения времени осушения также упоминалось в [5].

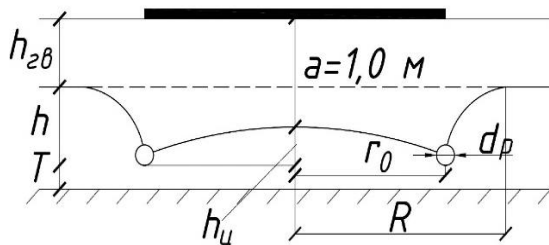


Рис. 1. Расчетная схема кольцевого дренажа

Ответ на данный вопрос дает расчет параметров именно нестационарного режима. Целью работы является рассмотрение времени осушения как фактора, влияющего на сроки строительства.

Рассмотрим проектирование дренажа для открытого плоскостного спортивного сооружения (ОПСС) в рамках разработки дренажной системы для коттеджного поселка. В качестве исходных данных примем, что поселок находится в Ленинградской области на

суглинистых грунтах; размеры ОПСС – 75×35 м; покрытие – водонепроницаемое; уровень ГВ достигает поверхности. В [6] доказано, что применение кольцевого дренажа для ОПСС выгоднее и целесообразнее традиционного, используемого систематического при сохранении требуемого уровня осушения.

Расчетная схема кольцевого дренажа представлена на рисунке 1, где $h_{зб}$ – глубина залегания пониженного уровня ГВ; h – глубина заложения дрен под уровнем ГВ; T – высота залегания дрен над водоупором; a – норма осушения (принимается равной 1 м); $h_{ц}$ – высота подъема проектного уровня ГВ по центру кольцевого дренажа; d_p – расчетный диаметр дрен; r_0 и R – соответственно приведенный радиус и стационарный радиус депрессии дренажной системы:

$$r_0 = \sqrt{AB/\pi}; R = r_0 + 2h \sqrt{(k(h + T))}, \quad (1)$$

где A, B – геометрические размеры ОПСС; k – коэффициент фильтрации (равен 0,3 м/сут. для суглинков).

Тогда, согласно (1):

$$r_0 = \sqrt{75 \cdot 35/\pi} = 28,9 \text{ м}; R = 28,9 + 2 \cdot 1,45 \cdot \sqrt{(0,3 \cdot (1,45 + 3,55))} = 32,45 \text{ м}.$$

Рассмотрим неустановившийся режим работы данного дренажа. Основным расчетным параметром является радиус депрессии, изменяющийся с течением времени. В [7] выполнен ретроспективный анализ способов определения радиуса кривой депрессии R и его формирования во времени. Соответственно, для кольцевого дренажа применима формула (2) И.П. Кусакина [8]:

$$R_t = 2\sqrt{kHt/\mu}, \quad (2)$$

где R_t – нестационарный радиус депрессии дренажной системы; H – высота непониженного уровня подземных вод (поскольку уровень ГВ достигает поверхности, $H = 5$ м); t – время, прошедшее с момента запуска дренажной системы; μ – коэффициент водоотдачи грунта (для суглинков принимается равным 0,1).

Результаты

Расчет производился по методу последовательной смены стационарных состояний, более подробно описанном в [9]. Результаты расчета согласно (2) приведены в таблице 1. График изменения радиуса депрессии во времени изображен на рисунке 2.

Таблица 1 – Формирование радиуса депрессии кольцевого дренажа во времени

Величина радиуса депрессии в зависимости от времени работы дренажа										
	Время T , ч									
	1	2	6	12	24 (1 сут.)	48 (2 сут.)	120 (5 сут.)	240 (10 сут.)	360 (15 сут.)	480 (20 сут.)
R_t , м	1,58	2,24	3,87	5,48	7,75	10,95	17,32	24,49	30	34,64

Стоит отметить, что процесс принято считать установившимся в момент, когда нестационарный радиус депрессии становится равен стационарному. Поскольку в данном примере установившийся радиус депрессии равняется 32,45 м, постольку с использованием данных из таблицы 1 можно сказать, что процесс стабилизируется только на 17–18-е сутки; даже в случае учета погрешности строительных расчетов (равной 5%) водопонижение будет обеспечено лишь на пятнадцатые сутки после начала работы дренажной системы. Соответственно, минимальный требуемый период (обеспечивающий безопасность производимых работ) между запуском дренажной системы и началом строительства сооружения над ним в данном случае составил чуть более двух недель.

Полученные результаты необходимо учитывать при составлении календарного плана строительства для рационального распределения бригад и уменьшения издержек.

Выводы

В работе проанализировано динамическое воздействие дренажа на грунтовые воды и доказана необходимость учета фактора неуставившегося режима движения грунтовых вод. Конечно, данным фактором можно пренебречь при устройстве неглубоких котлованов или при строительстве на грунтах с низкими коэффициентами фильтрации и водоотдачи (суглинки), поскольку возникновение негативных воздействий маловероятно.

Тем не менее, игнорирование вышеупомянутого аспекта при разработке глубоких котлованов и возведении сооружений на грунтах с высокими коэффициентами фильтрации и водоотдачи (пески) может привести к весьма неблагоприятным последствиям, в том числе – к увеличению сроков строительства вследствие полного затопления. В частности, данная ситуация актуальна для намывных территорий в г. Санкт-Петербурге.

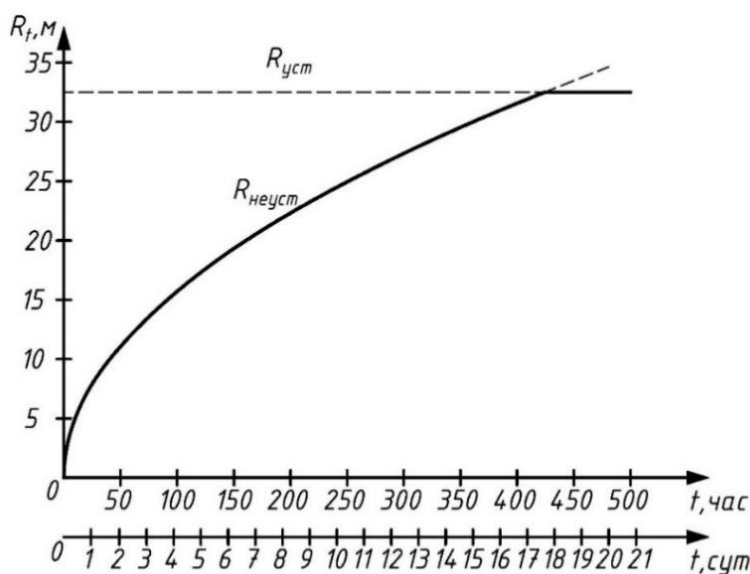


Рис. 2. Изменение радиуса депрессии во времени

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.
2. Криулин К.Н. Дренажные системы. Благоустройство территорий. Санкт-Петербург: АНО "Зеленая стрела", 2021. 138 с.
3. Уткин К.Л., Криулин К. Н. Обзор и анализ методов определения параметров дренажных систем с учетом неуставившегося режима движения грунтовых вод // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки, 2024. №1. Т. 1. С. 64–67.
4. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.
5. Абрамов С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. – М.: Стройиздат, 1973. 240 с.
6. Криулин К.Н., Уткин К.Л. Кольцевой дренаж открытых плоскостных сооружений. Обоснование параметров. Неделя науки ИСИ. Сборник материалов всероссийской конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 237–239.
7. Уткин К.Л., Уткина О.Н. Вычисление радиуса влияния с заданной погрешностью при неуставившемся режиме фильтрации. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3 (50). С. 592–607.
8. Кусакин И.П. Искусственное понижение уровня грунтовых вод. Москва; Ленинград: ОНТИ. Глав. ред. строит. литературы, 1935. 247 с.
9. Уткин К.Л., Криулин К.Н., Дементьева К.О. О неуставившемся режиме движения грунтовых вод при формировании кривой депрессии в начальный период работы дренажа. Неделя науки ИСИ. Сборник материалов всероссийской конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 231–233.

ИНТЕРЬЕРНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ
«ФОНТАН С СИФОНАМИ»

Цель исследования: анализ конструктивных и эксплуатационных характеристик интерьерного динамического ресурсосберегающего «фонтана с сифонами».

Создание водных объектов, в том числе – фонтанов, значительно повышает эстетический потенциал и комфорт условий для отдыха в интерьерах общественных пространств. Наиболее распространенными являются стационарные статичные фонтаны, у которых отсутствует динамика очертания струй [1]. Динамические фонтаны (с изменением очертания струй) требуют сложной системы управления. Насосное оборудование является дорогим, а его эксплуатация энергозатратным.

В работе рассматривается схема компактного динамического ресурсосберегающего нестационарного фонтана с использованием сифонов. Схема конструкция «фонтана с сифонами» представлена на рис. 1. Фонтан состоит из трех-пяти открытых водонепроницаемых лотков, которые могут наполняться водой. Лотки располагаются вертикально друг над другом. Нижний лоток находится непосредственно на поверхности пола. В емкости этого лотка установлен насос-автомат: включение происходит при достижении уровня воды максимального расчетного уровня, отключение при опорожнении лотка. Верхний лоток оборудован напорным распределяющим трубопроводом с отверстиями-соплами (через 7–10 см), направленными вертикально вверх. Один конец этого трубопровода закрыт, к входному сечению подключена напорная линия от насоса, установленного в нижнем лотке. При работе насоса над соплами образуются вертикальные струи (высотой 0,1–0,3 м), падающие в емкость верхнего лотка. Верхний и нижний лоток имеют одинаковый объем. Средние лотки по конструкции незначительно отличаются друг от друга. Их количество (две-четыре штуки), высота расположения друг над другом и размеры лотков могут варьировать в соответствии с конкретной задачей. В верхнем и средних лотках уставлены сифоны (10–15 штук в каждом лотке), выполненные из металлических или полиэтиленовых трубочек небольшого диаметра (0,5–2,0 см). Через эти сифоны вода поочередно перетекает из верхнего лотка в нижерасположенные средние лотки, а также в нижний лоток. Выходные сечение трубок сифонов располагается над уровнем воды в нижерасположенном лотке на высоте 5–10 см (что определяет гидравлическую расчетную схему как «истечение в атмосферу»). При этом истечение воды из сифона сопровождается образованием динамических нисходящих струй и переменного звукового фона «журчание струй».

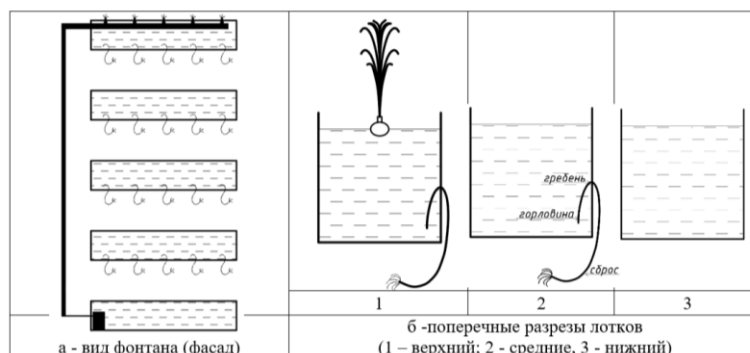


Рис. 1. Схема конструкции фонтана

Расход сифона определяют по формуле [2] $q = m\omega(2gZ)^{0,5}$, где $\omega = 0,785d^2$ – площадь поперечного сечения трубки сифона, м; d – диаметр трубки сифона, м; Z – перепад уровней воды между входом и выходом сифона, м; $m = 1/(1 + \Sigma\zeta)^{0,5}$ – коэффициент расхода сифона при «истечении в атмосферу»; $\Sigma\zeta$ – сумма потерь напора на вход в сифон и на поворот (учитывая малые размеры сифона, можно принять $m \approx 0,8$). Сифон состоит из трех частей: горловина (всасывающая часть, где движение воды происходит вверх), гребень (верхняя точка сифона, где вода начинает движение вниз) и сброс (отводящий участок). В нижней части сброса целесообразно устройство «водяного замка», улучшающего условия зарядки сифона (реализуется как изгиб трубки). Это позволяет придать струе воды при выходе из сифона направление вверх. Включение и выключение сифона в работу зависит от уровня воды в лотке (УВЛ): включается после того, как УВЛ превысит отметку гребня сифона (ГС); выключается после того, как УВЛ снизится ниже отметки входа в горловину сифона (ВГС).

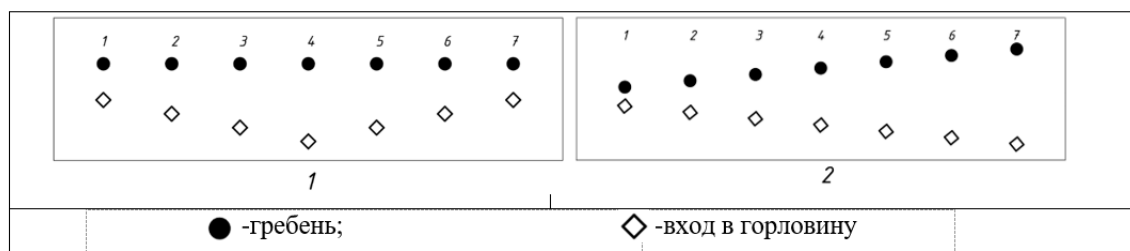


Рис. 2. Схемы расположения сифонов в верхнем и средних лотках

На рис. 2 для лотка с семью сифонами представлены примеры схем взаимного расположения ГС и ВГС, что определяет порядок включения и выключения сифонов:

- Схема 1. Расположение сифонов: уровень ГС у всех сифонов одинаков; уровень ВГС различный (самый высокий уровень сифоны №1 и 7, сифоны №2 и №6 – ниже, сифоны №3 и №5 – еще ниже, сифон №4 – самый нижний). Последовательность работы сифонов: все сифоны включаются одновременно при превышении УВЛ уровня ГС; выключение – сифоны №1 и №7, затем сифоны №2 и №6, потом сифоны №3 и №5, завершает сифон №4.
- Схема 2. Расположение сифонов; уровень ГС понижается от №1 до №7; уровень ВГС уровень ГС повышается от №1 до №7. Последовательность работы сифонов: сифоны включаются поочередно от №1 до №7; выключение – поочередно от №1 до №7.

Результаты.

Произведена оценка динамики работы «фонтана с сифонами» на примере конструкции:

- количество лотков – четыре (верхний, нижний и два средних);
- размеры лотков – длина 1,5 м; ширина 0,3 м; высота 0,2 м; высота между лотками 0,2 м; объем 90 л.
- схема расположения и количество сифонов:
 - верхний лоток – по типу схемы 1 – 15 сифонов;
 - средний лоток №1 – по типу схемы 2 – 12 сифонов;
 - средний лоток №2 – по типу схемы 2 – с «зеркальным» расположением сифонов, 10 сифонов;
- продолжительность одного цикла приблизительно 12 мин.:
 - наполнение верхнего лотка в виде семи вертикальных струй над напорным трубопроводом с семью соплами приблизительно 1 мин. (при производительности насоса 100 л/мин.);
 - переток из верхнего лотка в средний лоток №1 в виде 15 струй $\approx 2,5$ мин.;
 - переток из среднего лотка №1 в средний лоток №2 в виде 12 струй $\approx 3,5$ мин.;
 - переток из среднего лотка №2 в нижний лоток в виде 10 струй $\approx 4,5$ мин.

Рассмотренный пример подтверждает:

- «динамичность» фонтана – за период одного цикла (12 мин.) происходит изменение количества, расхода и расположения работающих струй; «динамичность» фонтана повышается при увеличении количества и диаметров сифонов;
- экономичность фонтана – потребление электроэнергии – 5 мин. в 1 час (при мощности насоса 200 Вт).
- компактность – необходимая площадь $\approx 2,5 \text{ м}^2$;
- «нестационарность» – вес (с водой) не более 150 кг, что обуславливает простоту перемещения.

Выводы

В условиях внутренних интерьеров применение фонтана возможно при организации пространства «фуд-кортов» в виде «зеленых комнат». Например, три фонтана устанавливаются, образуя «П-образную» стенку. Внутри располагается стол и стулья. Таким образом достигается локализация посадочных мест; происходит увлажнение воздуха и звуковая локализация. Оформление фонтана подсветкой, а также лианами и вьющимися растениями значительно повысит его эстетический потенциал. Возможно сезонное использование фонтана при организации «зеленых комнат» в парках на площадках «тихого отдыха» и открытых «фуд-кортов» [3–5]. При этом демонтаж и складирование на осенне-зимний период реализуется достаточно просто и малозатратно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чабина Е.А., Криулин К.Н. Элементы архитектурно-планировочной композиции городских парков: СПбПУ URL:<https://elibr.spbstu.ru/dl/5/tr/2022/tr22> Текст: электронный – Санкт-Петербург, 2022
2. Чугаев Р.Р. Гидравлика. 4-е изд., Л.: Энергоиздат, 1982.
3. Фонтаны: Описание, конструкции, расчет / П.А. Спышинов. – Москва : Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1950. – 172 с., ил.
4. Плотнокова Т.Ф. Фонтаны, водопады, каскады и пруды своими руками. – М.: ОлмаМедиаГрупп/Просвещение, 2011, 224 с.
5. Тетиор А.Н. Архитектурно-строительная экология – новая наука / А.Н. Тетиор // Архитектура и строительство Москвы. – 2010. – Т. 550, № 2. – С. 30-39. – EDN MEGMJV.

УДК 712.6: 69.003.12

А.А. Сеницких, К.Н. Криулин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК

Цель исследования – финансовое сравнение подпорных стенок трех типов (прямоугольного профиля, углового профиля с консолью в сторону подпора грунта и углового профиля с двумя консолями) с различными параметрами. *Задачи исследования* – выявление зависимости стоимости от размеров подпорной стенки и ее вида, сравнение, систематизация полученных результатов и выводы на основе расчетов.

Подпорные стенки являются основным инструментом террасирования территорий городской застройки и парков. При этом могут быть использованы различные конструкции (габионы, сборные и монолитные), но наибольшее распространение получили монолитные железобетонные гравитационные подпорные стены (МЖБПС).

В [1] рассмотрены три типа малогабаритных МЖБПС: прямоугольные, одноуголковые и двухуголковые. При выполнении условия устойчивости (в диапазоне высот от 1,7 до 2,7 м) определены геометрические параметры; предложены рекомендации по выбору типа стенки по критерию объем бетона.

В настоящей работе с учетом результатов [1] рассматривается выбор конструкции МЖБГПС на основании экономического сравнения (по стоимости основных материалов). Для сравнения финансового аспекта возведения разных видов подпорных стенок использовался практический метод – расчет.

Расчет стоимости в работе производится по основным укрупненным показателям: подсчитывается только объем бетона и масса арматурной сетки (без учета прочих затрат) на основе видов и размеров подпорных стенок источника [1]. Опалубка в расчете не учитывается, так как она является инвентарной (используется многократно для возведения однотипных конструкций).

Объем бетона определяется из итоговой таблицы источника [1]. Масса арматуры определяется с учетом схемы армирования каждого типа стенки. Основным источником для расчета стоимости являются данные, полученные из Государственных элементных сметных норм (далее – ГЭСН) [2], а также Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (далее – ФГИС ЦС) [3].

Таблица 1 – Итоговая таблица стоимостей для видов подпорных стенок

Высота, м	Стоимость на погонный метр, тыс. руб.								
	Прямоугольный профиль (П)			Угловой профиль с консолью в сторону верхней террасы (У-1)			Угловой профиль с двумя консолями (У-2)		
	Стоимость бетона	Стоимость арматуры	Стоимость общая	Стоимость бетона	Стоимость арматуры	Стоимость общая	Стоимость бетон	Стоимость арматуры	Стоимость общая
1,7	3,78	0,90	4,68						
1,8	5,01	1,35	6,36						
1,9	5,29	1,36	6,64						
2,0	6,68	1,49	8,17	3,90	1,36	5,25			
2,1	8,18	1,58	9,76	4,29	1,44	5,72			
				5,34	1,48	6,82			
2,2				4,56	1,50	6,06			
				5,68	1,54	7,21			
				6,79	1,91	8,70			
2,3				4,84	1,75	6,59	4,51	1,57	6,07
				6,01	1,70	7,71	4,56	1,68	6,25
2,4				6,34	1,76	8,10	4,90	1,84	6,74
							4,90	1,75	6,64
2,5							5,06	1,87	6,93
							5,06	1,77	6,84
2,6							5,45	1,95	7,41
							5,40	1,84	7,24
2,7							5,62	1,98	7,60
							5,56	1,87	7,43

В зависимости от толщины расчетной подпорной стенки выбирается соответствующий ГЭСН: Устройство стен подвалов и подпорных стен железобетонных высотой: до 3 м, толщиной до 300 мм – 100 м³ (ГЭСН 06-04-001-03), Устройство стен подвалов и подпорных стен железобетонных высотой: до 3 м, толщиной до 500 мм – 100 м³ (ГЭСН 06-04-001-04) или

Устройство стен подвалов и подпорных стен железобетонных высотой: до 3 м, толщиной до 1000 мм – 100 м³ (ГЭСН 06-04-001-05).

Сметные цены и индексы изменения сметной стоимости строительства выбираются в зависимости от субъекта Российской Федерации, в данном случае – Санкт-Петербурга. Временным отрезком является IV квартал 2024 г. В расчете применяется ресурсно-индексный метод [4]. Для удобства и точности все расчеты производятся в Microsoft Excel. В ГЭСН приведены данные для объема, равного 100 м³, поэтому необходимо произвести перерасчет для конкретного объема рассчитываемой подпорной стенки. Поскольку за основу берутся данные из Федеральной сметно-нормативной базы за 2022 г., постольку необходимо привести базисную стоимость к текущей стоимости с использованием индексов из ФГИС ЦС. Для получения итоговой стоимости для конкретной подпорной стенки умножаем полученное ранее количество на сметную стоимость [5–7].

Результаты

Итоговые стоимости по каждому виду подпорных стенок сведены в таблицу 1. Наибольший скачок стоимости наблюдается для подпорных стенок с прямоугольным профилем; самый плавный рост цен – у подпорных стенок углового профиля с двумя консолями.

Выводы:

Финансово выгодно использование в ландшафтном решении подпорных стенок углового профиля с двумя консолями, так как изменения их стоимости при изменении высоты (по сравнению с подпорными стенками двух других типов) – минимальны.

Самыми экономически невыгодными являются подпорные стенки углового профиля с консолью в сторону верхней террасы, поскольку, достигая определенной границы, подпорные стенки прямоугольного профиля становятся слишком дорогими: следовательно, их выгоднее заменить на двухуголковые подпорные стенки, минуя использование одноуголкового типа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Логинова И.И. Расчет малогабаритных подпорных стен в ландшафтном строительстве [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа магистра: 08.04.01 – Строительство; 08.04.01_17 – Городское строительство и хозяйство / И.И. Логинова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт; науч. рук. К.Н. Криулин. Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1,36 Мб). Санкт-Петербург, 2018. Загл. с титул. экрана. Доступ по паролю из сети Интернет (чтение, печать, копирование). Adobe Acrobat Reader 7.0. URL: <http://elibr.spbstu.ru/dl/2/v18-1209.pdf> (дата обращения 07.02.2025).
2. Архив сметно-нормативных баз [Электронный ресурс]. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/tsenoobrazovanie/arkhiv-smetno-normativnykh-baz/> (дата обращения 07.02.2025).
3. Федеральная государственная информационная система ценообразования в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <https://fgiscs.minstroyrf.ru> (дата обращения 07.02.2025).
4. Письмо Министра России от 25.11.2024 № 69894-ИФ/09 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://fgiscs.minstroyrf.ru/api/values/ViewFileContent/7b11abc5-2fd4-48f5-a20c-ad57b07ca88f/25.11.2024_69894-ИФ_09.pdf (дата обращения 07.02.2025).
5. ГЭСН 06-04-001-03 Устройство стен подвалов и подпорных стен железобетонных высотой: до 3 м, толщиной до 300 мм – 100 м³ [Электронный ресурс]. URL: <https://cs.smetnoedelo.ru/gesn2/gesn06-04-001-03.html> (дата обращения 07.02.2025).
6. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства / ЦНИИПромзданий Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984 – 117 с.
7. Армирование подпорных стен [Электронный ресурс]. URL: <https://геопрогноз.рф/?p=5022> (дата обращения 07.02.2025).

A DATA-DRIVEN APPROACH TO ENHANCING BUILDING ACCESSIBILITY
FOR DISABLED INDIVIDUALS IN SYRIA

The objective of this work is to develop a data-driven mathematical model aimed at improving the accessibility of buildings for persons with disabilities. The analysis revealed that currently, there is a near absence of official documents in Syria containing norms and regulations related to the design of residential and public buildings adapted to the needs of persons with disabilities.

At the same time, in the post-war period, the issue of ensuring inclusivity for persons with disabilities and individuals with limited mobility has become one of the most pressing challenges and requires urgent resolution. According to official statistics, more than 2.1 million people with disabilities live in Syria [1, 2]. However, not all public buildings provide even the minimum level of comfort for such people, highlighting an urgent need for accessible building environments. The primary international document defining the rights of persons with disabilities worldwide is the Convention on the Rights of Persons with Disabilities, adopted by the United Nations General Assembly on December 13, 2006. In addition, many countries have developed methodologies for designing an accessible environment, and this experience should be used in Syria, considering the specifics of local design standards and culture.

The core idea involves analyzing: the experience of designing accessible environments in other countries and adapting the norms and regulations for Syria. Cultural specificity can be considered when selecting the countries to be included in the analysis sample. This is a highly labor-intensive process that requires proficiency in multiple languages. At the same time, Syria is not the only country for which this issue is relevant.

This paper presents a novel data-driven, rule-based model that analyzes building codes and accessibility standards from various countries, including India [3], Jordan [4, 5], Iraq [6], Lebanon [7], and the USA [8], to recommend appropriate accessibility features for buildings in Syria. This Python-based approach streamlines the typically labor-intensive process of cross-cultural comparison and adaptation of accessibility standards.

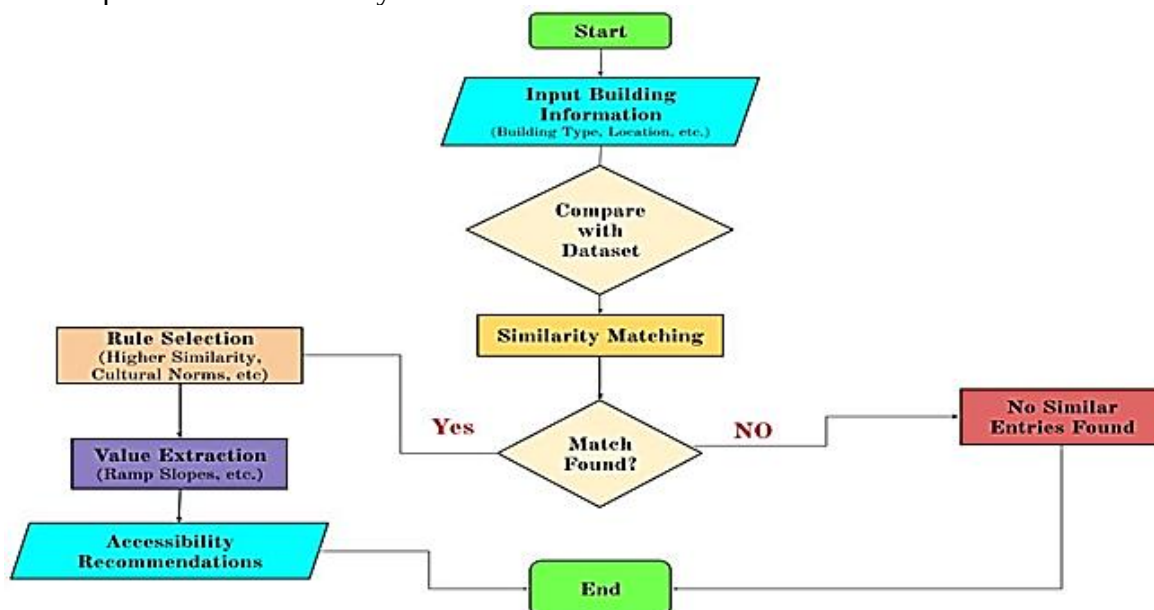


Fig. 1. Flowchart of the Building Code Approximation Algorithm

Results: The model considers a wide range of building characteristics and accessibility features, including building type, occupancy, ramp specifications, elevator specifications, accessible toilet dimensions, signage, parking specifications, climate zone, seismic zone, and cultural norms. The model employs a rule-based algorithm that approximates building codes by identifying similar entries in the dataset based on these parameters. The algorithm (fig. 1) prioritizes entries from countries with similar cultural norms and higher disability rights awareness.

The model generates (fig. 2, 3) a set of accessibility recommendations tailored to the specific building and its context. These recommendations cover various aspects of accessibility, including ramps, elevators, toilets, signage, and parking. The model's output can be used by architects, builders, and policymakers to design and construct more accessible buildings in Syria, promoting inclusivity and improving the quality of life for people with disabilities.

Location	Building Type	Building Occupancy	Ramp Slope (Average)	Ramp Length	Ramp Width
Iraq	Residential	120	01:20	8 m	0.9 m
Jordan	Commercial/ Residential/ Public	100	01:12	7 m	0.9 m
Lebanon	Public	170	01:12	6 m	0.9 m
Saudi Arabia	Commercial	120	01:12	7 m	0.9 m
India	Public	160	01:12	6 m	0.9 m

Fig. 2. User Interface for Inputting Building Information

Final Building Code

Download CSV

Cultural Norms	Location	Building Type	Building Occupancy	Ramp Slope (Average)	Ramp Length	Ramp Width
Islam	Iraq	Residential	120	01:20	8 m	0.9 m
Christianity, Islam, Druze	Jordan	Commercial/ Residential/ Public	100	01:12	7 m	0.9 m
Islam	Lebanon	Public	170	01:12	6 m	0.9 m
Islam	Saudi Arabia	Commercial	120	01:12	7 m	0.9 m

Fig. 3. Generated Accessibility Recommendations

One of the significant challenges encountered during this project was the limited availability of accessible and up-to-date building codes and accessibility standards from various countries. This limited data availability restricted the scope of the analysis and highlights the need for greater international cooperation in sharing accessibility information. Despite these challenges, the developed Python model serves as a proof of concept, demonstrating the potential of data science as a tool to achieve the goal of creating a barrier-free environment for people with disabilities. By making this model open source, we aim to encourage further development and collaboration within the engineering community.

Conclusions: This project presents a novel approach to enhance building accessibility in Syria by leveraging data from various countries and adapting it to the local context. The use of a rule-based model and Python-based analysis allows for efficient processing of information and generation of tailored accessibility recommendations. This data-driven solution has the potential to significantly improve the lives of people with disabilities in Syria and can be adapted for use in other countries facing similar challenges.

REFERENCES:

1. Alhiraki O.A., Fahham O., Dubies H.A., Hatab J.A., & Ba'Ath M.E. (2022). Conflict-related excess mortality and disability in Northwest 1 Syria. *BMJ Global Health*, 7(5), e008820
2. Convention on the Rights of Persons with Disabilities, United Nations General Assembly, 2006.
3. Thompson, S. (2017). Disability in Syria. Institute of Development Studies.
4. Bureau of Indian Standards. (2016). National Building Code of India 2016 (Volume 1). New Delhi: Bureau of Indian Standards.
5. The National Building Law 2022 (Jordan).
6. Instruction for the Application of Building Codes 2017 (Jordan).
7. General Accessibility Guidelines 2017 Accessibility for the Disabled: A Design Manual for a Barrier-Free Environment (Lebanon).
8. U.S. Department of Justice. (2010). 2010 ADA Standards for Accessible Design.

УДК 712.4

Е.М. Скуртул, Ю.А. Леднова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕЛЕННОЙ КРОВЛИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Для современного строительства все более характерно явление интенсивной и уплотненной застройки, которое приводит к дефициту свободных территорий для создания зеленых зон, выступающих в качестве общественных пространств для отдыха горожан. В условиях стремительного расширения урбанизированных территорий, где приоритет отдается эффективному использованию каждого квадратного метра, доступных для озеленения площадей становится все меньше. Количество и качество зеленых природных зон в городской среде с классическими скверами, парками и иными зелеными зонами снижается.

В соответствии с Постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 21.06.2016 № 524 «О Правилах землепользования и застройки Санкт-Петербурга» [1] устойчивое развитие территории выступает приоритетным направлением в области градостроительства города. Одним из перспективных решений формирования природного каркаса в условиях урбанизации является создание зеленых кровель, что позволяет интегрировать природные элементы в конструкцию здания. Такой подход не только компенсирует нехватку озелененных территорий в урбанизированных районах, но и решает ряд важных экологических задач, таких как снижение теплового эффекта в городах, улучшение качества воздуха, повышение энергоэффективности зданий и управление дождевыми водами. Так, например, по данным

работы [2] внедрение озеленения крыш в Москве имеет потенциал преобразовать примерно 468 га, что сопоставимо с площадью четырех парков имени Горького.

Цель работы – сформировать ключевые принципы проектирования зеленых кровель в условиях города Санкт-Петербург.

Выделяют три основных типа зеленых кровель, каждый из которых имеет свои особенности и условия эксплуатации [3]: интенсивная, полуинтенсивная, экстенсивная. Интенсивная кровля характеризуется толстым слоем растительного субстрата (не менее 20 см), где реализуемы высокие посадки, такие как кустарники и небольшие деревья, образующие сад [4]. Полуинтенсивная кровля представляет собой сочетание технологий и растений интенсивного и экстенсивного типов. Для экстенсивной кровли характерна тонкая толщина субстрата (5–15 см) с низким уровнем посадок, таких как седум, мхи или газон. При данной технологии отсутствует возможность пребывания людей на крыше, но при этом не требуется высокого уровня обслуживания.

Главным аспектом при проектировании зеленой кровли выступает оценка ее воздействия на конструкцию здания, которая производится по результатам расчетов дополнительных нагрузок от веса субстрата и растительности, ветровой и снеговой нагрузки, веса техники и материала, складываемого на покрытии. Снеговые и ветровые нагрузки определяются по формулам, приведенным в [5], в зависимости от района строительства.

Для Санкт-Петербурга определен III снеговой район, то есть нормативный вес снегового покрова на 1 м² составляет 1,5 кПа; и II ветровой район, для которого нормативное значение ветрового давления принимается 0,3 кПа.

Дополнительная нагрузка напрямую зависит от номенклатуры растений и толщины требуемого субстрата. Пример расчета для субстрата «GRPro Intensive» для интенсивного типа кровли и «GRPro Extensive» для экстенсивного типа приведен в таблице 1 [6]. Вес почвенного слоя во влажном состоянии рассчитывается по формуле (1).

$$P = \gamma_c(1 + W)h, \quad (1)$$

где P – удельный вес почвы во влажном состоянии, кг/м²; γ_c – плотность сложения почвы, кг/м³; W – влажность почвы, % (или доли единицы), которую принимаем в расчете 40%; h – толщина слоя, м.

Таблица 1 – Сбор дополнительных нагрузок

Тип растений	Тип субстрата; γ_c , кг/м ³	Слой субстрата, h , м	Вес почвенного слоя во влажном состоянии, P , кг/м ²
Почвопокровные	GRPro Extensive; 800	0,1	110
Злаковые/многолетние травянистые	GRPro Intensive; 1000	0,2-0,3	280-420
Кустарники	GRPro Intensive; 1000	0,3-0,4	420-560
Деревья	GRPro Intensive; 1000	от 0,6	от 840

Климат в Санкт-Петербурге умеренно-континентальный и при осуществлении подбора растений необходимо руководствоваться такими факторами, как температурные колебания, высокая влажность (в среднем за год около 70%), частые осадки (среднегодовая сумма около 700 мм). Исходя из данных особенностей были подобраны растения, представленные в таблице 2.

При зонировании кровли и посадке растений необходимо оценить ветровые потоки (рис. 1), которые влияют на устойчивость растений и безопасность пребывания людей в случае размещения на высоких этажах. Для Санкт-Петербурга наблюдается преобладание западного и юго-западного ветров.

Таблица 2 – Подбор растений [7]

Растение	Экстенсивная кровля	Полуинтенсивная кровля	Интенсивная кровля
Седум (<i>Sedum</i>)	+	+	+
Мох (<i>Bryophyta</i>)	+	+	+
Тимьян ползучий (<i>Thymus serpyllum</i>)	+	+	+
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i>)	+	+	+
Мятлик (<i>Poa</i>)	+	+	+
Барбарис Тунберга (<i>Berberis thunbergii</i>)		+	+
Можжевельник (<i>Juniperus</i>)		+	+
Спирея (<i>Spiraea</i>)		+	+
Вереск (<i>Calluna</i>)	+	+	+
Календула (<i>Calendula</i>)		+	+
Нивяник (<i>Leucanthemum</i>)		+	+
Гвоздика (<i>Dianthus</i>)		+	+
Рудбекия (<i>Rudbeckia</i>)		+	+

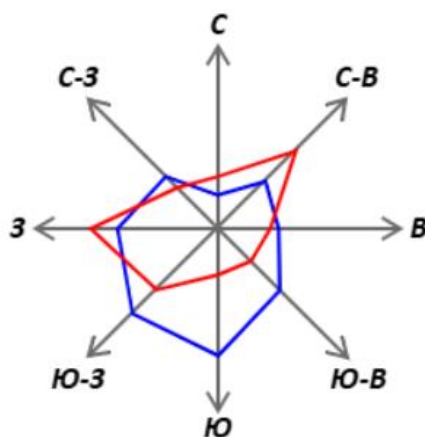


Рис. 1. Роза ветров: синее – январь, красное – июль (построена с помощью [8]).

В зависимости от ориентации кровли по сторонам света, конструктива самого здания и высоты расположения кровли возможен вариант устройства барьера. Искусственными барьерами могут быть: сетчатые экраны, которые значительно уменьшают силу ветра (при этом пропуская потоки воздуха); или панели из стекла или пластика (полностью блокирующие ветровой поток). Также роль ветрозащитных экранов могут выполнять плотные кроны кустарников.

Существует также необходимость обеспечения эффективного дренажа для избегания перегрузки кровли накопленными осадками, что может привести к серьезным повреждениям конструкций. В качестве дренажного слоя может выступать керамзит средней или крупной фракции или специальные маты (в зависимости от конкретных условий).

Результаты и выводы. В результате проведенной работы отмечается возможность обустройства зеленых кровель с учетом дополнительных нагрузок и климатических условий. В условиях Санкт-Петербурга необходимо учитывать такие климатические особенности, как влажность, низкие температуры и сильные ветра. Необходим рациональный выбор типа кровли, учет сторон света при проектировании, анализ преобладающих ветров, расчет дополнительных нагрузок для обеспечения надежности конструкции, в том числе – устройство эффективной дренажной системы для отвода осадков, подбор и размещение растений. Следование этим ключевым принципам позволит создать долговечные зеленые кровли, адаптированные к специфике местного климата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 21.06.2016 № 524 «О Правилах землепользования и застройки Санкт-Петербурга».
2. Баранов П.М. Сохранение зеленого каркаса города в условиях высокой плотности застройки //Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – 2022. – С. 80–85.
3. ГОСТ Р 58875-2020 "Зеленые" стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования.
4. Lednova Yu.A., Stolyarov O.N., Shilin M.B. Urban development and climate change: textbook. – St.Petersburg : POLYTECH-PRESS, 2022. – 290 p.
5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
6. SayanGroup [Электронный ресурс]. – URL: <https://sayangroup.ru/krovelnyi-substrat-grpro> (Дата обращения: 18.02.2025).
7. Фёдорова Т.А. и др. Технологические принципы подбора растений и инженерные особенности озеленения кровель европейской части России //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2013. – №. 5. – С. 105–112.
8. Построение розы ветров для городов России [Электронный ресурс]. – URL: https://stroydocs.com/info/e_veter (Дата обращения: 18.02.2025).

УДК 691.3

М.П. Шарагина, Ю.А. Леднова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕР-КОМПОЗИТНОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ЗАПОЛЯРЬЯ

Благоустройство территории является неотъемлемой частью любого города и включает в себя различные элементы, одним из которых является организация пешеходных дорожек. В федеральных и региональных нормативных документах по благоустройству прописаны к ним следующие рекомендации: пешеходные дорожки должны отвечать требованиям безопасности и комфорта; покрытие любой площадки необходимо делать шероховатым, не скользящим; покрытия должны быть устойчивыми к климатическим воздействиям.

При организации благоустройства городской среды Заполярных регионов необходимо учитывать специфические природно-климатические условия, такие как суровый климат, характеризующийся продолжительной зимой и коротким летом, большие амплитуды среднесуточной температуры воздуха, сильные ветра, низкие температуры в холодное время года. Указанные особенности будут влиять на тип покрытия поверхностей.

Цель работы – выявить оптимальный вариант тротуарной плитки для арктических городов.

Для достижения поставленной цели были изучены климат и природа Заполярья, федеральные нормативные документы по благоустройству; произведен анализ региональных нормативных документов для городов Мурманской области, Чукотского автономного округа, Красноярского края, Ненецкого автономного округа [1–4]; проведено сравнение двух видов тротуарной плитки (полимер-композитной и цементно-песчаной); приведены основные характеристики выбранных для сравнения покрытий, достоинства, недостатки и возможность их использования в условиях Заполярья, а именно – в Мурманской области. Согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 в Мурманске составляет «минус 33°C»; в теплое время года температура воздуха обеспеченностью 0,95 – «плюс 16°C»; максимальная средняя суточная амплитуда температуры воздуха – «8,3°C»; преобладающее направление ветра за июнь – август – южное, за декабрь – февраль – северное.

Цементно-песчаная плитка – самый распространенный материал для мощения дорожек – изготавливается из воды, цемента, песка и щебня, которые смешивают в необходимых пропорциях и при необходимости добавляются красящие пигменты. Полимер-композитная тротуарная плитка – современный тип тротуарных покрытий – производится из песка, красителей и связующих компонентов (полимеров).

Важной особенностью Заполярных регионов является морозное пучение грунта, которое приводит к деформации покрытия. Для предотвращения указанного воздействия при использовании тротуарной плитки требуется правильное устройство дренажного несущего слоя. Состав и толщина дренажного слоя при использовании цементно-песчаной и полимер-композитной тротуарной плитки будет различными. Базовые схемы укладки приводятся на рис. 1 и 2 для цементно-песчаной и полимер-композитной тротуарной плиток. соответственно.

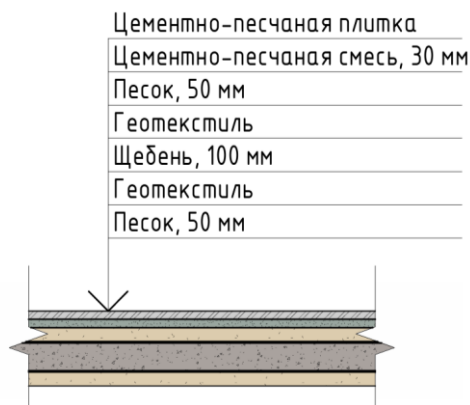


Рис. 1. Схема укладки цементно-песчаной плитки



Рис. 2. Схема укладки полимер-композитной тротуарной плитки

Результаты: Рассчитаны стоимости устройства дренажного слоя для укладки цементно-песчаной и полимер-композитной тротуарной плиток. В первом случае стоимость квадратного метра составила 376,85 руб., во втором – 247 руб. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика полимер-композитной и цементно-песчаной плитки [5–9].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика полимер-композитной и цементно-песчаной тротуарной плитки

Характеристика	Полимер-композитная плитка	Цементно-песчаная плитка
Массовое водопоглощение	0,15%	6%
Морозостойкость	F500	F300
Истираемость, г/см ²	0,05–0,1	0,3–0,4
Срок эксплуатации, лет	50	15
Прочность при сжатии, МПа	17–18	35
Прочность при изгибе, МПа	17–25	6–7
Средняя цена за м ² , руб.	1 600	900
Достоинства	Легкий вес; подвержена переработке; не выцветает; разнообразие форм и размеров; высокая скорость монтажа; не подвержена коррозии	Низкая стоимость; безопасна для окружающей среды; огнестойка
Недостатки	Высокая стоимость; горючесть; изменчивость механических свойств при низких температурах; опасность для окружающей среды	Подвержена коррозии; большой вес; требуется гидрофобизация

По результатам исследования можно сделать следующие *выводы*:

1. Стоимость системы дренажного слоя для предотвращения морозного пучения у полимер-композитной тротуарной плитки за квадратный метр меньше, чем у цементно-песчаной.

2. Полимер-композитная плитка имеет ряд преимуществ для природно-климатических условий Заполярья по сравнению с цементно-песчаной:

- экономически рациональна;
- морозостойка (выдерживает 500 циклов замораживания и оттаивания в насыщенном состоянии водой без потери своих первоначальных характеристик);
- низкая истираемость;
- долгий срок службы;
- способность выдерживать высокие нагрузки, в том числе нагрузки от пожарной техники (0,45 МПа согласно п. 9 СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия») [10].

3. Полимер-композитная плитка – проста в монтаже: она не выпцвщает, подвержена переработке и имеет легкий вес, что позволяет снизить затраты на грузовые перевозки от места изготовления.

4. В Заполярье из-за низких температур полимеры могут растрескиваться и терять эластичность. Для Мурманской области данную проблему можно решить добавлением пластификаторов в состав плитки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О Правилах благоустройства территории муниципального образования город Мурманск и о признании утратившими силу отдельных решений совета депутатов города Мурманска. 2017. – 118 с.
2. О нормах и правилах благоустройства и содержания территории городского округа Анадырь. 2012. – 55 с.
3. Об утверждении правил благоустройства территории муниципального образования город Норильск. 2019. – 116 с.
4. Об утверждении Правил благоустройства территории муниципального образования «Городской округ, Город Нарьян-Мар». 2022. – 52 с.
5. NeoКомпозит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://неокомпозит.пф/material> (17.06.2024).
6. ОКЛЕНД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polymer-plitka.ru/harakteristiki-polimerpeschanoj-plitki> (17.06.2024).
7. Лейер, Д.В. Экономический анализ эффективности пластмассовых конструкций в агрессивной сельскохозяйственной среде / Д.В. Лейер, А.М. Коренец // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 6. – С. 184–187.
8. Тихомирова В.В. Применение отходов из термопластичных полимеров для получения композитов строительного назначения / В.В. Тихомирова, П.С. Смирнова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 1. – С. 1–5.
9. Еременко В.В. Методика выполнения работ по благоустройству объектов тротуарной плиткой / В.В. Еременко // Universum: технические науки. – 2023. – № 11. – С. 15–18.
10. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия.

УДК 69.003

Т. Вэй, Х. Лю, Ч. Чжэн, Е.Ю. Негуляева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИИ УМНОГО ГОРОДА ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Устойчивая городская инфраструктура рассматривается как комплекс инженерных, транспортных, энергетических, информационных и социальных систем города, которые проектируются, создаются и эксплуатируются с учетом принципов устойчивого развития. Основной инструмент реализации этих принципов – широкое внедрение передовых цифровых

инженерных решений в городской и коммунальной инфраструктуре [1]. Практическая реализация Минстрой РФ программы «Умный города» подтверждает актуальность темы исследования.

Цель работы состоит в изучении существующих технологий умного города и возможностей их интеграции в процессы управления и эксплуатации городского хозяйства.

Понятие «умный город» (англ. Smart City) получило широкое распространение в мировой практике [2]. Модель умного города рассматривается как цифровая платформа, объединяющая умную цифровую инфраструктуру и умные инженерно-технические системы жилищно-коммунального хозяйства. В *задачи работы* входило исследование технологий интеллектуальных систем управления энергопотреблением, обращения с отходами и городского транспорта на примере опыта китайских городов.

Китайские города Пекин, Шанхай и другие занимают высокие места в мировом рейтинге индекса умных городов (Smart City Index) [3]. Наилучший опыт Китая в практическом применении умных технологий в городском хозяйстве может иметь практическую пользу в рамках обмена международного опыта.

Интеллектуальные системы управления энергией являются ядром автономных энергетических систем, отвечая за интеграцию различных производственных и накопительных устройств, а также за оптимальное распределение и использование энергии. Такие системы объединяют все энергетические устройства с помощью технологий Интернета вещей и используют алгоритмы анализа данных в реальном времени для повышения эффективности использования энергии. Например, в периоды пикового производства солнечной энергии интеллектуальная система управления может приоритетно удовлетворять потребности здания в электроэнергии, одновременно накапливая излишки энергии или отдавая их в сеть. В ночное время система может использовать накопленную энергию, снижая зависимость от внешних источников [4]. Интеллектуальные системы управления могут интегрироваться с технологиями умного дома, используя данные датчиков и модели поведения пользователей для динамической настройки работы бытовых устройств. Например, при отсутствии жильцов система автоматически снижает энергопотребление бытовых приборов. Такая интеллектуализация значительно повышает эффективность автономных энергетических систем и удобство их использования [5].

Умные технологии для управления отходами применяемые в Китае включают: использование умных контейнеров с датчиками заполнения, которые отправляют данные в систему управления вывоза отходов [6]. Искусственный интеллект (ИИ) используется для алгоритмов оптимизации маршрутов сбора и мониторинга уровня заполнения контейнеров. Также на практике применяются мобильные приложения для информирования населения о правилах сбора отходов и поощрения участия. Местные органы власти в крупных китайских городах, таких как Шанхай и Пекин, ввели новые обязательные правила сортировки отходов: поэтому технологические компании разработали приложения, которые используют распознавание изображений, чтобы помочь гражданам сортировать свои бытовые отходы.

Примером успешной интеграции технологий ИИ в систему обращения с отходами является опыт компании Xiaohuanggou (город Гуандун). Компания выпустила интеллектуальные мусорные баки, которые с помощью компьютерного зрения могут анализировать правильность сортировки и помогать пользователей на этапе сбора отходов. Компания также поощряет пользователей, которые правильно кладут разные виды отходов в предназначенные для них контейнеры, денежными вознаграждениями, которые можно обменять на продукты в приложении Xiaohuanggou, онлайн-играх или отправить пожертвования благотворительным организациям. Фирма открыла объекты в более чем 40 городах по всей стране, включая Чунцин, Пекин, Шанхай, Дунгуань и Гуанчжоу [7].

Умный транспорт – это система управления дорожным движением, целью которой является повышение эффективности работы дорожного движения и повышение безопасности дорожного движения. Умный транспорт выбирает лучший маршрут движения для автомобилей, применяя такие технологии, как: Интернет вещей, технологии передачи данных и анализ больших данных. Он также анализирует транспортный поток на каждом участке улицы, оценивает перегруженные участки дорог и оперативно подсказывает выбор решения водителям транспортных средств [8, 9].

В практической части исследования выполнена оценка внедрения интеллектуальной системы управления городским транспортом. В качестве примера расчета и моделирования приняты параметры территории района города Харбин. Собраны сведения по средней скорости потока пяти основных дорог и их пропускной способности. Цель внедрения интеллектуальной транспортной системы состоит в сокращении времени ожидания транспортных средств на перекрестках за счет интеллектуального управления светофорами, предоставления информации о дорожной обстановке в режиме реального времени и динамического планирования маршрута.

Результаты:

На основе полученных данных создана цифровая модель для визуализации изменений в схемах дорожного движения. На рисунке 1 показан фрагмент работы модели.



Рис. 1. Иллюстрация модели городского района (рисунок Чжэн Ч.)

На рис. 1 показан фрагмент модели виртуального городского пространства с имитацией работы умных светофоров, позволяющих перенаправлять транспортные средства по дорожной сети. Умные светофоры могут динамически подстраиваться под поток транспорта в реальном времени. Динамическое планирование маршрута объединяет массив данных о дорожном движении, включая информацию о транспортном потоке, погодных условиях и дорожном строительстве, чтобы предложить водителям наилучший маршрут движения.

Технология Интернета вещей использует датчики, системы GPS-позиционирования, технологию преобразования искусственного интеллекта и другие технологии для сбора статистики по информации вокруг транспортного средства. В модели Интернета вещей определяется местоположение транспортного средства и вся окружающая информация (например, транспортные средства, здания, пешеходы).

Выводы

Умные технологии нашли практическое применение для таких задач городского хозяйства, как энергоэффективность, управление отходами, управление транспортными потоками. Интеграция физических инженерных систем с технологиями искусственного интеллекта улучшает показатели устойчивости: снижение экологической нагрузки, повышение эффективности сортировки отходов, повышение эффективности транспортной системы. Это не только сокращает углеродный след города, но и улучшает условия жизни населения, а также способствует повышению комфорта проживания горожан.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Баранова Е.А. Проект Цифровизации городского хозяйства «Умный город» / Е.А. Баранова. – Текст : электронный // Минстрой России : [сайт]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogo-khozyaystva-umnyy-gorod/> (дата обращения: 24.02.2025).
2. Княгинин В.Н. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в российских городах. Экспертно-аналитический доклад. / В.Н. Княгинин. – Текст : электронный // Центр стратегических разработок «Северо-запад» : [сайт]. – URL: <https://www.csr.ru/ru/research/smart-city-v-rossii-kak-zastavit-goroda-poumnet> (дата обращения: 24.02.2025).
3. IMD Smart City Index 2024. – Текст : электронный // IMD World Competitiveness Center & Singapore University of Technology and Design (SUTD) : [сайт]. – URL: <https://www.imd.org/smart-city-observatory/smart-city-index/> (дата обращения: 24.02.2025).
4. Чжан К. Интеграция интеллектуальных систем управления энергией в жилых зданиях // Приложения IoT. – 2021. [кит.]
5. Лю Ц. Роль интеллектуальных технологий в повышении энергоэффективности // Умные системы для зданий. – 2023. [кит.]
6. From smart trash bins to intelligent toilet paper dispensers, AI has taken over Chinese cities. – Текст : электронный // KrASIA : [сайт]. – URL: <https://kr-asia.com/deals-in-brief-coolmate-and-pangocdp-secure-funding-chickin-confirms-series-a-round-eight-china-deals-and-more> (дата обращения: 24.02.2025).
7. Wlink Cellular IoT modem Smart Trash Can System. – Текст : электронный // WLink : [сайт]. – URL: <https://trends.directindustry.com/shenzhen-wlink-technology-co-ltd/project-125989-1114136>. (дата обращения: 24.02.2025).
8. Го Цзе. Исследование влияния строительства «умных городов» на уменьшение заторов на дорогах / Университет электронных наук и технологий Китая. – 2020. – 296 с. [кит.]
9. Си Цзе. Дискуссия о важности управления городским движением в строительстве умного города // Бизнес. – 2015. – № 43. – С. 245. [кит.]

УДК 712.253

А.Е. Ерланова, Н.А. Политаева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

БОРЬБА С ЦВЕТЕНИЕМ ВОДОЕМОВ НА ОЗЕРАХ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель работы -разработка проекта мероприятий по борьбе с цветением в озерах парка Сосновка в г. Санкт-Петербург и предложение конкретных решений для улучшения качества воды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести обзор отечественных и зарубежных литературных источников по данной теме;
- 2) выполнить исследование состояния воды на обозначенных выше водоемах;
- 3) предложить комплекс мероприятий и разработать алгоритм очистки озер в парке Сосновка от цианобактерий.

Актуальность

Современное водопользование сталкивается с острой проблемой восстановления качества воды в водоемах, подверженных антропогенному воздействию, усугубляемому

климатическими изменениями. Ключевая причина ухудшения – эвтрофикация, вызванная избытком азота и фосфора, что приводит к массовому размножению водорослей (“цветению”) и дефициту кислорода. Решение заключается в комплексном подходе: выявлении, управлении и восстановлении водных экосистем, подверженных эвтрофикации, посредством контроля питательных веществ. Несмотря на наличие технологий борьбы с “цветением”, проблема остается повсеместной [1].

Парк Сосновка представляет собой один из наиболее крупных городских лесопарков на территории Санкт-Петербурга. В настоящее время он очень популярен среди горожан и гостей города. Суммарная площадь современного парка составляет 303 га. Территория парка в настоящее время разграничена проспектами: Северным, Светлановским и Тихорецким. Также границы парка ограничены ул. Есенина.

Настоящая работа является частью исследовательского проекта «По исследованию методов противодействия развитию сине-зеленых водорослей и оценке эффективности применения таких методов на водных объектах Санкт-Петербурга». Материал для этой работы был собран на трех прудах, локализованных в северной части парка Сосновка. Фактически весь материал является рекогносцировочным.

Исследуемые водные объекты парка Сосновка:

- Санкт-Петербург, Выборгский район, пруд без названия (контрольный); идентификатор водного объекта – № 3029; площадь акватории – 1 432 м²;
- Санкт-Петербург, Выборгский район, пруд без названия (экспериментальный); идентификатор водного объекта – № 3030; площадь акватории – 5 519 м²;
- Санкт-Петербург, Выборгский район, пруд без названия (экспериментальный); идентификатор водного объекта – № 3038; площадь акватории – 4 970 м².

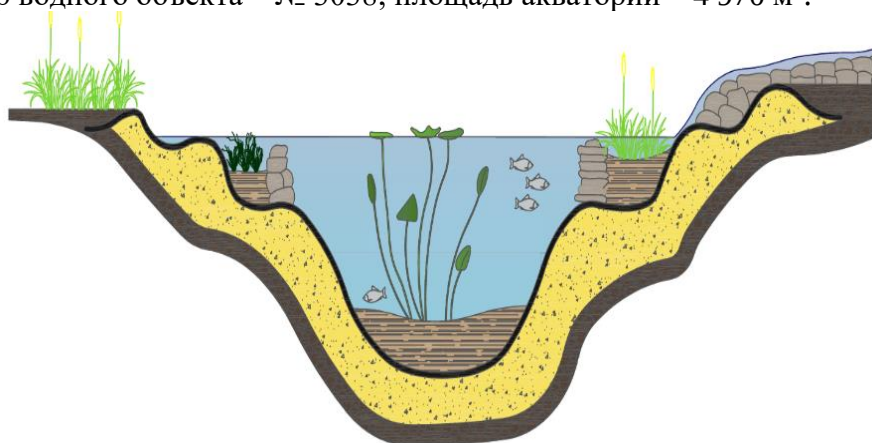


Рис. 1. Схематическое изображение каскада биоплато для водоемов, подготовленное в среде AutoCAD

В качестве основного метода борьбы с цветением воды на описанных водоемах предлагаются проектно-планировочные решения [2]. Это – биоплато с растениями, которые будут способствовать его самоочищению водоемов. Такого рода биоплато представляют собой блоки с почвенно-грунтовой смесью, куда высаживаются различные виды водных растений. Биоплато устанавливают в прибрежной зоне. Обычно их устанавливают в местах поступления поверхностного стока. Таким образом, биоплато фактически осуществляют очистку поступающей загрязненной воды. Для повышения функциональной эффективности биоплато их расположение предполагается организовать в виде каскадов (рис. 1). Разработка эскизного проекта по благоустройству озер проводилась в программе AutoCAD. Составление эскизного проекта проходило на основе космоснимков, импортированных в программу [3]. В качестве иллюстрации представляют эскизный проект пруда № 3030, поскольку его площадь является крупнейшей среди остальных объектов. В рамках представленного эскизного проекта

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В настоящее время в городском строительстве очень актуальна проблема шума и защиты населения от шумовых воздействий. Длительное воздействие шума негативно влияет на здоровье человека [1]. Основным источником шума в городах являются транспортные средства. Решением проблемы шумового загрязнения являются шумозащитные экраны [2].

Шумозащитные экраны – это конструкции, предназначенные для снижения уровня шума, исходящего от автомобильных, железных дорог и аэропортов. Шумозащитные экраны классифицируют по принципу действия на три вида: шумопоглощающие, шумоотражающие и комбинированные. Шумопоглощающие экраны состоят из шумопоглощающих панелей, лицевая часть которых представляет собой перфорированный лист, за которым устанавливают паро-ветрозащитную мембрану и слой звукопоглощающего материала.

Шумоотражающие экраны состоят из шумоотражающих глухих панелей, которые, в свою очередь, бывают прозрачными и непрозрачными. Комбинированные экраны включают в себя несколько видов панелей. По конструктивному решению верхней части шумозащитные экраны разделяют на шумозащитные экраны без надстройки верхней граничной поверхности и экраны с надстройкой верхней пограничной поверхности. Такие надстройки позволяют уменьшить угол выхода шума, и соответственно, – уровень его воздействия [3].

Целью работы является сравнение эффективности шумозащитных экранов разных конструкций.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие *задачи исследования*:

- измерить уровни шума от транспортного потока на участках с шумозащитными экранами и без экранов;
- оценить эффективность снижения шумового воздействия шумозащитными экранами различных конструкций и выявить наиболее эффективный.

Универсальной единицей измерения громкости звука является децибел (дБ). Однако при оценке влияния шума на человека используют акустический децибел (дБА). Акустический децибел – это единица измерения шума с учетом восприятия звука человеком. Допустимым уровнем шума в квартире в дневное время считается шум до 40 (максимально допустимый 55 дБА), в ночное время – до 30 дБА (максимально допустимый 45 дБА) [4].

Для исследования были выбраны пять разных шумозащитных экранов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. С помощью шумомера модели AR834, представленного на рисунке 1, были измерены уровни шума до и после установки экрана на расстояниях 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 и 150 м от дороги: это – наиболее распространенный метод измерения эффективности шумозащитных экранов. Чтобы избежать ошибок, связанных с временным изменением транспортного потока, замеры в каждой точке производились в течение 10 мин [5].

Первый исследуемый экран – комбинированный без надстройки верхней граничной поверхности, – состоящий из трех панелей; нижняя шумопоглощающая, средняя и верхняя – шумоотражающие прозрачные.

Фото экрана представлено на рис. 2,а. Второй шумозащитный экран также является комбинированным без надстройки; нижняя и верхняя панели шумоотражающие непрозрачные. Средняя панель шумоотражающая прозрачная. Фото экрана представлено на рис. 2,б. Третий шумозащитный экран – шумоотражающий без надстройки верхней грани: состоит из четырех шумоотражающих панелей. Фото экрана представлено на рис. 2,в.



Рис. 1. Шумомер модели AR834

Четвертый экран – комбинированный с надстройкой верхней пограничной поверхности – состоит из четырех шумоотражающих панелей: верхняя и нижняя являются непрозрачными. Две средние панели – прозрачные. Фото экрана представлено на рис. 2,г.

Пятый шумозащитный экран – комбинированный без надстройки верхней грани – состоит из четырех панелей: две нижние и верхняя панели – шумопоглощающие; вторая панель сверху – шумоотражающая прозрачная. Фото экрана представлено на рис. 2,д.

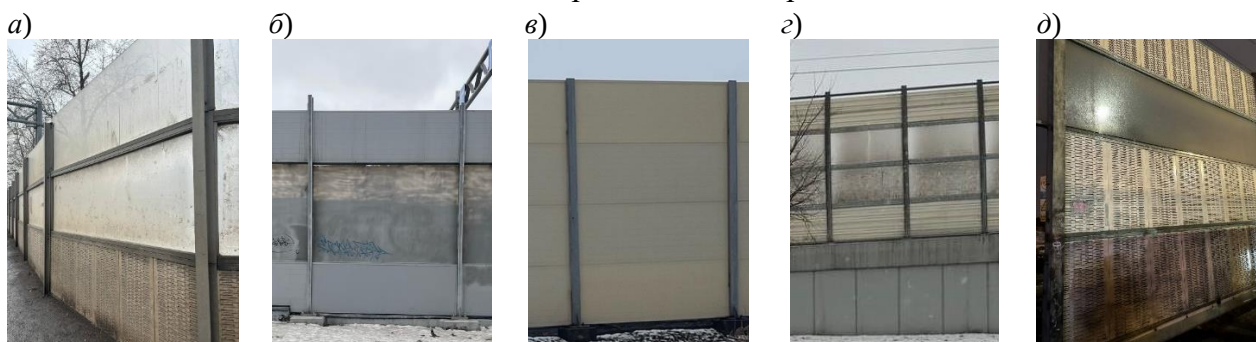


Рис. 2. Фото исследуемых шумозащитных экранов:

а – первый экран; б – второй экран; в – третий экран; г – четвертый экран; д – пятый экран

Результаты измерений снижения уровня шума представлены в таблице 1. На основе полученных данных, представленных в таблице 1, был построен график зависимости изменения шумового воздействия от удаленности до проезжей части. На графике отражены пять кривых. Каждая кривая показывает зависимость для каждого экрана. График представлен на рисунке 3.

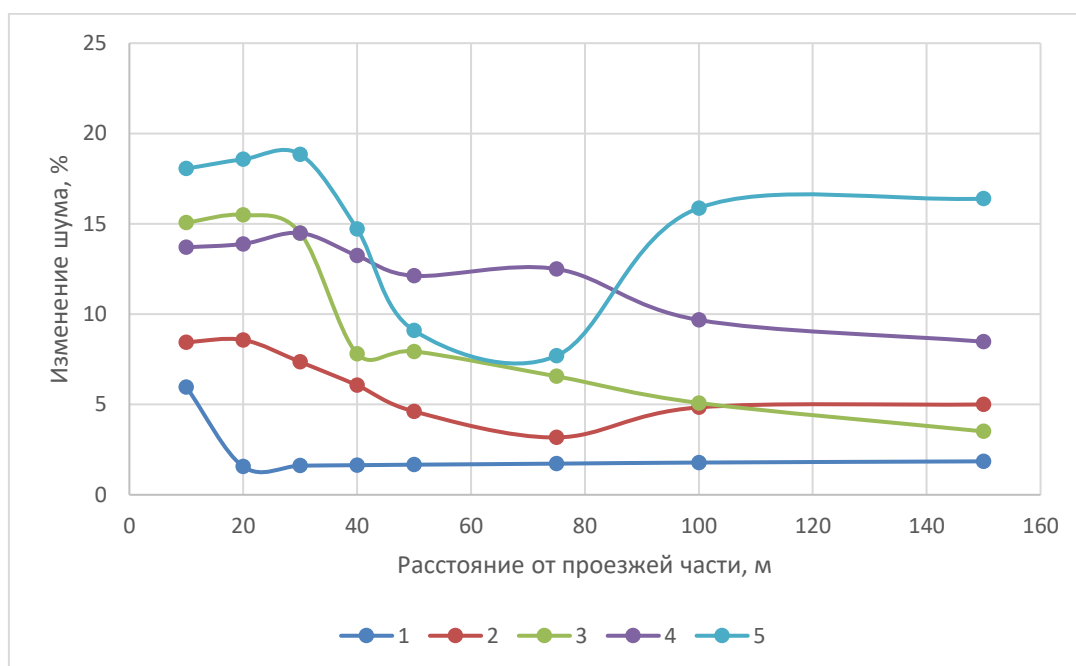


Рис. 3. График зависимости шумоподавления от удаленности источника шума

Таблица 1 – Результаты измерений для шумозащитных экранов

№ экрана	Снижение шумового воздействия на разных расстояниях от дороги, %							
	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	75 м	100 м	150 м
1	5,97	1,56	1,61	1,64	1,67	1,72	1,79	1,85
2	8,45	8,57	7,35	6,06	4,62	3,17	4,84	5,00
3	15,07	15,49	14,49	7,81	7,94	6,56	5,08	3,51
4	13,70	13,89	14,49	13,24	12,12	12,50	9,68	8,47
5	18,06	18,57	18,84	14,71	9,09	7,69	15,87	16,39

На основе построенного графика на рис. 3 были сделаны следующие *выводы*:

- Эффективность шумозащитных экранов понижается с увеличением расстояния от проезжей части: это происходит из-за распространения звука, проходящего сверху от экрана.
- На расстоянии 10–40 м от проезжей части самым эффективным является пятый экран.
- На расстоянии 50–75 м от проезжей части эффективнее всего является четвертый экран.
- На расстоянии 100–150 м от проезжей части наиболее эффективный – пятый экран.

Следовательно, самыми эффективными в нашем исследовании являются четвертый и пятый шумозащитные экраны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С., Нгуен Суан Дат. Влияние шума на организм человека. // [Электронный ресурс]. Научный журнал. Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 14-15; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14048&ysclid=m7uxe32bxx418296870> (дата обращения: 03.03.2025).
2. СП 51.13330.2011 / Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003* (с Изменениями №1) [Электронный ресурс]. – URL: https://politek-ptk.ru/upload/iblock/55c/%D0%A1%D0%9F_51_13330_2011.pdf / (дата обращения: 04.03.2025).
3. ОДМ 218.8.011–2018. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по определению характеристик и выбору шумозащитных конструкций автомобильных дорог.
4. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. №2.
5. ГОСТ 23337–2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий / М.: Стандартинформ, 2019.

УДК 631.15:002.5/6:004

Н.Н. Макаров¹, В.В. Гарманов¹, Б.В. Заварин¹, В.В. Терлеев^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС АКСИОМА ДЛЯ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА НЕДВИЖИМОСТИ

Цель работы – ознакомить пользователей с преимуществами ГИС Аксиома при использовании данного ПО для землеустроительных и кадастровых работ. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- систематизировать информацию о ГИС Аксиома;
- выявить особенности ПО ГИС Аксиома, которые обеспечивают приоритет его использования в землеустройстве и кадастре недвижимости;

- разработать методические положения, обеспечивающие а) простоту проектирования полей и рабочих участков с их координатной привязкой, б) удобство выноса проектных точек на местность по координатам на основе ГНСС-технологий;
- обосновать технологичности формирования ведомости контуров и проектной экспликации земель при внутрихозяйственном землеустройстве.

Программа ГИС Аксиома полностью русифицирована без иностранного участия. Её шестая версия опубликована в июне 2024 года. Основные функции данного программного обеспечения (ПО) находятся в свободном доступе. Особенности ПО ГИС Аксиома, которые обеспечивают приоритет его использования в землеустройстве и кадастре недвижимости, и составляют *актуальность* данной работы [1-6].

Отметим следующие особенности ПО ГИС Аксиома, которые обеспечивают приоритет его использования в землеустройстве и кадастре недвижимости:

1. Универсальная Российская геоинформационная система «Аксиома» (ГИС Аксиома) предназначена для подготовки, хранения, визуализации и анализа пространственных (картографических) данных.

2. Доступность (бесплатный доступ) использования ГИС Аксиома при землеустроительных и кадастровых работах.

3. ПО ГИС Аксиома полностью русифицировано.

4. Все права на ГИС Аксиому принадлежат разработчику – ООО «ЭСТИ» (Российской компании без иностранного участия).

5. Приоритет в использовании ГИС Аксиома в землеустройстве и кадастре недвижимости обеспечивает её *универсальность* – она может открывать (импортировать) данные из файлов разных форматов (рис. 1), а также получать их из внешних источников, отображая с заданными параметрами. Источниками данных для Аксиомы являются:

- таблицы (внутренний формат представления, TAB);
- векторные форматы САПР и геоинформационных систем MapInfoPro (MIF/MID), Autodesk AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph/MicroStation Design (DGN), ESRI Shape файл, ARC/INFO Export;
- растровые карты в форматах GIF, JPEG, JPEG2000, TIFF, GeoTIFF, PCX, BMP, IMG, DEM, MTV, RSW, ECW, и GRID (GRA, GRD);
- данные, полученные с помощью спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС) и других электронных геодезических приборов;
- файлы EXIF, CSV, TXT, XLSX; СУБД PostgreSQL, Microsoft SQL Server, Oracle, SQL Lite.
- данные, доступные через Web по протоколам WMS, WFS, WMTS, а также тайлы через тайловые сервисы.

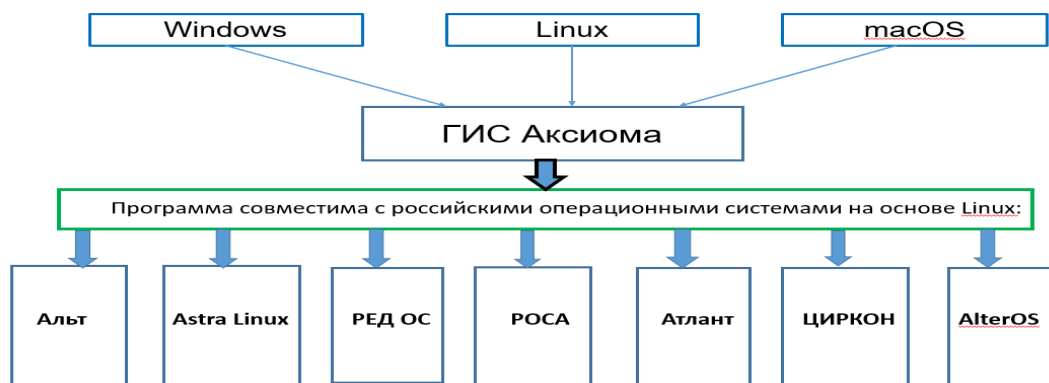


Рис. 1. Универсальная Российская геоинформационная система «Аксиома»



Рис. 2. Проектирование земельных участков (ЗУ):

а – образование ЗУ в результате раздела; б – образование ЗУ слиянием контуров

Пример проектирования полей и рабочих участков с их координатным обеспечением приведен на рис. 2. Координаты поворотных точек границы земельного участка (объекта), проектируемого за счет объединения двух контуров (объектов), позволяют закрепить эти точки границы на местности посредством глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС-технологии). Координаты объекта (поля), образованного в результате объединения двух рабочих участков, определяются в системе координат план-схема и СК-42 (рис. 3).

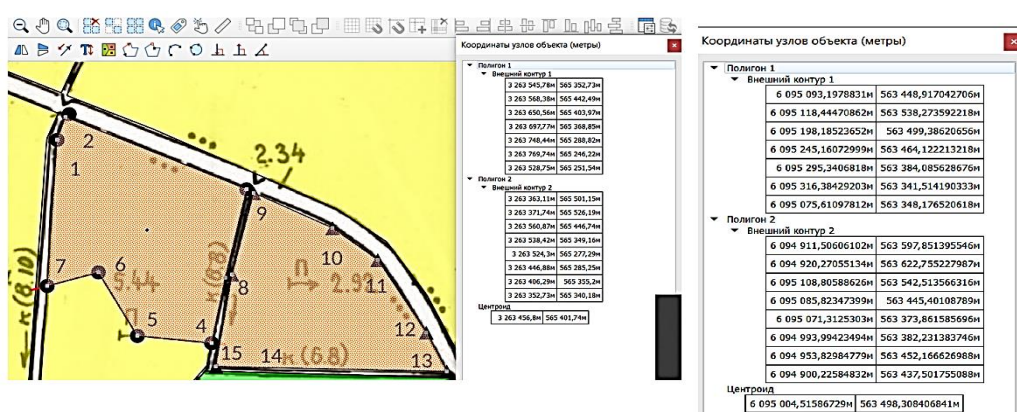


Рис. 3. Получение координат поворотных точек границы средствами ПО ГИС Аксиома в системе план-схема, перевод координат в систему СК-42 и конвертация их в Excel

Карта привязана в СК-42. Проектирование выполняется в системе план-схема. ГИС Аксиома позволяет перейти к системе координат СК-42 (рис. 3 и 4).

СК-42					план-схема (условные координаты)				
№ полигона	№ точки	X	Y	ед.изм.	№ полигона	№ точки	X	Y	ед.изм.
1	1	6095093.19	563448.91	м	1	1	3263545.78	565352.73	м
	2	6095118.44	563538.27	м		2	3263570.54	565442.54	м
	3	6095198.18	563499.38	м		3	3263650.56	565403.97	м
	4	6095245.16	563464.12	м		4	3263697.77	565368.85	м
	5	6095295.34	563384.08	м		5	3263748.44	565288.82	м
	6	6095316.38	563341.51	м		6	3263769.74	565246.22	м
	7	6095075.61	563348.17	м		7	3263528.75	565251.54	м
2	8	6094911.50	563597.85	м	2	8	3263363.11	565501.15	м
	9	6094920.27	563622.75	м		9	3263371.74	565526.19	м
	10	6095108.80	563542.51	м		10	3263560.87	565446.74	м
	11	6095085.82	563445.40	м		11	3263538.42	565349.16	м
	12	6095071.30	563373.86	м		12	3263524.3	565277.29	м
	13	6094993.99	563382.23	м		13	3263446.88	565285.25	м
	14	6094953.82	563452.16	м		14	3263406.29	565355.2	м
	15	6094900.22	563437.50	м		15	3263352.73	565340.18	м
Центроид		6095004.56	563498.25	м	Центроид		3263456.8	565401.74	м

Рис. 4. Координаты поворотных точек границы в системах координат план-схема и СК-42

Определение площади контуров пашни отражено в «Новом списке таблицы». Список контуров таблицы «Пашня» конвертируют в формат Excel (рис. 5).

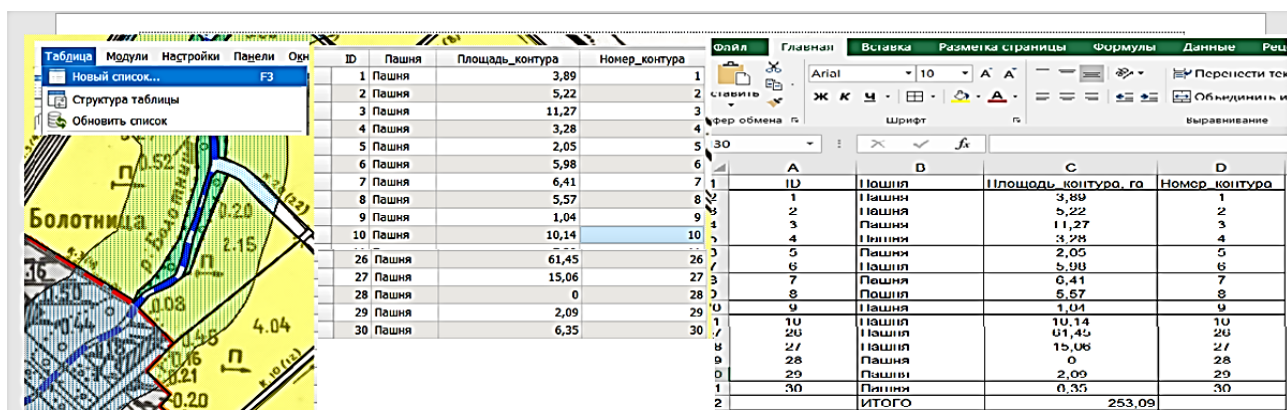


Рис. 5. Последовательность формирования ведомости контуров средствами ГИС Аксиома

Выводы:

1. ГИС Аксиома обеспечивает технологичность формирования ведомости контуров и проектной экспликации земель при внутрихозяйственном землеустройстве.
2. На основе таких ведомостей по всем угодьям можно составить экспликацию земель для эффективного управления сельскохозяйственным землепользованием [2, 3, 7–10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Баденко В.Л. Использование Аксиома-ГИС для создания геоинформационных систем при решении задач природообустройства. – СПб., 2023. – 48 с.
2. Гарманов В.В., Терлеев В.В. Географические информационные системы: ГИС Аксиома в землеустройстве и кадастре: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры – СПб.: СПбГАУ, 2024. – 112 с.
3. Технология создания цифровой картографической основы на базе архивных фоновых материалов / В.В. Гарманов, А.Г. Осипов, В.В. Терлеев, А.Р. Грик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 268–275. – EDN ZBFABN.
4. ГИС Аксиома. Версия 6.0. Руководство пользователя. ООО «ЭСТИ» 2024. – URL: <https://axioma-gis.ru>.
5. ГОСТ 28441–99. Картография цифровая. Термины и определения.
6. Каргашин П.Е., Тульская Н.И., Кузнецова Е.Ю. Цифровое картографирование ГИС Аксиома: учебное пособие. – М., 2022. – URL: <https://axioma-gis.ru>.
7. Шишов Д. А. Землеустройство в системе концепции охраны нарушенных земель на примере экологически загрязненных территорий / Д.А. Шишов, Г.Б. Стрекулев, В.В. Терлеев // Неделя науки СПбПУ. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2015. – С. 189–191. – EDN VAAEWN.
8. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.
9. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
10. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ СЕРВИСА ПУБЛИЧНОЙ КАДАСТРОВОЙ
КАРТЫ: ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ИНТЕРФЕЙСА И НАПОЛНЕНИЯ

Актуальность. Такой информационный ресурс, как публичная кадастровая карта (ПКК), 23 декабря 2024 г. был перемещен на портал «Национальной системы пространственных данных» (НСПД) и перестал быть самостоятельным сервисом. Интеграция данных Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) с данными других информационных ресурсов о земле, объектах недвижимости и различных особенностях территорий РФ [1–3] является значительным шагом в формировании цифрового управления земельными и иными ресурсами. Улучшение работы общедоступных сервисов напрямую влияет на экономическую активность как юридических, так и физических лиц [4, 5]. Модернизация электронных фондов является частью тренда цифровизации государственных услуг. Анализ таких изменений помогает оценить эффективность внедрения нововведений.

Цель исследования – провести сравнительный анализ сервиса «Публичная кадастровая карта» до и после его включения в НСПД.

Публичная кадастровая карта – общедоступный информационный сервис, в котором содержатся сведения о границах объектов недвижимости, населенных пунктов, муниципальных образований, территориальных зон, зон с особыми условиями использования территорий, территорий объектов культурного наследия и иные сведения, внесенные в ЕГРН [6, 7]. В связи с необходимостью реализации получения информации о земельных участках и иных объектах недвижимости в режиме «одного окна» в конце 2024 г. сервис «Публичная кадастровая карта» был перемещен на платформу НСПД. Портал НСПД переназначен для объединения информации о землях из различных источников, таких как ЕГРН, реестр федерального имущества, информационные системы обеспечения градостроительной деятельности субъектов РФ [8], государственный лесной реестр, государственный водный реестр, информационная система по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы и Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения. На портале НСПД вкладка «публичная кадастровая карта» оснащена 45 слоями, которые объединены в 12 групп (табл. 1).

Результаты. Внешний вид изучаемого сервиса претерпел значительные изменения. Ранее структура меню и расположение элементов управления были не интуитивными. В новой версии публичной кадастровой карты этот недостаток был исправлен, а все инструменты для работы с сервисом не только удобно расположены, но и представлены в современном дизайне, используются приятные для глаза цвета и оттенки. Легенда карты теперь имеет функцию сворачивания, что не было реализовано в предыдущей версии. Неотъемлемым достоинством нового портала является возможность определять категорию земель участков по цвету заливки контура земельного участка. Теперь не нужно отдельно вызывать информационное меню по каждому интересующему объекту. Кроме несомненных положительных моментов в новом дизайне, есть и неудобства. Так в предыдущей версии была возможность получения как краткой информации об объекте путем простого клика на него, так и полной в боковой панели, которая появлялась автоматически. Теперь же для получения информации необходимо совершить несколько действий: выделить объект, на боковой панели выбрать его и только тогда появится полная информация. В новой версии публичной кадастровой карты появилась возможность отключать отображение единиц кадастрового деления. Для отображения кадастровых и реестровых номеров объектов необходимо в каждом отдельном слое Публичной карты

настраивать их видимость (по умолчанию видимость номеров отключена). Кадастровые номера объектов недвижимости отображаются полностью, лишь при уменьшении масштаба отображения карты их вид меняется на сокращенный (отображаются только последние цифры кадастрового номера, обозначающие порядковый номер в кадастровом квартале).

Таблица 1 – Содержание слоев новой публичной кадастровой карты

№	Название группы слоя	Описание
1	Картографическая основа	Картографические материалы, ортофотопланы, материалы дистанционного зондирования Земли
2	Единицы кадастрового учета	Информация о кадастровом делении
3	Административные границы	Границы РФ, субъектов РФ, районов и поселений и информация о них
4	Объекты капитального строительства	Границы капитального объекта недвижимости и основная информация о них
5	Комплексы объектов	Информация об объектах капитального строительства, которые объединены по определенным критериям (единые недвижимые комплексы, предприятия как имущественный комплекс и т. д.)
6	Зоны с особыми условиями использования	Информация и границы зон, на которых установлены специальные условия использования с целью охраны окружающей среды, сохранения культурного наследия, обеспечения безопасности и т.д.
7	Зонирование и планирование территории	Информация и границы градостроительного зонирования территорий
8	Природные территории (в предыдущей версии отсутствовал)	Границы и сведения о территориях, которые защищены законодательством и имеют экологическое и природное значение (объекты неживой природы, которые окружают человека и используются для общественного производства, удовлетворения материальных и культурных потребностей)
9	Зоны социального, экономического развития (в предыдущей версии отсутствовал)	Границы и данные о территориях, которые предназначены для реализации проектов социального и экономического развития
10	Территории объектов культурного наследия, включенных в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ (в предыдущей версии отсутствовал)	Границы и о культурных памятниках, которые включены в реестр объектов культурного наследия
11	Иные территории (в предыдущей версии присутствовал частично)	Информация о негативных процессах, объектах туристского интереса и территориях, на которых будут проводиться комплексные кадастровые работы
12	Тепловые карты	Данные о кадастровой стоимости объектов [9] и удельный показатель кадастровой стоимости

Выводы: Анализ интерфейса и наполнения обновленной публичной кадастровой карты показал несомненное преимущество в удобстве использования и широты охвата самых разнообразных сведений о землепользованиях [1–3, 9, 10]. Но в то же время на просмотр информации расходуется несколько больше времени, что практически незаметно при выполнении операции с одним объектом для среднестатистического пользователя, но значительно усложняет работу с большим количеством объектов, например – для кадастровых инженеров, специалистов по оценке недвижимости, риелторов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Том Часть 2. СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с.
2. Сулин, М.А. Кадастр недвижимости и мониторинг земель / М.А. Сулин, Е.Н. Быкова, В.А. Павлова. – СПб. : Издательство «Лань», 2017. – 368 с. – ISBN 978-5-8114-2599-0. – EDN YTYEAG.
3. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты. Доктору экономических наук, профессору Д.А. Шишову посвящается / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Том Часть 1. СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с.
4. Павлова В.А. Организационные формы реализации учетной функции в системе управления земельными ресурсами / В.А. Павлова // Пятая международная научная конференция Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства. – СПб.: СПбГАУ, 2010. – С. 467–469. – EDN TQJALJ.
5. Басова И.А. Возможности технологии блокчейн для совершенствования системы регистрации недвижимости в России / И.А. Басова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 12. – С. 290–297. – EDN RGQRQG.
- 6 Павлова В.А. Инновационные технологии в кадастровом учете объектов недвижимости / В.А. Павлова, Е.Л. Уварова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2016. – № 8(139). – С. 57–64. – EDN WMNAVВ.
7. Хлебникова Е.П. Анализ информационного наполнения публичной кадастровой карты по регионам Российской Федерации / Е.П. Хлебникова, О.А. Мирошникова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – № 2(34). – С. 127–142. – EDN WJBIGX.
8. Искусственные земельные участки – терминология, статус и порядок создания / О.А. Пасько, В.Ф. Ковязин, П.М. Демидова, М.М. Хайкин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – № 2. – С. 81–86. – DOI 10.33920/sel-04-2302-03. – EDN MHQTCN.
9. Баранова Д.В. Применение квалитметрии к оценке земель сельскохозяйственного назначения в условиях неразвитости земельного рынка / Д.В. Баранова, В.А. Павлова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 116–126. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-116-126. – EDN KNFMDX.
10. Гарманов В.В. Система платежей за сельскохозяйственное землепользование / В.В. Гарманов // Вестник факультета землеустройства СПбГАУ. – 2016. – № 2. – С. 7–11. – EDN XQWSDZ.

УДК 631.43

К.Г. Моисеев^{1,2}, Е.А. Дунаева³, В.В. Гарманов⁴, В.А. Лазарев⁵, В.В. Терлеев^{4,5}

¹Агрофизический научно-исследовательский институт

²Санкт-Петербургский государственный университет

³ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

⁴Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

⁵Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОГРАНИЧЕНИЕ МЕТОДА МУАЛЕМА ПРИ УЧЕТЕ ГИСТЕРЕЗИСА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЧВЫ КАК КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Цель исследования состоит в выявлении границы применимости метода Муалема для расчета гидравлической проводимости почвы с учетом возможного гистерезиса. Указанная цель достигается решением *следующих задач*: 1) обоснование феномена гистерезиса гидравлической проводимости почвы и дисперсного грунта как капиллярно-пористой среды (КПС) в рамках классических физических представлений; 2) аналитическое описание функции относительной гидравлической проводимости с интерпретированными параметрами; 3) исследование возможности описания гистерезиса гидравлической проводимости КПС. Научная проблема возникла по причине разрыва между востребованностью физически адекватных моделей гистерезиса гидравлической проводимости КПС и предложением моделей такого типа. *Актуальность* исследования

определяется достаточно высоким запросом на имеющиеся и перспективные разработки в области математического моделирования гидрофизических свойств почвы и дисперсного грунта со стороны специалистов в области гидромелиорации, гидротехнического строительства, а также в области управления водным режимом сельскохозяйственных культур на орошаемых землях и защиты агроценозов [1–6]. Востребованность таких разработок приобретают особую остроту по причине климатических изменений и смещения зон земледелия в более высокие широты.

Основными гидрофизическими свойствами КПС является водоудерживающая способность и гидравлическая проводимость. Для этих свойств характерен феномен гистерезиса. Он обусловлен несколькими причинами, к которым относятся, например, следующие две: 1) непостоянство площади «живого сечения» транзитных пор и дисперсного грунта («эффект чернильницы»); 2) наличие непроточных (тупиковых) пор, которые способны захватывать воздух и удерживать его в «воздушных пузырях-пробках» при увлажнении КПС; 3) реологические свойства жидкой фазы КПС (внутреннее трение).

Водоудерживающую способность (water-retention capacity, WRC) обычно формулируют в виде функциональной зависимости объемной влажности КПС θ [см³·см⁻³] от капиллярного давления влаги ψ [см H₂O]. Гидравлическую проводимость (вагопроводность) КПС k [см·сут⁻¹] описывают в виде функциональной зависимости k от величин ψ или θ [7, 8]. При полном влагонасыщении КПС: величина θ достигает значения θ_s [см³·см⁻³] – влажности насыщения, которая оценивается через пористость КПС; а величина k достигает значения k_s [см·сут⁻¹] – коэффициента фильтрации. Отношение k/k_s называется относительной гидравлической проводимостью (relative hydraulic conductivity, RHC). WRC-данные и RHC-данные являются малодоступными по причине высокой трудоемкости соответствующих натуральных (лабораторных) измерений. Поэтому методы косвенной оценки этих данных являются в настоящее время весьма востребованными. Одним из таких методов является метод Муалема, который позволяет по WRC-данным оценить RHC-данные. Суть метода состоит в следующем: при точечной аппроксимации WRC-данных осуществляется идентификация параметров WRC-функции $S_e = S_e(\psi)$ (здесь $S_e = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)$, θ_r [см³·см⁻³] – минимальный удельный объем влаги как жидкости в КПС); затем осуществляется расчет значений RHC-функции с использованием аналитического выражения, полученного по формуле Муалема [9]:

$$\frac{k}{k_s} = \sqrt{S_e} \left(\int_0^{S_e} \frac{dy}{\psi(y)} / \int_0^1 \frac{dy}{\psi(y)} \right)^2. \quad (1)$$

В [9] представлена физически обоснованная модель гидрофизических свойств КПС. В этой статье WRC-функция и RHC-функция сопряжены по параметрам по формуле (1):

$$S_e = \begin{cases} (1 + (-\alpha(\psi - \psi_e))^n)^{-1}, & \psi < \psi_e; \\ 1, & \psi \geq \psi_e, \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{k}{k_s} = \begin{cases} \sqrt{S_e} \left(1 - (1 - S_e^{-1}) \exp\left(\frac{8}{n\pi}\right) \right)^{-2}, & \theta < \theta_s; \\ 1, & \theta = \theta_s. \end{cases} \quad (3)$$

Функции (2) и (3) имеют следующие параметры: $\alpha = -1/(\psi_0 - \psi_e)$ [см H₂O⁻¹], где ψ_e [см H₂O] – аддитивный параметр, учитывающий «давление входа воздуха» для ветвей иссушения и «давление входа воды» для ветвей увлажнения WRC-гистерезиса [10], ψ_0 [см H₂O] – мультипликативный параметр, учитывающий капиллярное давление влаги, когда все поры, начиная от мельчайших и заканчивая порами наиболее вероятного размера, заполнены водой; n – экспоненциальный параметр ($n > 0$), имеющий смысл относительной

дифференциальной емкости КПС по отношению к жидкой фазе в форме $d \ln[S_e/(1 - S_e)]/dx$, где $x = -\ln[-\alpha(\psi - \psi_e)]$ – нормальная случайная величина с нулевым генеральным средним и стандартным отклонением $\sigma > 0$, $n = 4/(\sigma\sqrt{2\pi})$ [9, 10].

Результаты. Формулы (2) и (3) описывают физически (физико-статистически) обоснованные гидравлические функции КПС. Учет WRC-гистерезиса достигается применением двух наборов параметров ψ_e, ψ_0 и n : один набор – для ветвей иссушения, второй набор – для ветвей увлажнения. Однако, для учета RHC-гистерезиса остается только один экспоненциальный параметр. Феномен гистерезиса проявляется в том, что при одном и том же значении S_e имеются разные значения RHC-функции для ветви иссушения и ветви увлажнения КПС. Такое возможно, если значения параметра n будут разными для ветви иссушения и ветви увлажнения КПС. Разные значения этого параметра соответствуют разным сочетаниям значений площади «живого сечения» транзитных пор при одинаковых S_e .

Действительно, по причине внутреннего трения жидкой фазы КПС, скорость влагопереноса через относительно малое количество относительно широких пор будет выше скорости влагопереноса через относительно большое количество узких пор. Такое физическое обоснование феномена RHC-гистерезиса выглядит достаточно убедительным. Однако обратимся к WRC-функции: в ней параметр n имеет смысл дифференциальной влагоемкости КПС и в геометрической интерпретации он равен тангенсу угла наклона касательной к графику функции $\ln[S_e(x)/(1 - S_e(x))]$. Отсюда легко видеть, что по определению экспоненциальный параметр n никаким образом не учитывает реологические свойства жидкой фазы КПС. Таким образом, формула (3) не может учитывать RHC-гистерезис, обусловленный внутренним трением жидкой фазы КПС. Следовательно, поскольку формула (3) не учитывает RHC-гистерезис, постольку при одном и том же значении S_e формула (3) должна давать одно и то же значение RHC-функции. А это, в свою очередь, возможно только тогда, когда экспоненциальный параметр n имеет одно значение для WRC-ветвей иссушения и WRC-ветвей увлажнения. Разумеется, в том случае погрешность точечной аппроксимации WRC-данных несколько возрастает по сравнению со случаем разных значений экспоненциального параметра, что следовало бы расценивать негативным образом. Однако при одинаковых значениях этого параметра для WRC-ветви иссушения и WRC-ветви увлажнения полностью устраняется нежелательной (методический) «эффект помпы» (пересечение сканирующих и главных ветвей WRC-гистерезиса), что, безусловно, нужно расценивать положительным образом. Кроме того, отсутствие RHC-гистерезиса в отношении зависимости $k(\theta)/k_s$ подтверждается и опытными данными, что позволяет достаточно обоснованно применять равные значения экспоненциального параметра для ветвей иссушения и увлажнения WRC-гистерезиса.

Выводы:

1. RHC-гистерезис обусловлен влиянием внутреннего трения жидкой фазы КПС и проявляется тогда, когда при одной и той же объемной влажности имеется различие между значениями площади «живого сечения» транзитных пор для случаев иссушения и увлажнения, что приводит к различным скоростям влагопереноса при иссушении и увлажнении КПС.

2. Аналитическое описание функции относительной гидравлической проводимости с интерпретированными параметрами представлено формулой (3).

3. Если функции (2) и (3) имеют общий экспоненциальный параметр, что характерно для метода Муалема, то описание RHC-гистерезиса по формуле (3) не представляется возможным. Корректное применение формулы (3) предполагает равные значения экспоненциального параметра при описании WRC-гистерезиса по формуле (2): это исключает описание RHC-гистерезиса, но позволяет устранить нежелательный искусственный «эффект помпы» при описании WRC-гистерезиса почвы как капиллярно-пористой среды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Терлеев В.В. Информационная поддержка модели влагопереноса в почве. Депонированная рукопись № RU94001479 15.12.1988. – EDN PXCYYJ.
2. Информационное обеспечение расчета динамики почвенной влаги / Г.А. Бернштейн, Б.Г. Заславский, А.Л. Сариев, В.В. Терлеев // Почвенные условия и эффективность применения удобрений в Западной Сибири. – Омск: ОмСХИ, 1988. – С. 101–107. – EDN PXGGAJ.
3. Малик А.А., Банкин М.П., Терлеев В.В. Расчет водоудерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических констант. Депонированная рукопись № RU94001487 19.01.1994. – EDN PXCZX.
4. Детерминированные модели поведения пестицидов в почве: Методология построения, структура, принципы использования / Н.Н. Семенова, К.В. Новожилов, Т.М. Петрова, В.В. Терлеев. – Санкт-Петербург: ВИЗР, 1999. – 92 с. – ISBN 5-93717-001-6. – EDN PWFAQV.
5. Poluektov R. A. Crop simulation model of the second and the third productivity levels / R.A. Poluektov, V.V. Terleev // Modelling water and nutrient dynamics in soil–crop systems. – Münchenberg/Germany, 2007. – P. 75–89. – DOI 10.1007/978-1-4020-4479-3_7. – EDN PXCVT.
6. Крылова, И.Ю. Моделирование гидрологических характеристик почвы / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 277–279. – EDN QBZPAH.
7. Банкин М.П. Автоматизированная система определения влагопроводности почв / М.П. Банкин, Б. Г. Заславский, В.В. Терлеев // Научно-технический бюллетень по агрономической физике. – 1988. – Т. 72. – С. 33–36. – EDN PWHNRP.
8. Терлеев В.В. Моделирование водоудерживающей способности почв как капиллярно-пористых тел : Учебно-методическое пособие / В.В. Терлеев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2000. – 71 с. – ISBN 5-7997-0264-6. – EDN PWCDZR.
9. Сорок лет использования эмпирических функций Ван Генухтена и предложение их замены физически адекватными аналогами / В.В. Терлеев, В.А. Лазарев, Р.С. Гиневский [и др.] // Агрофизика. – 2023. – № 3. – С. 49–61. – DOI 10.25695/AGRPH.2023.03.07. – EDN ZMRWAT.
10. Моделирование главных ветвей иссушения и увлажнения петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы / В.В. Терлеев, А.Г. Топаж, В. Миршель, П.Д. Гурин // Агрофизика. – 2013. – № 1. – С. 22–29. – EDN PWXPLD.

УДК 502/504: 631.442: 631.425.

П.В. Васильев¹, К.Г. Моисеев^{1,2}, В.В. Терлеев^{3,4}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Агрофизический научно-исследовательский институт

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

⁴Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ С ВИЗУАЛЬНО НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ ПО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ РАЗРЕЗОВ

Цель исследования – определить эффективность работы дренажной системы за сорок лет её эксплуатации по изменению морфологического строения профилей осушенных торфяных почв.

Морфологический признак почвы или грунта, на который обращают внимание грунтоведы, почвоведы и мелиораторы, в первую очередь, – это цвет (окраска). Для того чтобы перейти от словесного описания цвета почвы (грунта) к его численной характеристике используют различные оптические системы. Наиболее популярными на сегодняшний момент являются оптические системы Манселла: системы CIE–Lab и CIE–XYZ. Цвет почвы и грунта является отражением не только их минералогического состава, но, что касается почвы, – отражением её генезиса, основных почвообразовательных процессов [1]. При мелиорации почв гидроморфного генезиса и торфяных грунтов цвет является характерным

диагностическим признаком успеха/неудачи осушительной или оросительной мелиорации и включает в себе значительную информационную ёмкость.

Осушение почв приводит к возникновению аэробных условий и интенсивной минерализации торфа на границе смены окислительно-восстановительных условий (на глубине заложения дренажа). В теории этот процесс, приводит к формированию особых генетических, торфяно-илистых горизонтов в осушенных органогенных почвах. Эти вновь формирующиеся горизонты практически не отличаются по окраске от исходных горизонтов. И в случае с почвами, профили которых слабо дифференцированы по цвету (глеезёмы, торфяные эутрофные или олиготрофные почвы, элювозёмы развитые на песках, и т.д.), визуальная идентификация горизонтов почв затруднена. Особенно остро эта проблема выражена при определении границ генетических горизонтов по фотографиям. Ситуация недостатка фактического материала возникает при экспертизе полевых работ, а также в тех случаях, когда нет возможности выделить в полевых условиях горизонты исследуемого разреза торфяного грунта или специфической глеевой почвы на основании других её морфологических признаков, например – по изменению плотности сложения (объемной массе). В этом случае находит своё применение 2D вейвлет-анализ изображений.

Вейвлет анализ как объективный (физически обоснованный) метод анализа волновых сигналов является альтернативой оптических систем, в большей мере являющихся феноменологическим методом, то есть – субъективными. Вейвлетами (wavelet – всплеск) называют семейство анализаторов, широко применяемых в задачах анализа временны́х сигналов, распознавания образов и синтеза изображений. Теоретические соображения по применению 2D вейвлет-анализа представлены в работе Гонсалеса и Вудса [2].

При фотографировании почвенного разреза на фотографии фиксируется часть отражательной способности поверхности разреза почвы, описываемая величиной Reflectance factor (RF), определяемого как отношение величины диффузного отражения поверхности почвы к величине диффузного отражения от идеально белой поверхности. Помимо того, из фотографии извлекают величину интегральной яркости поверхности почвы, определенную на всей области видимого спектра 400–750 нм. Более подробно принципы 2D вейвлет-анализа фотоизображений разрезов почв изложены в работах [3–5]. Операции 2D вейвлет-анализа и визуализация результатов производятся с помощью программного обеспечения, например – Wavelet Toolbox на базе MATLAB. Базой анализа, проведенного в данном исследовании, выступают вейвлет Гаусса и вейвлет Морле. Возможность использования более мощного и менее субъективного способа анализа цветовых оттенков и спектральной яркости изображений почвенных разрезов является весьма перспективной.

Результаты

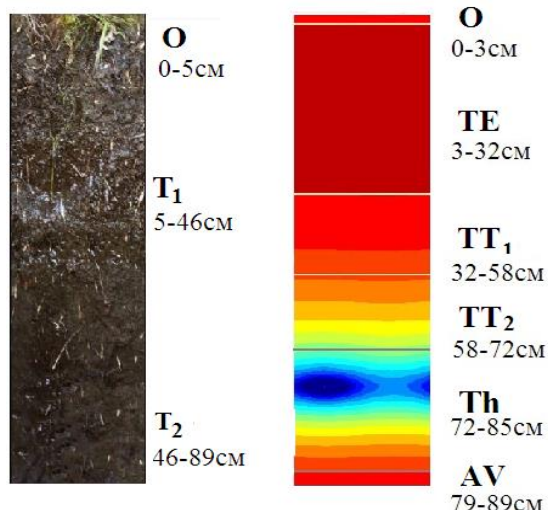
Проведены исследования изменения торфяных и глеево-подзолистых почв после сорока лет осушительной мелиорации: угодья землепользования «Меньково», Меньковский филиал ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт (Гатчинский район Ленинградской области).

Результаты исследования торфяной эутрофной почвы представлены на рис. 1,а. В левой части рис. 1,а приведена фотография разреза почвы, обозначены визуально выделенные при полевых исследованиях горизонты почв. В правой части рис. 1,а показаны результаты 2D вейвлет-анализа (32 итерации). Тип почвы на рис. 1,а, по классификации 2004 года был определен в полевых условиях как эутрофная торфяная почва. После 2D вейвлет-анализа выделены дополнительные генетические горизонты Th и AV (перегнойно-торфяный и органогенный слитой). Образование горизонтов почв – очевидное следствие осушительной мелиорации; уточнено название почвы как торфозем.

Результаты 2D вейвлет-анализа торфяно-подзолисто-глеевой почвы представлены на рис. 1,б. В левой части рис. 1,б приведена фотография разреза почвы и обозначены визуально

выделенные при полевых исследованиях горизонты почв. В правой части рис. 1,б показаны результаты 2D вейвлет-анализа (32 итерации). В этом случае 2D вейвлет-анализ позволил разделить большие генетические горизонты на малые (переходные) горизонты почвы. В профиле почвы выделен торфяно-перегнойный горизонт Th, который имеет признаки элювиирования (возможна другая индексация горизонта), что свидетельствует о влиянии мелиоративной системы на генезис почвы.

а) 2D вейвлет-анализ торфяной эутрофной почвы



б) 2D вейвлет-анализ торфяно-подзолисто-глеевой почвы

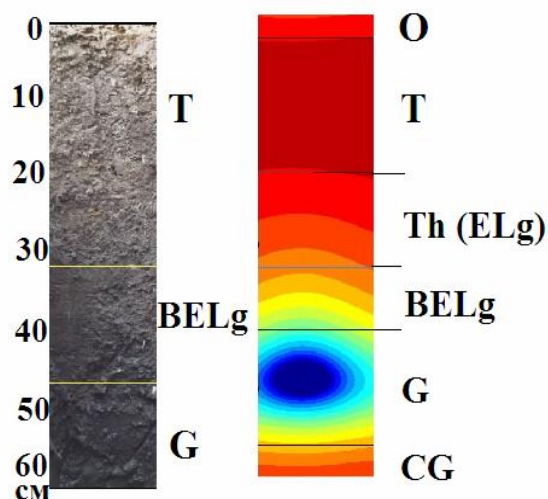


Рис. 1. 2D вейвлет-анализ почвы:

О – органогенный горизонт – растительный опад, лесная или степная подстилка (войлок, мох, листья); TE – эутрофный горизонт (в составе торфа остатки травянистой болотной растительности); Т – торфяной горизонт; ТТ, ТТ₁ – торф как органогенная порода (индекс 1 – удалённый от дневной поверхности); h – ил или перегной; V – слитый горизонт; G – глеевый горизонт; g – индекс глеевого/глееватого горизонта почв; EL – элювиальный горизонт; В – иллювиальный горизонт; С – почвообразующая (материнская) порода.

Выводы:

1. Предлагаемый подход к определению морфологического строения профилей почв по величине RF-фактора фотографий разрезов методом 2D вейвлет-анализа показал свою высокую эффективность.
2. Используемый подход может быть рекомендован и как вспомогательное средство, и как альтернатива оптическим системам, применяемым в почвоведении и грунтоведении для морфометрического анализа.
3. В настоящее время 2D вейвлет-анализ является мощным методом спектрального анализа отражательной способности поверхности почв.
4. Перспективность 2D вейвлет-анализа в виде метода спектрального анализа разрезов почв со слабо дифференцированным по цвету профилем, уточнения наличия диагностических горизонтов почв, корректировки глубины залегания и мощности почвенных горизонтов является несомненной для задач в области мелиорации, агрофизики и управления землепользованиями [6–10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Орлов Д.С. Цвет и отражательная способность почв /Д.С. Орлов. – Текст непосредственный // Науки о земле : Соровский образовательный журнал. -1997. – №4. – С. 45–51.
2. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. – М.: Техносфера, 2005–2006. – 1072 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 5-94836-028-8

3. Моисеев К.Г. Влияние увеличения количества осадков на структуру почвенного покрова и текстурные свойства почв / К.Г. Моисеев, В.В. Терлеев. – Текст : непосредственный // Агрофизика. – 2019. – № 4. – С. 22–30. – DOI 10.25695/AGRP.2019.04.04.
4. Моисеев К.Г. Возможности вейвлет-анализа фотоизображений почвенных профилей / К.Г. Моисеев, Е.Г. Зинчук – Текст непосредственный // Экология и строительство. – 2019. – № 4. – С. 33–41. – DOI 10.35688/2413-8452-2019-04-004.
5. Моисеев К.Г. Вейвлет-мультифрактальный анализ эмиссии парниковых газов / К.Г. Моисеев // Эмиссия парниковых газов и секвестрация углерода в почвах : сборник расширенных тезисов. – СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2015. – С. 39–43. – EDN UPNFVF.
6. Терлеев В.В. Моделирование водоудерживающей способности почв как капиллярно-пористых тел : Учебно-методическое пособие / В.В. Терлеев. – СПб.: СПбПУ, 2000. – 71 с. – ISBN 5-7997-0264-6. – EDN PWCDZR.
7. Шишов Д.А. Землеустройство в системе концепции охраны нарушенных земель на примере экологически загрязненных территорий / Д.А. Шишов, Г.Б. Стрекулев, В.В. Терлеев // Неделя науки СПбПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – С. 189–191. – EDN VAAEWH.
8. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.
9. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
10. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

УДК 502.35/504.062

А.Н. Поносов
Пермский государственный аграрно-технологический университет

ЗАДАЧИ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОРОДНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Цель работы – обозначить концептуальные направления природообустройства при организации пригородного сельскохозяйственного землепользования.

Задачи исследования состоят в установлении ключевых особенностей социально-экономического развития территорий крупных пригородов, факторов интенсивного использования земельных ресурсов, трансформации угодий и естественных ландшафтов, проблем сельскохозяйственного землепользования, определения состава мероприятий природообустройства при функционировании пригородного аграрного производства.

Организация рационального землепользования на территории пригородного пространства тесно взаимосвязана с необходимостью обеспечения системы мероприятий природообустройства в условиях агломерационного развития, разработкой мер сдерживания воздействия хозяйственной деятельности на природную среду. С увеличением наблюдающейся антропогенной нагрузки, усилением влияния разнообразных факторов загрязнения окружающей среды в пределах пригородов, актуальность мероприятий по природообустройству неуклонно растет.

Пригородные территории, вовлеченные в тесные связи с городом-ядром агломерации (вследствие экономической интеграции, активных миграционных процессов, необходимости поддержания благоприятной экологической обстановки), характеризуются определенными особенностями в развитии территорий, прежде всего, в системе расселения, в использовании земельных ресурсов [1]. Особенности проявляются под воздействием устойчивых связей по

удовлетворению потребностей крупных городов в рабочей силе, размещению производственных и коммерческих объектов, коммунального хозяйства, инженерной инфраструктуры, расположением территорий загородного жилья, участков для садоводства и дачного отдыха. При этом потребности города формируют своеобразный уклад жизнедеятельности в пригороде, повышается уровень социального обслуживания населения, инженерного обеспечения территорий, доходов населения, растет качество жизни.

Удовлетворение потребностей города вызывает соответствующий спрос на земельные ресурсы, отражаясь на структуре пригородного землепользования под действием тенденций роста площадей населенных пунктов, земель промышленности, транспорта и сокращения доли земель сельскохозяйственного назначения [2]. В то же время отсутствие долгосрочных комплексных планов застройки территорий агломераций вызывает проблемы размещения региональных и местных объектов инфраструктуры [3].

В экономике пригородных муниципальных образований большой вес принадлежит сельскохозяйственной деятельности, осуществляемой в противоречивых условиях для территориальной организации аграрного производства [4]. Особенно остро проблема сокращения обрабатываемых сельскохозяйственных угодий проявляется в зоне сильного влияния города [5]. Постоянное сокращение площадей сельскохозяйственных угодий, многоукладность форм хозяйствования, невостребованность ранее предоставленных земельных долей и невозможность их оптимального выдела в натуре препятствуют организации рационального и устойчивого сельскохозяйственного землепользования [6, 7].

Проблематично складывается в пригороде использование земель и регистрация имущественных прав на объекты капитального строительства граждан в отношении земель сельскохозяйственного назначения для целей садоводства [8–10].

Мелиорация на пригородных сельскохозяйственных землях обусловлена противоречивыми обстоятельствами организации землепользования и проведения работ. С одной стороны, мелиоративные мероприятия позволяют создать высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья, повысить почвенное плодородие, что особенно важно для получения высокой урожайности овощных культур для обеспечения продовольственных нужд города. С другой стороны, постоянно растущие потребности города в новых земельных ресурсах вызывают необратимые процессы освоения территорий жилой и нежилой застройкой, размещения обслуживающей инфраструктуры на прилегающих к границам города землях, что приводит к неуклонному сокращению сельскохозяйственных угодий, в том числе – на мелиорируемых землях.

Природообустройство в процессе организации пригородного землепользования решает ряд задач, среди которых первоочередное значение принадлежит природоохранным действиям, максимальному учету природных и эколого-хозяйственных свойств территории, исходя из назначения земель и функций по обеспечиванию потребностей города, а также приоритету природоохранного и сельскохозяйственного землепользования. Предпочтительна эколого-ландшафтная основа организации территории аграрного производства, включающая агролесомелиоративные, гидромелиоративные, культуртехнические и другие мероприятия.

В силу существующей ограниченности свободных сельскохозяйственных площадей, хозяйственно пригодных к использованию земель в пригородном пространстве, особая необходимость наблюдается в мероприятиях, направленных на предохранение земель от эрозии, заболачивания и других неблагоприятных процессов, развитие которых, в том числе вызвано интенсификацией землепользования, сокращением растительного покрова и нарушением гидрологического режима водных объектов.

К основным видам природоохранительных мероприятий в пригородной зоне следует отнести создание лесозащитных насаждений в условиях высокого уровня распаханности земель, террасирование склонов при строительстве и расширении сетей транспортной

инфраструктуры, строительстве гидротехнических сооружений, рекультивации земель после прокладки инженерных коммуникаций, автодорожного строительства и промышленного использования. Создание зеленых зон вокруг города является неотъемлемым условием для формирования экологического каркаса крупных городов, требуется система лесомелиоративных мероприятий, направленная на образование защитных насаждений, участков в составе территорий по возобновлению лесного зеленого фонда.

Устойчивая защита водоемов от загрязнения должна включать комплекс охранных, рекультивационных и хозяйственных мероприятий, создавая предпосылки рациональному городскому водопользованию. Особо важное значение в сопряженном размещении с сельскохозяйственными угодьями имеют системы очистки сточных вод, локализация скопления и фильтрация канализационных стоков, размещения свалок твердых бытовых отходов, восстановление рыбных ресурсов, мероприятия по реабилитации и благоустройству рек, ручьев, прудов, приводящие объекты в состояние экологического равновесия.

Результаты и выводы: 1. Природообустройство в контексте организации сельскохозяйственного землепользования в городских агломерациях представляет собой комплекс мероприятий, направленных на рациональное использование высокопродуктивных земель, восстановление и защиту лесных, водных ресурсов, а также на оптимизацию размещения сельскохозяйственных угодий и аграрной инфраструктуры с целью повышения территориальной устойчивости границ и экономической эффективности агропроизводства. 2. Создание условий для эффективного функционирования пригородного сельского хозяйства во многом обусловлено природоохранными мерами, направленными на формирование подходов рационального использования и охрану земельных, водных, лесных ресурсов, предотвращение загрязнения воздушного бассейна. 3. Структура пригородного аграрного землепользования формируется под действием активного межотраслевого перераспределения земель, ведущее к неизбежному сокращению сельхозугодий. Мероприятия по природообустройству позволяют сбалансировать высокую антропогенную нагрузку со способностью территории к самоочищению. 4. Пригород обладает спецификой социального, экономического, территориального развития. Земельные ресурсы являются стратегическим фактором этого развития: качественное состояние и рациональное использование аграрных земель обусловлено мероприятиями природообустройства с учетом воздействия города на природную среду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Поносов А.Н. Совершенствование подходов к определению размеров пригородных зон и организация землепользования при территориальном и экономическом развитии пригородных муниципальных образований на примере Пермской агломерации: монография / А.Н. Поносов ; ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. – Пермь : ИПЦ Прокрость, 2021. – 181 с. – ISBN 978-5-94279-530-6. – EDN GJYLCJ.
2. Поносов А.Н. Тенденции использования земель и проблемы территориального развития Пермской городской агломерации / А.Н. Поносов, Б. Драшкович, Н.Н. Жернакова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – № 8. – С. 617–623. – DOI 10.33920/sel-04-2108-09. – EDN FDWKPN.
3. Обердерфер Е.С. Проблемы развития инфраструктуры при активной застройке пригородных территорий / Е.С. Обердерфер, О.А. Старенькова // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации : Материалы Международной конференции. В 3-х частях, Пермь, 11–15 ноября 2024 года. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. – С. 170–174. – EDN MQANWG.
4. Поносов А.Н. Земельные ресурсы в системе устойчивого развития территорий муниципальных образований: учебное пособие / А.Н. Поносов ; Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова. – Пермь : ИПЦ Прокрость, 2018. – 148 с. – ISBN 978-5-94279-420-0. – EDN VUZOPQ.
5. Особенности сельскохозяйственного землепользования и обеспечение его развития в городских агломерациях (на материалах Пермской городской агломерации) / А.Н. Поносов, А.Л. Желясков, Б.

- Драшкович, Н.Н. Жернакова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 3(393). – С. 233–237. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_3_233. – EDN BSFAZO.
6. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
7. Желясков А.Л. Сельскохозяйственное землепользование городских агломераций, настоящее и будущее (на материалах Пермского края) / А.Л. Желясков, Д.А. Кирик // Актуальные проблемы нормативно-правового и методического обеспечения реализации Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ : Сборник материалов международной НПК, Москва, 2024. – С. 22–27. – EDN IGSVVQ.
8. Денисова Н.С. Об использовании сельскохозяйственных угодий для размещения объектов капитального строительства / Н.С. Денисова // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации : Материалы Всероссийской НПК / ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2021. – С. 353–357. – EDN UIAOXX.
9. Желясков А.Л. Противоречия в использовании земель сельскохозяйственного назначения при организации и ведении садоводства в пригородных зонах / А.Л. Желясков, Д.А. Кирик // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2022. – № 8. – С. 526–533. – DOI 10.33920/sel-04-2208-04. – EDN JTJJJB.
10. Кирик Д.А. Возможности и проблемы вовлечения в оборот неиспользуемых земельных участков садоводческих объединений граждан на территории Пермского муниципального округа Пермского края / Д.А. Кирик // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации, Пермь. – Пермь: "От и До", 2023. – С. 413–418. – EDN IABYTV.

УДК 502.3/332.156

Н.Н. Жернакова
Пермский государственный аграрно-технологический университет

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ

Цель работы – рассмотреть основные аспекты природообустройства в отношении территорий городских агломераций.

Задачи исследования: определить доминирующие негативные факторы, влияющие на природную среду в пределах городских агломераций; установить ключевые проблемы, возникающие в процессе хозяйственной деятельности; предложить приоритетные направления в организации мероприятий по природообустройству на пригородных землях.

Процессы урбанизации представляют распространенное современное явление территориального развития, выступают драйвером экономической деятельности, улучшения условий жизни и быта людей, но данные процессы несут и негативные последствия для природы. В последнее время большое внимание уделяется рассмотрению влияния градостроительной, хозяйственно-бытовой деятельности на экологические процессы и компоненты среды урбанизированных территорий [1], подчеркивается важность развития гармоничных отношений с природой для улучшения качества жизни горожан [2].

Формирование эффективного и рационального использования природных ресурсов при минимизации негативного воздействия хозяйственной деятельности на природу для обеспечения комфортной и безопасной среды жизнедеятельности населения является фундаментальным назначением природообустройства [3]. Природообустройство в городских агломерациях (где сосредоточено большое количество людей и сконцентрировано промышленное производство, сферы потребления и обслуживания населения городов и пригородов), имеющее чрезвычайную актуальность для создания оптимальных

производственно-экономических условий расселения и необходимости сохранения природы, нуждается в углубленных исследованиях.

Аграрное производство на пригородных территориях вступает в противоречие с потребностями в использовании земель для несельскохозяйственных нужд; высокая востребованность земель обусловлена близостью к территории городов, коммерческим потенциалом для освоения застройкой [4, 5]: данная ситуация существенно отличается от периферийных территорий, предназначенных для ведения сельскохозяйственного производства, где требуются отдельные меры по вовлечению земель в оборот [6, 7].

Изменение луговой и лесной растительности в процессе хозяйственной деятельности является важным индикатором природопользования и служит информационным инструментом для принятия природоохранных мер, отмечают зарубежные исследователи [8].

Достаточно большая нагрузка на пригородную природную среду оказывается сельскохозяйственным производством, в частности – его животноводческой отраслью, загрязняющей стоками водные источники, почву, а воздух – парниковыми газами. Постепенная интенсификация сельскохозяйственного землепользования пригородных аграрных предприятий, большой удельный вес пашни в структуре угодий вследствие возделывания высокорентабельных культур, применение химических удобрений негативно влияют на почвенные микроорганизмы и биоразнообразие, вызывают водную и (в отдельных случаях) ветровую эрозию почв.

Существует проблема управления пригородными территориями как единым пространством в целом. А, следовательно, и разработка комплекса мер природоохранного регулирования затрудняется из-за отсутствия правового статуса и подходов к определению размеров пригородных зон, выделению и делимитации городских агломераций [9, 10].

Результаты и выводы: 1. Природообустройство в пригороде играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития территорий и сохранения экологического баланса в процессе техногенного воздействия урбанизационных процессов, преобразования естественных ландшафтов при застройке объектами жилой и общественной недвижимости, промышленной и инженерной инфраструктуры, системами жилищно-коммунального хозяйства. 2. К приоритетным направлениям природообустройства на пригородных землях следует отнести защиту водных ресурсов, обеспечение мероприятий по охране рек, озёр, прудов от загрязнения, создание водоохраных зон. Создание лесопарков и зеленых зон отдыха. 3. Разработка агроландшафтов, обеспечивающих высокую продуктивность пригородных земель при минимальном воздействии на окружающую среду. 4. Управление отходами с внедрением технологий углубленной переработки мусора. Природообустройство городских агломераций должно включать работы по восстановлению земель, нарушенных промышленной деятельностью, строительством дорог и другими антропогенными факторами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Александров А.А. Урбоэкология / А.А. Александров, Е.В. Титов, В.А. Девисилов. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 400 с. – ISBN 978-5-7038-5402-0.
2. Антонюк АВ. Опыт природообустройства селитебных территорий крупнейших мегаполисов мира / А. В. Антонюк, Л.В. Антонюк // Наследие В.И. Вернадского и современные проблемы экологии. – 2024. – № 1. – С. 253–262. – EDN ROQUWJ.
3. Каюков А.Н. Основы природопользования / А.Н. Каюков, О.П. Колпакова ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – 219 с. – EDN GJEZFL.
4. Особенности сельскохозяйственного землепользования и обеспечение его развития в городских агломерациях (на материалах Пермской городской агломерации) / А.Н. Поносов, А.Л. Желясков, Б. Драшкович, Н.Н. Жернакова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 3(393). – С. 233–237. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_3_233. – EDN BSFAZO.

5. Поносов А.Н. Тенденции использования земель и проблемы территориального развития Пермской городской агломерации / А.Н. Поносов, Б. Драшкович, Н.Н. Жернакова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – № 8. – С. 617–623. – DOI 10.33920/sel-04-2108-09. – EDN FDWKPН.
6. Желясков А.Л. О возможных направлениях использования необрабатываемых сельскохозяйственных угодий Пермского края / А.Л. Желясков, Э.Р. Кузнецова, Н.Д. Кузнецов // Актуальные проблемы нормативно-правового и методического обеспечения реализации Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации : Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Москва, 2024. – С. 28–34. – EDN ULOJWR.
7. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
8. Zonality of grassland and forest in Republika Srpska according to Copernicus database / B. Drašković, S. Stjepanović, S. Petronić [et al.] // Topola. – 2022. – No. 210. – P. 47-55. – DOI 10.5937/topola2209047d. – EDN CAZIFH.
9. Поносов А.Н. О совершенствовании правового регулирования территориального развития городских агломераций / А.Н. Поносов // Конституция Российской Федерации как фундамент современных земельных отношений и развития земельного законодательства : Сборник материалов международной научно-практической конференции. – М.: ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, 2024. – С. 95–101.
10. Поносов А.Н. Совершенствование подходов к определению размеров пригородных зон и организация землепользования при территориальном и экономическом развитии пригородных муниципальных образований на примере Пермской агломерации: монография / А.Н. Поносов ; ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. – Пермь : ИПЦ Прокрость, 2021. – 181 с. – ISBN 978-5-94279-530-6.

УДК 631.1: 504.062.2: 504.062.4

П.Н. Головин, В. Л. Богданов, В.В. Гарманов, Б.В. Заварин
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ АГРОЛАНДШАФТОВ ПО ПРИЗНАКАМ ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ НАРУШЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ

Актуальность. В современных условиях, в связи с климатическими изменениями в природе и негативным антропогенным воздействием на агроландшафты, экосистемы луговых угодий, являющихся источниками кормов для животноводства, могут быть нарушены, что приводит к ущербу в сельскохозяйственной отрасли. Поэтому важно выявить степень нарушенности луговых угодий, а также установить устойчивость такой экосистемы к воздействию внешних факторов. Это позволит более эффективно управлять земельными и растительными ресурсами в агроландшафтах.

Цель исследования. Для совершенствования мониторинга луговых угодий следует разработать систему оценки степени нарушенности и устойчивости экосистемы лугов в агроландшафтах на основе биотических критериев фитоценозов, а также установить стадии деградации лугов в результате их зарастания нежелательной растительностью.

Мониторинг почв представляет собой комплексный процесс, направленный на систематическое наблюдение за состоянием почвенного покрова, анализ его качественных и количественных характеристик, а также – разработку мер по сохранению и повышению почвенного плодородия. Этот процесс включает в себя несколько важных параметров, которые позволяют всесторонне оценить состояние земельных ресурсов и разработать стратегии их рационального использования [1]. Мониторинг лугов для оценки состояния экосистемы включает комплекс работ, направленных на оценку состояния экосистем лугов.

Задачи работы: изучение фитоценологических и морфологических признаков растений в динамике; геоботаническое обследование растительности; оценка процесса зарастания луга древесно-кустарниковой растительностью; изучение состояния почвенного покрова; исследование рельефа и гидрологических условий; оценка культуртехнического состояния лугов; систематизация использования кормовых угодий.

В многолетних исследованиях (11 лет) выявлены три стадии деградации луга: первая стадия – в результате нарушения экосистемы луга в растениях происходят негативные изменения фитоценологических и морфологических характеристик; вторая стадия – формирование фитоценоза луга с большой долей нежелательной сорной растительности; третья стадия – зарастание луга древесно-кустарниковой растительностью.

Для оценки состояния луговой растительности можно выделить индикаторные биотические критерии. Фитоценозы в растительном сообществе являются наиболее отзывчивыми к изменениям во внешней среде. Поэтому целесообразно использовать их фитоценологические и морфологические характеристики в качестве индикаторов степени нарушенности и устойчивости к внешним воздействиям. Оценка состояния луговой растительности можно сделать по следующим показателям: продуктивность растительной массы; видовой состав фитоценоза; проективное покрытие почвы растениями; редуцирующая способность фитоценоза; возраст видового состава растений в травостое. Оценка степени нарушенности луговых угодий в агроландшафтах по фитоценологическим признакам позволяет выявить ключевые изменения в структуре и функционировании экосистемы [2]. Для этого необходимо учитывать приведенные выше критерии. В соответствии с индикаторными биотическими критериями оценивается состояние экосистемы в баллах от 1 до 10, где 1 – сильно нарушенные, 10 – нормальное состояние. Кроме того, определяется поправочный коэффициент для стоимостной оценки в соответствии с оцененным состоянием экосистемы – 4 для нормального состояния, 1 – для сильно нарушенных экосистем. В сильно нарушенных экосистемах количество старых особей превышает новые в отношении 2:1, в то время как в нормальной экосистеме этот показатель – 1:3.

Ключевые показатели нарушенности и устойчивости луговых агроэкосистем:

1. Продуктивность фитомассы снижается в неблагоприятных условиях: она выше – у молодых травостоев (3–5 лет).
2. Видовой состав в нарушенных экосистемах уменьшается: остаются устойчивые виды.
3. Проективное покрытие отражает степень нарушенности: зависит от климата, почвенных условий и антропогенных воздействий.
4. Редуцирующая способность – способность к восстановлению за счет семян, вегетативного размножения и устойчивых видов.
5. Возрастной состав – разновозрастные виды повышают устойчивость: новые особи должны преобладать над старыми.

Балльная система оценки нарушенности по биотическим признакам фитоценозов позволяет нам предложить расчет коэффициента относительной деградации луговых угодий, вычисляемой по следующей формуле (1):

$$K_a = S_{\text{фн}}/S_{\text{фа}} T, \quad (1)$$

где K_a – коэффициент относительной антропогенной деградации за определенный период; $S_{\text{фн}}$ – сумма баллов оценки фитоценозов по биотическим признакам в ненарушенном состоянии; $S_{\text{фа}}$ – сумма баллов оценки фитоценозов по биотическим признакам после антропогенного воздействия; T – время антропогенного воздействия (сумма лет).

Коэффициент деградации луговых угодий целесообразно включать в расчеты при стоимостной оценке земли [3, 4]. Он показывает скорость деградации нарушенных экосистем и интенсивность антропогенного воздействия на природную среду. Такие данные могут быть использованы в геоинформационной системе агроландшафтов в качестве структурного

элемента, характеризующего скорость деградации нарушенных земель [5]. В геоинформационной системе могут применяться данные дистанционного зондирования земли, такие как спутниковые снимки, данные почвенных обследований, а также полевые данные. Оценка состояния земель в агроландшафтах дополняется и полевыми данными, в том числе – данными распространения процессов деградации земли [6, 7]. Примеры полевых снимков, свидетельствующих о зарастании луговых угодий, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры: а – динамика зарастания луга борщевиком Сосновского (2-я стадия деградации); б – начало зарастания луга древесно-кустарниковой растительностью (3-я стадия деградации)

Результаты. В ходе исследований выявлены три стадии деградации луговых угодий в агроландшафтах: начальная стадия – снижение продуктивности фитомассы, ухудшение фитоценологических и морфологических характеристик растений; средняя стадия – доминирование сорной растительности, сокращение биоразнообразия и хозяйственной ценности угодий; критическая стадия – зарастание древесно-кустарниковой растительностью, приводящее к трансформации луга в лесной биотоп. Разработана бальная система оценки состояния экосистемы по пяти критериям: продуктивность фитомассы (в % от потенциальной); видовой состав растительности; проективное покрытие почвы растениями; редуцирующая способность фитоценоза (способность к восстановлению); возрастной спектр растений. Все критерии в совокупности позволяют классифицировать состояние экосистемы как нормальное, слабо нарушенное, средне нарушенное или сильно нарушенное. На основе этих данных предложен коэффициент относительной деградации (K_a).

Выводы:

1. Мониторинг земель луговых угодий в агроландшафтах является важным инструментом при оценке состояния растительного покрова, анализа степени нарушенности экосистемы и определения экономической целесообразности дальнейшего использования кормовых угодий, находящихся в стадии деградации.

2. Применение предложенного метода способствует не только выявлению проблемных участков, но и разработке стратегии восстановления и рационального использования земель. Применение ГИС-технологий позволяет достаточно точно оценить состояние угодий, выявить проблемные участки и спрогнозировать изменения.

3. Меры по восстановлению включают: улучшение растительного покрова, внедрение агротехнических методов и изменение режима землепользования [8-10].

4. Мониторинг с использованием ГИС становится ключевым инструментом для устойчивого управления природными ресурсами и сохранения экологического баланса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наймушина Е.А. Землеустройство как инструмент реализации программы устойчивого развития // В сбор. «Политехническая неделя в Санкт-Петербурге». – СПб.: СПбПУ, 2016. – С. 351–352.

2. Худяков С.Е. Агроэкологический мониторинг земельных ресурсов и оценка агроландшафтов / Худяков С.Е. // Интерэкспо Гео-Сибирь, – № 6(2), – 2020, – с. 124–127.
3. Гарманов В.В. Информационное обеспечение платности землепользования сельскохозяйственного назначения / В.В. Гарманов, В.Л. Богданов // Науки о Земле. – 2015. – № 1. – С. 63–71. – EDN TMNYDD.
4. Гарманов В.В. Система платежей за сельскохозяйственное землепользование / В.В. Гарманов // Вестник факультета землеустройства СПбГАУ. – 2016. – № 2. – С. 7–11. – EDN XQWSDZ.
5. Просяникова О.И., Михайлов В., Калинина Т.А., Королев Ю.А. Применение ГИС-технологий при дистанционном мониторинге земель сельскохозяйственного назначения / Просяникова О.И., Михайлов В., Калинина Т.А., Королев Ю.А. // Агрохимический вестник. – 2010. – №1 – С. 10–11.
6. Бегжанова Г.Т. Экологический анализ агроландшафтов / Бегжанова Г.Т. // Теория и практика современной науки. – 2018. – № 6(36). – С. 102–105.
7. Головин П.Н. Агроэкологическая типизация земель как основа оценки состояния агроландшафтов / П.Н. Головин, В.Л. Богданов // Неделя науки ИСИ. – Ч. 1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 171–173.
8. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Ч. 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXK.
9. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Ч. 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
10. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

УДК 502.36

А.Н. Кушбасов, В.Л. Баденко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИНТЕГРАЦИЯ MBSE В ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

В настоящее время современные промышленные энергокомплексы сталкиваются с необходимостью обеспечения надежности, безопасности и высокой эффективности эксплуатации при одновременном учете природных факторов и технических особенностей объектов. В условиях цифровой трансформации производство переходит к новому уровню, где на первый план выходит интеграция системного подхода, в частности, модельно-ориентированного системного инжиниринга (MBSE) [1, 2]. MBSE предлагает комплексный подход к проектированию, позволяющий создать единую цифровую модель системы, охватывающую все этапы жизненного цикла. Это особенно актуально для промышленных энергокомплексов, где необходимо учитывать взаимодействие множества подсистем, включая генерацию, распределение и потребление энергии, а также их влияние на окружающую среду [3].

Целью работы является разработка методологии интеграции MBSE в проектирование природно-технических систем промышленных энергокомплексов.

На начальных этапах исследования были проанализированы современные подходы к системному инжинирингу и определены ключевые преимущества MBSE в энергетике. MBSE позволяет уменьшить количество ошибок и обеспечить более точное моделирование сложных природно-технических систем (ПТС), что критично для проектирования современных энергетических комплексов [4]. Однако большинство работ фокусируется на отдельных этапах проектирования, игнорируя междисциплинарные связи. Практическая реализация данной методологии в энергетике сталкивается с рядом проблем, таких как необходимость интеграции разнородных данных, обеспечение совместимости различных моделей и ограниченность существующих программных средств. Исследования [5, 6] подчеркивают

необходимость системного подхода, объединяющего MBSE с технологиями цифровой инженерии для повышения точности прогнозов и адаптивности систем.

Системный подход [7] заключается в том, чтобы надежно и безопасно соединить людей, процессы, явления и данные в рамках сквозной цифровой ПТС. Это позволит использовать модели для сценарного моделирования системы, процессов, оборудования, продуктов, деталей на протяжении всего жизненного цикла. Преимущества цифровой инженерии включают обоснованное принятие решений, улучшенную коммуникацию, «прозрачность» структуры и функции системы для всех заинтересованных сторон [8].

На дальнейших этапах исследования с использованием упомянутого модельно-ориентированного подхода была разработана методологическая схема интеграции MBSE в жизненный цикл проектирования энергообъектов, учитывая специфические природно-технические требования. Данная методология позволяет представить ПТС как систему взаимосвязанных слоев, а также позволяет получить вертикальные и горизонтальные связи в системе систем. Разработанная блок-схема, описывающая принципы интеграции MBSE в проектирование ПТС, представлена на рисунке 1.

Имеется возможность системно упорядочить и увязать между собой весь состав используемых моделей. Модели начинают рассматриваться совместно с физическими объектами как полноценные компоненты гибридного представления физической и виртуальной Вселенной. Такой подход позволяет системно и упорядоченно представлять целевые объекты в разных взаимодополняющих и взаимопроникающих слоях моделирования. Создание такого описания объекта позволяет оперативно встраивать объект в другие системы и достраивать, развивать объект как систему. Одним из ключевых преимуществ разработанной методологии является возможность быстрого анализа различных сценариев развития ПТС с учетом изменений в технологиях, экономических условиях и экологических требованиях.

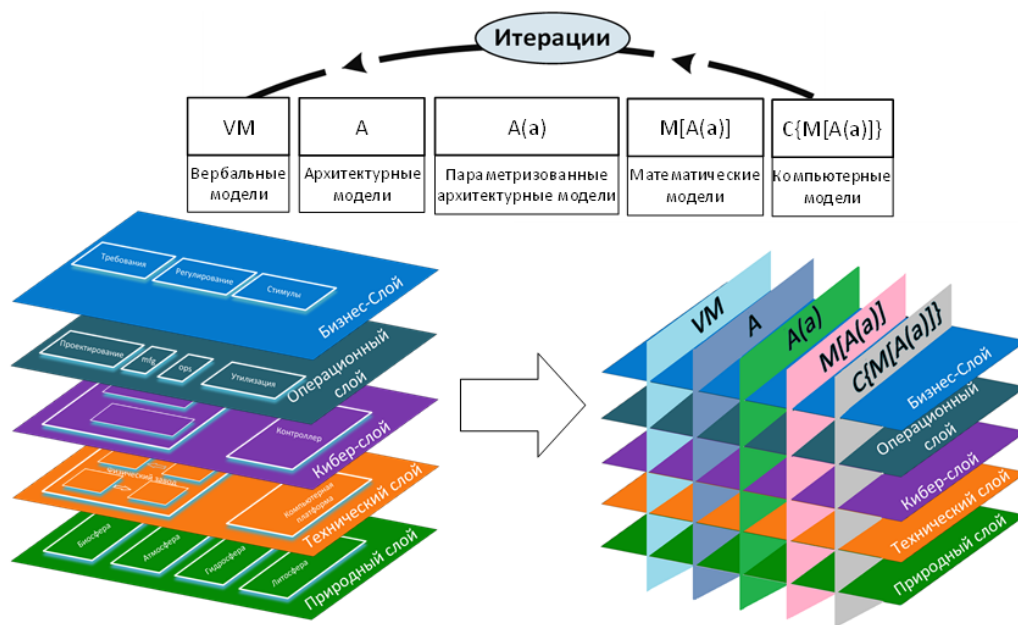


Рис. 1. Блок-схема, описывающая принципы интеграции MBSE в проектирование ПТС

Одно из сильных решений MBSE – это возможность структурирования вербальных представлений ПТС в форме архитектурных моделей $A(a)=\{E, E(a), [E(a), E(a)]\}$ до математики, алгоритмов и автоматизации. Построение матрицы связанностей на основе вербальных представлений представлено на рисунке 2. MBSE подход на основе онтологии, определяет системы, используя осмысленную семантику и синтаксис структуры модели для сбора

необходимой информации: требования, функции, компоненты, системная архитектура, окружающая среда и валидация/верификация. Единая семантическая основа позволяет добиться отсутствия разночтений и двусмысленности в объектах, из которых состоит ПТС.

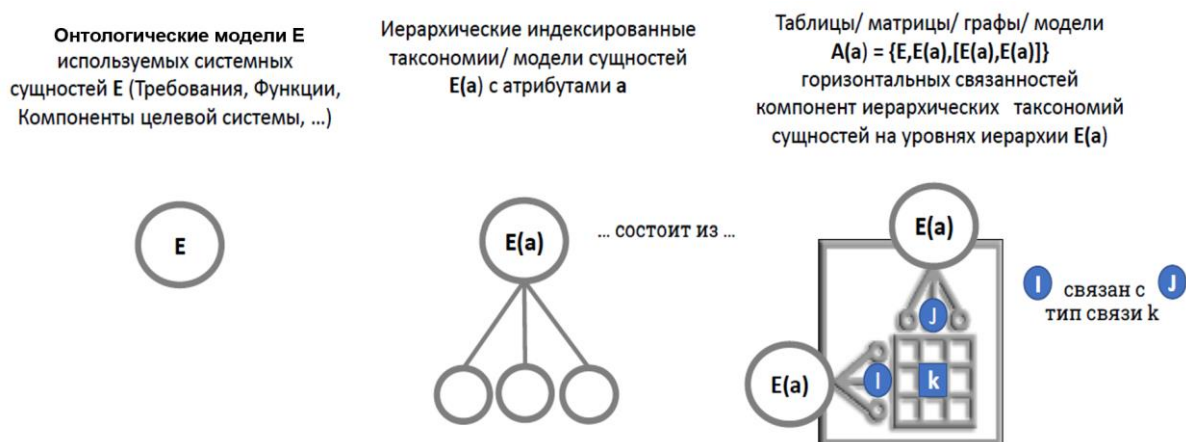


Рис. 2. Построение матриц связанностей на основе вербальных представлений

Выводы. Интеграция MBSE в проектирование ПТС промышленных энергокомплексов является актуальным направлением для повышения качества инженерных решений и оптимизации затрат. Применение цифровых моделей и системного подхода позволяет обеспечить более точное прогнозирование технического и экологического состояния объектов, что критично для повышения их надежности и безопасности. Концепция MBSE является ответом на перечисленные вызовы и призвана: обобщить модели знаний; улучшить коммуникации, обеспечиваемые моделями; лучше оценивать модели на предмет их согласованности, полноты и корректности; увеличить способность анализировать последствия изменений в системе; улучшить преодоление сложности и повысить качество создаваемой ПТС; усовершенствовать извлечение знаний и их повторное использование (что приводит к сокращению времени производственного цикла и снижению затрат на обслуживание).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ben Khalifa R. Integrating Renewable Energy Through Model-Based Systems Engineering / R. Ben Khalifa, N. Mohamed, L. Sbita. – 2024. – P. 1–16.
2. Баденко В.Л. Модельно-ориентированный системный инжиниринг для строителей: основные понятия и принципы: учебное пособие / В. Л. Баденко. – Текст : электронный. – 2023. – Модельно-ориентированный системный инжиниринг для строителей. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2023/tr23-102.pdf/info> (дата обращения: 07.03.2025).
3. MBSE and Sustainability. – 2023. – URL: <https://virtualdutchman.com/2023/02/12/mbse-and-sustainability/> (date accessed: 07.03.2025). – Text : electronic.
4. Lawrence S. MBSE to support decisions for energy systems / S. Lawrence, D. R. Herber Published: Digital Engineering Conference. – Idaho Falls, ID, USA, 2024.
5. MBSE analysis for energy sustainability improvement in manufacturing industry / R. Delabeye, O. Penas, M. Ghienne, [и др.]. – 2022.
6. Integrated MBSE: Integrating systems engineering with the product... – URL: <https://resources.sw.siemens.com/fr-FR/white-paper-integrated-mbse/> (date accessed: 07.03.2025). – Text : electronic.
7. Systems Engineering Handbook. – URL: <https://www.incose.org/2021-redesign/load-test/systems-engineering-handbookv5-b> (дата обращения: 07.03.2025). – Текст : электронный.
8. Operation Principles of the Industrial Facility Infrastructures Using Building Information Modeling (BIM) Technology in Conjunction with Model-Based System Engineering (MBSE) / V. Badenko, N. Bolshakov, X. Rakova, A. Celani // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – No. 21. – P. 11804.

БОРЬБА С КАРБОНАТНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ ОРОСИТЕЛЕЙ БАШЕННЫХ
ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН ПРИ ПОМОЩИ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ
НА ПРИМЕРЕ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

Цель работы – описание способа и технологии очистки внутрикорпусных устройств и оросителей башенных испарительных градирен (далее БИГ). Анализ применения химической очистки внутрикорпусных устройств БИГ с целью возможного применения на АЭС.

Градирни Нововоронежской АЭС-2 спроектированы для условий работы в различных режимах эксплуатации. Вода на градирни подаётся по двум бетонным каналам. В систему водораспределения градирен вода поступает по четырём вертикальным водоподъёмным шахтам. Из водоподъёмных шахт вода поступает в водораспределительные каналы системы водораспределения (РД ЭО 1.1.2.05.0697-2016). Далее вода распространяется по трубопроводам по всей площади орошения градирен. Площадь орошения градирен разделена на отдельные зоны, которые гидравлически независимы друг от друга и управляются задвижками. Часть охлаждаемой воды может поступать через два зимних трубопровода, которые запроектированы для пропуска 50% или 25% общего расхода воды. Градирни оборудованы байпасом в верхней части вертикальных водоподъёмных шахт. БИГ эксплуатируются постоянно в течение года при различных условиях окружающей среды.

Режимы работы системы водораспределения зависят также от количества циркуляционной воды. Предусмотрен выбор соответствующего режима в зависимости от следующих диапазонов расхода воды: 80–120%; 65–80%; 45–65%; 25–45% от номинального расхода воды. При эксплуатации БИГ происходят существенные карбонатные отложения на оросителях (рис. 1). Для борьбы с карбонатными отложениями был проанализирован зарубежный и отечественный опыт, и намечены наиболее эффективные способы очистки оросителей.

Образование карбонатных отложений (накипи) – это химический процесс кристаллизации солей, возникающий из-за того, что концентрация солей в воде достигает точки насыщения и зависящий от многих параметров, таких как исходные концентрации солей, водородного показателя pH, температуры, содержания CO₂ и т.д.

Образование накипи связано с уровнем содержания карбоната кальция в циркуляционной воде, который относительно легко контролируется по данным гидрохимического режима. Знание химических параметров воды позволяет контролировать образование накипи. Адекватная подготовка циркуляционной воды, в основном – добавление кислоты (серная или соляная кислота в случае морской воды), – позволяет полностью устранить образование отложений карбоната кальция. Осуществление продувки системы оборотного водоснабжения – один из ключевых моментов борьбы с образованием накипи, поскольку продувка контролирует концентрацию кальция, способствуя общему понижению концентрации всех примесей. Единственный способ избежать образования накипи из-за сульфата кальция – это циклическое снижение концентрации примесей продувкой системы.

Количество карбонатных отложений зависит от типа конструкции оросителя. Карбонатные отложения могут увеличиваться [1, 2], образовываясь на гофрах оросителя, из-за локальных изменений толщины и температуры водяной пленки. Как правило, некоторые конструкции оросителей также менее чувствительны к образованию карбонатных отложений, как и к биологическому обрастанию.

Количество карбонатных отложений также зависит от конструкции, эксплуатационных характеристик и степени технического обслуживания градирни. Чем ниже уровень теплообмена, тем ниже интенсивность испарительного процесса и, соответственно, процесс образования карбонатных отложений будет проходить дольше.

На пограничных зонах площади оросительного устройства (СП 340.1325800.2017.) между участками с хорошим орошением и сухими местами образование карбонатных отложений происходит быстрее. Это объясняется тем, что на границе таких участков вода растекается очень тонкой пленкой, с поверхности которой происходит быстрое испарение, а образование кристаллов накипи происходит быстро. Такие зоны образуются в градирне при нарушении равномерности водораспределения по площади ее орошения, что может быть результатом засоренности или поломки разбрызгивающих устройств. Карбонатные отложения развиваются быстрее в нижней части оросительного устройства [3]. Они увеличиваются по высоте от верха к низу оросителя из-за снижения температуры воды и поступления воздуха. В данной работе рассматривается химический метод борьбы с карбонатными отложениями. Был проведен процесс очистки блоков оросителя с Нововоронежской АЭС-2 в динамических условиях без нагрева. Был проведен процесс очистки содержанием концентрата средства «Антиржавин» из расчета 1,26 кг средства на 1 кг отложений (уменьшение количества средства на 64%), объем циркуляционной воды 450 кг. Увеличение количества циркуляционной воды обусловлено тем, что при установке насоса с производительностью 6 м³/ч необходимо обеспечить постоянное наличие воды в «чистом» отсеке (при меньшем объеме вода в отсеке уходит быстрее, чем успевает набраться). Очистка производилась последовательно. Сначала блоки оросителя были взвешены и помещены в три слоя в камеру через загрузочный люк на решетку. Масса загрязненных блоков оросителей указана в таблице 1.

Таблица 1 – Масса грязных блоков оросителей

№ блока	Положение блока	Масса грязного блока, кг	Количество отложений, кг
I	Нижний	11,28	4,88
II	Центральный	11,14	4,74
III	Верхний	14,21	7,81

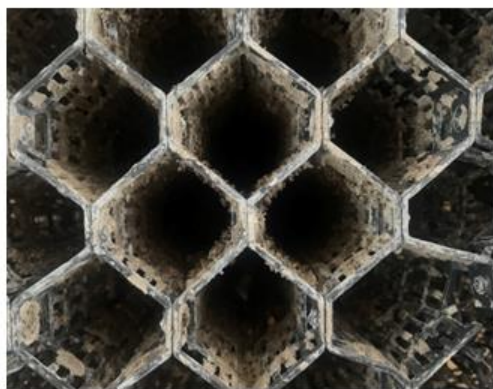


Рис. 1. Оросительное устройство БИГ Нововоронежской АЭС-2



Рис. 2. Процесс водной очистки

Затем в обратную емкость подали 450 кг воды, обеспечив тем самым свободный перелив между отсеками; в результате чего отложения скапливались в отсеке под установленными оросителями, а рабочий раствор, свободный от осадка, циркулировал из «чистого» отсека. После этого была обеспечена циркуляция чистой воды через трубопровод при помощи насоса (рис. 2). Сплинкеры были расположены таким образом, чтобы достичь

максимального орошения площади поверхности блоков оросителя. Через люк было добавлено расчётное количество концентрата средства «Антиржавин» (22 кг). Была отобрана проба рабочего раствора через люк для проведения анализа. Каждый час отбиралась проба для контроля pH. Данный этап проводился в течение 6 ч, корректировка уровня pH не потребовалась, так как значения данного показателя были менее 3. После окончания процесса очистки был слит отработанный раствор через дренажную линию. После слива раствора большая часть нерастворившихся отложений находилась в «грязном» отсеке, что говорит о том, что процесс разделения при помощи перегородки происходит успешно. Была заполнена обратная емкость водой (450 л) для проведения промывки от остатков рабочего раствора на блоках и в системе трубопроводов. Затем промывочная вода через дренажную линию была удалена и после того, как вся жидкость стекла с блоков, а сами они высохли, был произведен их демонтаж и взвешивание (таблица 2).

Таблица 2 – Масса очищенных блоков

№ блока	Положение блока	Масса очищенного блока, кг	Количество удаленных отложений, кг	Степень очистки, %
I	нижний	6,69	4,59	94
II	центральный	6,84	4,3	90,7
III	верхний	6,64	7,57	96,9

Выводы: была произведена очистка блоков оросителя с градирни Нововоронежской АЭС-2. Степень очистки для нижнего блока составила 94%, для среднего 90,7%, для верхнего 96,9%. Дальнейшее уменьшение удельного расхода концентрата средства «Антиржавин» на 1 кг отложений нецелесообразно, так как при более низких концентрациях значительно увеличится время промывки; полный цикл одновременной промывки двух сегментов БИГ может занять до 60 суток без учёта времени монтажа трубопроводов, насосов, бассейнов и т.д. Рекомендуется провести опыт по проведению промывки на месте в два этапа: разделить сегмент на две части и для одной из них провести очистки свежим раствором средства «Антиржавин», а для другой провести очистку отработанным раствором с добавлением концентрата средства для поддержания уровня pH. При этом результаты натурного моделирования будут сравниваться с результатами численного моделирования, согласно методологии модельно-ориентированного инжиниринга [4–7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Monjoie M. Fill Design in Relation with Fouling and Scaling Resistance //CTI Journal-Cooling Tower Institute. – 2012. – Vol. 33(1). – P. 8.
2. da Silva A.F., Fernandes H.L.S., Pessoa F.L.P. An equilibrium model for simulating the deposition of calcium carbonate in cooling towers // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2023. – Vol. 40(4). – С. 1133–1157.
3. Troncin H. Fill testing in cooling tower in case of fouling issues // CTI Journal-Cooling Tower Institute. – 2012. – Vol. 33(2). – P. 62.
4. Badenko V. et al. Model-based system engineering approach for existing industrial enterprise digital transformation // Journal of Infrastructure, Policy and Development. – 2024. – Vol. 8(14). – P. 7983.
5. Badenko V. et al. Method for Developing the System Architecture of Existing Industrial Objects for Digital Representation Tasks //Systems. – 2024. – Vol. 12(9). – P. 355.
6. Badenko V. et al. Principles for Sustainable Integration of BIM and Digital Twin Technologies in Industrial Infrastructure // Sustainability. – 2024. – Vol. 16(22). – P. 9885.
7. Баденко В.Л., Тищенко Е.Б., Ядыкин В.К. Модельно-ориентированный системный инжиниринг для технологий создания цифрового представления существующего промышленного предприятия // Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ИНПРОМ-2024): Сборник трудов X Международной НПК. В 2-х томах. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 152–156.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИССИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Цель работы – исследование загрязнения окружающей среды материалами из клееной древесины в течение жизненного цикла зданий и сооружений.

Во второй половине XX века произошло значительное увеличение антропогенной нагрузки от хозяйственной деятельности человека на окружающую среду, в том числе – вследствие динамичного развития различных природно-технических систем (ПТС). Под ПТС понимаются структурно сложные природно-антропогенные системы, решающим образом преобразованные или искусственно созданные человеком, характеризующиеся специфическим обменом веществ, потоков энергии и информации и вновь образованными прямыми и обратными связями [1]. На рис. 1 показано изменение средней температуры воздуха на планете с 1991 г. по февраль 2025 г.

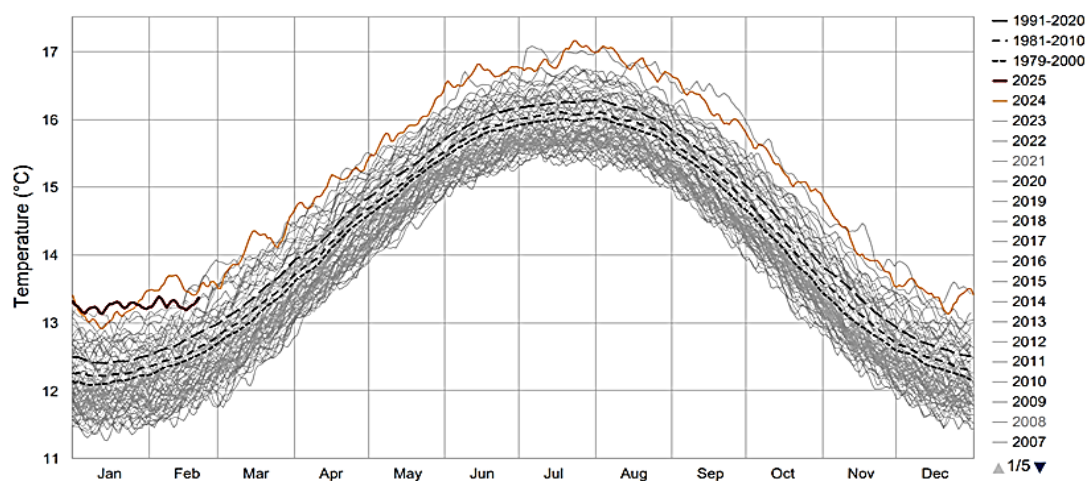


Рис. 1. Средняя температура воздуха на планете с 1991 г. по февраль 2025 г. [2]

Согласно данным одного из ведущих мировых центров по изменению климата Met Office Hadley Centre средняя температура воздуха на планете с 1850 г. по 2024 г. выросла на 1,5°C: согласно прогнозам, если существующие тренды сохранятся, то планетарная температура будет продолжать возрастать [3]. В результате повышения температуры воздуха и воды ключевые тренды изменения климата ускорились. Вследствие происходящих климатических изменений растет количество инцидентов, связанных со стихийными бедствиями. Согласно данным Всемирной Метеорологической Организации с 1970 по 2020 г. на планете произошло в 4,5 раза больше инцидентов связанных с климатическими изменениями. Например, только в США ущерб от стихийных бедствий с 1980 по 2024 г. увеличился более, чем в 12 раз и составил более 550 млрд. долл. (рис. 2) [4].

Следует отметить, что рискам такого рода бедствий особенно подвержена ресурсно-ориентированная экономика. Согласно прогнозным оценкам, годовые потери мирового внутреннего валового продукта (ВВП) достигнут 3–5% в ближайшие 30 лет. Согласно прогнозным оценкам для России к 2030 г., потери могут составить порядка 1,5% ВВП. Кроме того, порядка 250 млн человек в мире могут покинуть свои дома из-за климатических катаклизмов к 2030 г. Важно подчеркнуть, что на происходящие в настоящее время

климатические изменения оказывают влияние как естественные причины (изменение солнечной активности, смещение орбиты и угла наклона планеты к плоскости эклиптики, смещение тектонических плит, вулканическая активность), так и антропогенные, связанные, в том числе – с динамичным развитием различных ПТС. Ключевым фактором повышения температуры считается эмиссия парниковых газов, к которым относятся СО (оксид углерода), СО₂ (диоксид углерода) и СН₄ (метан). Согласно данным, приведённым в [5], эмиссия диоксида углерода в мире с 1950-х годов увеличивалась более чем в 7 раз и в 2023 г. составила порядка 1,8 трлн. т. Основными эмитентами в структуре выбросов парниковых газов являются промышленные предприятия, электростанции, сельское хозяйство, строительная индустрия, а также лесное хозяйство [5].

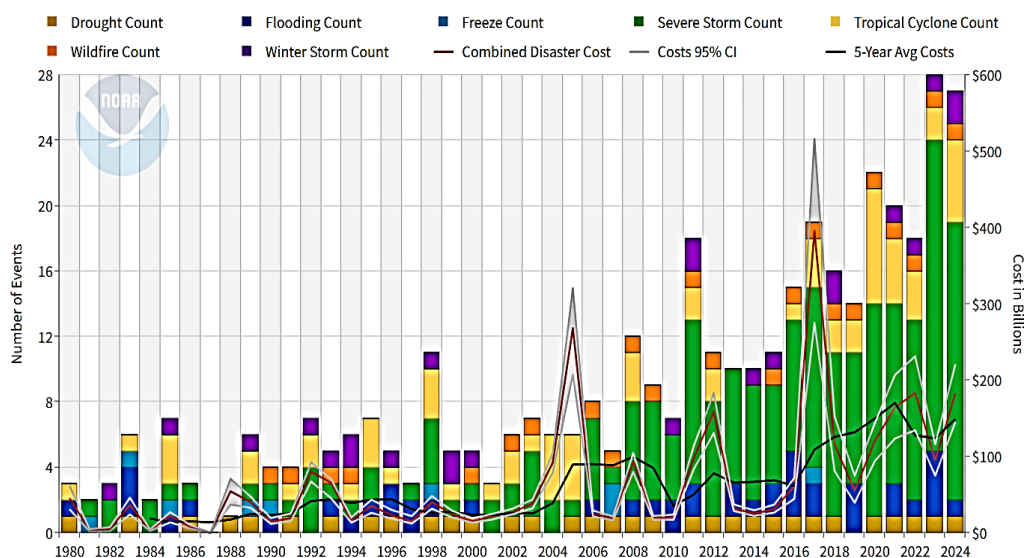


Рис. 2. Количество стихийных бедствий и экономический ущерб от них в США с 1980 г. по 2024 г. [4].

В энергетической отрасли в настоящее время активно развиваются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В 2023 г. установленная мощность энергообъектов на основе ВИЭ увеличилась на 473 ГВт (рост составил 36%). Ветровая энергетика в настоящее время является одним из самых развивающихся направлений ВИЭ. Установленная мощность ВЭС в мире за последние 25 лет выросла более чем в 100 раз с 10 ГВт и составила в конце 2023 г. более 1000 ГВт [6].

Для определения эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду в течение жизненного цикла ПТС (строительство, эксплуатация, снятие с эксплуатации) в мировой практике применяется анализ жизненных циклов (АЖЦ). В АЖЦ разработано программное обеспечение со стандартизированными методиками расчёта. Несмотря на внедрение программного обеспечения, АЖЦ остаётся громоздким, трудоёмким и не унифицированным. АЖЦ предназначен для проведения «детальных» расчётов эмиссий загрязняющих веществ в течение жизненного цикла различных ПТС, результаты которых используются при составлении экологических деклараций, для оптимизации их параметров и технических характеристик. АЖЦ целесообразно использовать для оценки воздействия на окружающую среду от отдельных ПТС. Вместе с тем он не позволяет оценить влияние отраслей на загрязнение окружающей среды на климатические изменения и не подходит для решения геоэкологических задач. Альтернативных методик как в России, так и за рубежом в настоящее время нет. Для решения задач, связанных с климатическими изменениями и определения эмиссий загрязняющих веществ в течение жизненного цикла ПТС необходимо применять унифицированную методику на основе

укрупнённых экологических показателей (далее – укрупнённых показателей), которая позволит оценивать многочисленные ПТС в различных отраслях.

В работе [7] обосновано использование укрупнённых показателей для определения эмиссий загрязняющих веществ ($\text{CO}_2\text{экв}$ (диоксид углерода), $\text{SO}_2\text{экв}$ (диоксид серы), $\text{PO}_4\text{экв}$ (фосфаты) для ПТС на базе наземных ВЭС. В [8] предложена методика определения эмиссий загрязняющих веществ в течение жизненного цикла ПТС на базе наземных ВЭС. Для этого составлена база данных по укрупнённым показателям эмиссий загрязняющих веществ, которая зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «База данных по укрупнённым показателям эмиссий загрязняющих веществ при производстве элементов ветроэнергетических установок и ветроэлектростанций» (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621868 от 07 июня 2023 г.) [9].

Результаты и выводы

В рамках апробации методики (в [8]) проведены расчёты эмиссий загрязняющих веществ в течение жизненного цикла ВЭУ и наземных ВЭС и оценен геоэкологический эффект от их использования по сравнению с тепловыми электростанциями. Из результатов расчётов следует, что использование в качестве источников энергоснабжения рассматриваемых ВЭС позволяет предотвратить от 4,4 до 15,1 млн т эмиссии $\text{CO}_2\text{экв}$ при сравнении с ТЭС на каменном угле и от 2,5 до 8,7 млн т. эмиссии $\text{CO}_2\text{экв}$ при сравнении с ТЭС на природном газе. Эмиссия $\text{CO}_2\text{экв}$ в течение жизненного цикла ВЭС меньше эмиссии $\text{CO}_2\text{экв}$ при производстве электроэнергии на ТЭС в 40–108 раз (в зависимости от типа ТЭС и рассматриваемых процессов на этапе снятия ВЭС с эксплуатации) [8].

Рекомендация. Авторы рекомендуют использовать укрупнённые показатели для оценки загрязнения окружающей среды и для других типов ПТС. В настоящее время проводятся исследования по обоснованию использования и применению укрупнённых показателей для оценки загрязнения окружающей среды в течение жизненного цикла зданий и сооружений клеёной древесины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Международный институт по изменению климата. URL: https://climatereanalyzer.org/clim/t2_daily/?dm_id=world (дата обращения 27.02.2025).
2. Фёдоров М.П. Индикаторы и индексы в моделировании природно-технических систем. /М. П. Фёдоров, А. А. Музалевский// Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2013. – №. 5. – № 3. – С. 49–64.
3. Oxford Martin School. Annual temperature anomalies relative to the pre-industrial period, Global. URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions> (дата обращения 28.02.2025).
4. National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/state-summary/US> (дата обращения 01.03.2025).
5. Global Carbon Budget. Cumulative CO_2 emissions. URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions> (дата обращения 03.03.2025).
6. Renewables Global Status Report 2024. URL: <https://www.ren21.net/gsr-2024/> (дата обращения 04.03.2025).
7. Михеев П.Ю. Определение эмиссий загрязняющих веществ при производстве элементов ВЭУ и ВЭС по укрупнённым показателям. /П.Ю. Михеев // Энергия: экономика, техника, экология. – 2023. – № 5. – С. 39–53.
8. Mikheev P.Yu. Methodology for Determining Emissions of Pollutants During the Life Cycle of Wind Power Plants by Aggregated Data / M.P. Fedorov, A.N. Chusov, N.A. Politaeva. Ecology and Industry of Russia. – 2023. – Vol.27(10). – P. 64–71.
9. Михеев П.Ю., Чусов А.Н., Политаева Н.А. База данных по укрупнённым показателям эмиссий загрязняющих веществ при производстве элементов ветроэнергетических установок и ветроэлектростанций (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621868). Российская Федерация, RU 2023621868. Дата государственной регистрации 07.06.2023.

АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА РАЗВИТИЯ НАМЫВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Цель работы – заключается в анализе эффективности инициатив по развитию намывных земель с точки зрения ключевых участников процесса: городских властей, владельцев недвижимости и девелоперов.

В условиях нарастающего дефицита природных ресурсов, роста численности населения и увеличения строительной активности становится необходимым внедрение новых решений, способствующих созданию достойных условий проживания [1]. Намывные участки обладают потенциалом для оптимизации земельных ресурсов и могут оказать положительное влияние на развитие заболоченных и прибрежных территорий. Их можно использовать для строительства жилых комплексов, инфраструктурных объектов, благоустроенных зеленых зон, спортивных сооружений, промышленных объектов и автодорог. Подобные намывные территории активно используются в крупных мегаполисах Европы, Азии и США.

В различных странах (Россия, Нидерланды, Дания, Италия, Великобритания, Китай, Япония, Индия, Бразилия, Канада, США, Катар, Кувейт и ОАЭ) были зафиксированы факты создания намывных территорий. На основе данных, собранных в 2023 году, была разработана схема распределения намывных территорий по странам (рис. 1).

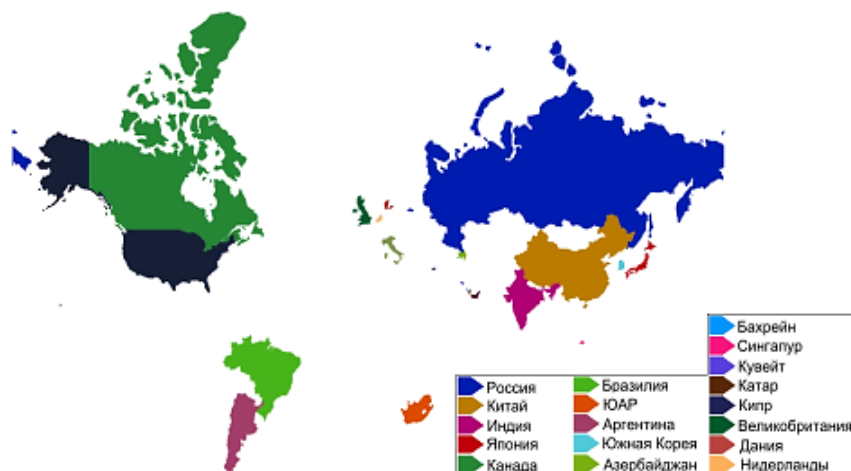


Рис. 1. Распределение намывных территорий по странам

Китай активно занимается созданием искусственных территорий для достижения различных целей, включая экономические, военные и экологические, а также для повышения своего статуса на международной арене. В экономическом плане это проявляется в разработке дополнительных портов и терминалов, которые обеспечивают поддержку морского и воздушного транспорта. На побережье Нидерландов доминируют природные образования, такие как польдеры и дюны. Искусственные территории создаются для решения проблем, связанных с высокой плотностью населения, нехваткой земель и необходимостью развития промышленного сектора. Согласно различным источникам, площадь намывных территорий в Нидерландах может достигать до 6400 км² (рис. 2).

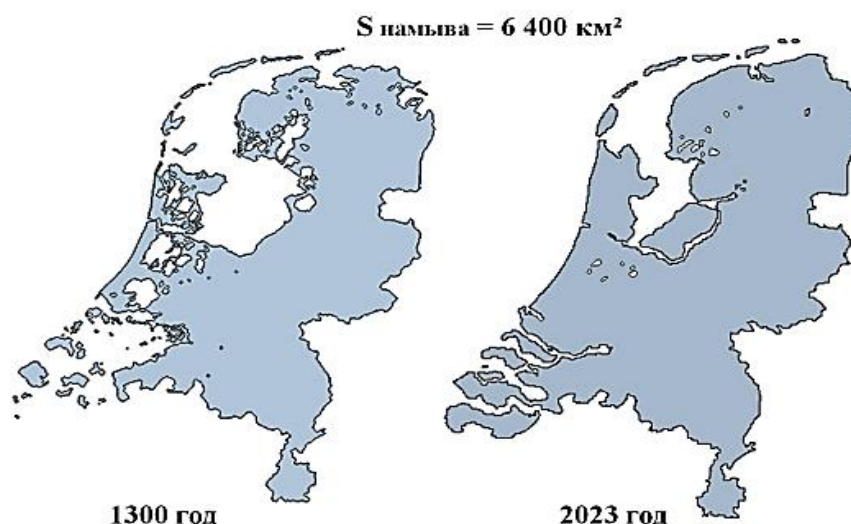


Рис. 2. Намывные территории в Нидерландах

В северной столице России процесс намыва земель начался с момента ее оснвания. В 1706 г. Петр Первый поручил расширение Заячьего острова, а впоследствии и других прилегающих территорий. В 1714 г., вдохновленный методами строительства, практикуемыми в Нидерландах, император идал указ, обязывающий всех приезжих в Петребург привозить камни для мощения улиц. Так, путешественники, передвигающиеся на телегах, должны преследовать цель защиты города от затоплений, однако со временем искусственно созданные территории начали использоваться для сооружения портовой инфраструктуры (рис. 3).

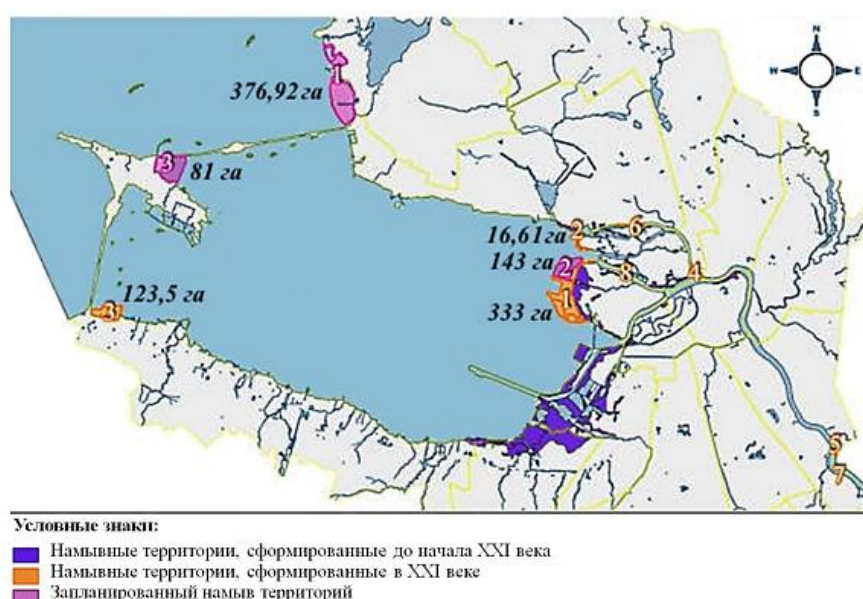


Рис. 3. Намывные территории в Санкт-Петербурге

В период с 1970-х до начала 1980-х годов в Василеостровском районе Санкт-Петербурга был проведен намыв территорий площадью примерно 350 га. В Санкт-Петербурге, как утверждает доктор географических наук Артем Павловский, с 1703 по 2023 год было намыто более 3000 га искусственных территорий. Основные цели таких инициатив заключается в увеличении площади города снижении плотности застройки. В итоге в России насчитывается множество намывных территорий суммарной площадью примерно 247 км² [2].

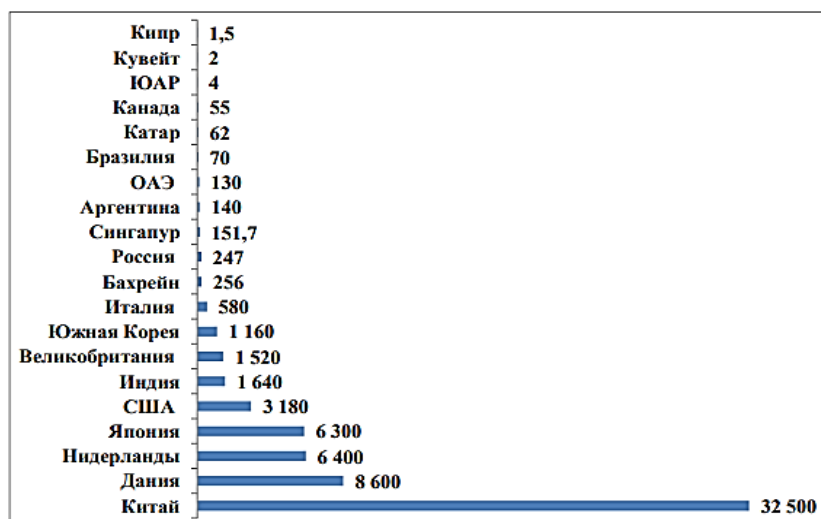


Рис. 4. Сравнение площадей намывных территорий (в км²) различных стран в 2023 г.

В рамках данного исследования осуществлен сравнительный анализ площадей намывных территорий различных стран. Результаты анализа представлены на рис. 4. Для проведения сравнительного исследования был применен метод ручного подсчета, при котором площадь вычислялась путем суммирования фактических показателей намыва для каждой страны, за исключением Канады. По данным на 2023 г. около 9% стран Мира обладают намывными территориями, общая площадь которых составляет 62 992,2 км². На первом месте среди стран находятся Китай с намывной территорией площадью 32 500 км², тогда как Кипр имеет наименьшую площадь – всего 1,5 км². Российская Федерация занимает 11-е место с суммарной площадью намывных территорий в 247 км².

Выводы:

1. Результаты анализа российского и зарубежного опыта развития намывных территорий свидетельствует о неравномерности использования таких территорий в разных странах Мира.
2. Для ключевых пользователей намывных территорий (городских властей, владельцев недвижимости и девелоперов) крайне важен взвешенный подход к развитию намывных территорий с учетом экологической допустимости и экономической целесообразности создаваемых землепользований [3–5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 28.04.2023). – СПС «Консультант Плюс».
2. Об утверждении предмета охраны, границ территории и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения федерального значения город Санкт-Петербург. Приказ Минкультуры России от 30.10.2020 №1295 (ред. от 19.10.2022) (Зарегистрировано в Минюсте России 16.06.2021 №63887). – СПС «Консультант Плюс».
3. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4). – СПС «Кодекс».
4. Баженов В.К., Червонцева М.А., Топал Г. Создание искусственных земельных участков на землях водного фонда // Вестник МИТУ-МАСИ – 2019. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-iskusstvennyh-zemelnyh-uchastkov-na-zemlyah-vodnogo-fonda>
5. Искусственные острова: 10 самых красивых и необычных [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mandria.ua/canada/59375>

СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ БАСЕЙНА САЛГИРА В ЧЕРТЕ ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ

Техническое состояние берего- и дноукрепления на реках является важным фактором, влияющим на целостность расположенных вблизи сооружений, пропускную способность и внешний вид этих водных объектов. Обследованию данных конструкций, а также анализу их значения для рационального природообустройства территории населенных пунктов посвящены работы Соколовой С.А., Коломоеца П.П., Касьянова В.Ф., Чиповой З.Х., Чебановой Е.Ф. и многих других. В этих работах подчеркивается важность правильного выбора конструктивного решения берего- и дноукрепления, проведения регулярных наблюдений за состоянием данных сооружений и осуществления требуемых текущих и капитальных ремонтов [1–6].

Цель данной работы – провести визуальное обследование русел водотоков на территории г. Симферополя, подготовить картосхему расположения облицованных участков и выделить среди них наиболее нуждающиеся в проведении капитального ремонта.

На основе собранной информации была подготовлена картосхема расположения облицованных участков обследованных водных объектов (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения облицованных участков русел водотоков бассейна р. Салгир на территории г. Симферополя

Детальная информация по протяженности облицованных участков русел водотоков Салгир, Малый Салгир, Абдалка, Славянка в границах Симферополя приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сводные данные по протяженности облицованных участков русел основных водотоков на территории г. Симферополь

Название водотока	Протяженность участка водотока в зависимости от наличия укрепительных сооружений, км		
	Облицовка	Коллектор без учета участков мостов и проездов	Самодельная облицовка
р. Салгир	7,0	0,0	0,0
р. Малый Салгир	2,5	0,0	0,0
р. Абдалка	0,3	0,0	0,0
р. Славянка	1,1	0,8	0,8

В ходе визуального обследования русел водотоков в основном были зафиксированы локальные участки разрушения плит облицовки, обусловленные размывом русла и, как следствие, поднятием укрепляющих дно сооружений. На рис. 2 приведены примеры, отражающие состояние защитных конструкций.

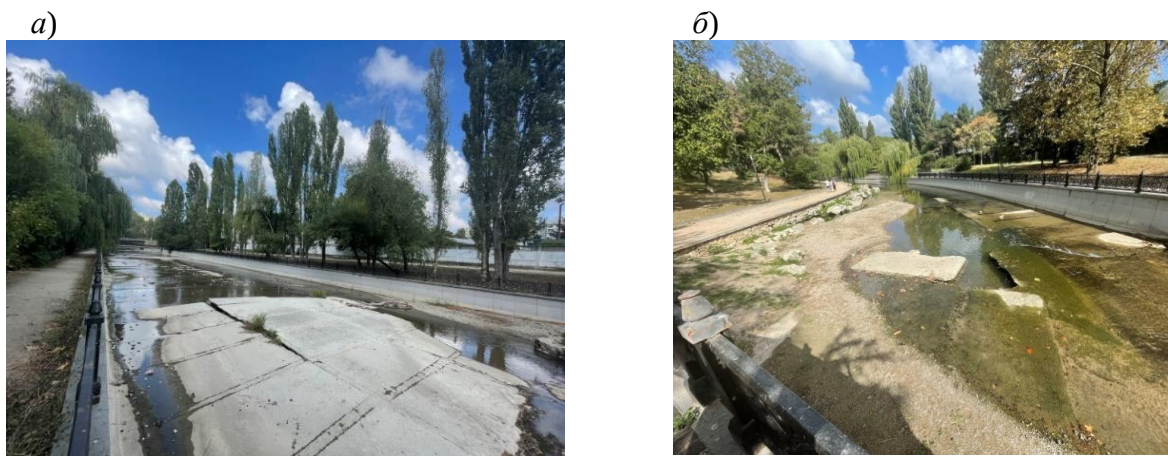


Рис. 2. Примеры нарушения целостности укрепительных сооружений, зафиксированные на р. Салгир на территории г. Симферополь: а – разрушение стыков и, как следствие, поднятие плит, обусловленное размывом русла; б – разрушение укрепляющих дно плит

Информация и снимки зафиксированных разрушений были проанализированы, и на их основе выделено два участка, характеризующиеся наиболее неблагоприятным техническим состоянием береговых и донных защитных конструкций, с которых целесообразно начать проведение ремонтных работ. Они расположены на р. Салгир (рис. 3). Более детальная информация по ним приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Расположение участков русла р. Салгир на территории г. Симферополь, характеризующихся наиболее неудовлетворительным техническим состоянием облицовки

Место расположения	Координаты		Протяженность участка, м
	начала	конца	
Район ул. Воровского	44,948858 с. ш.; 34,119059 в. д.	44,948933 с. ш., 34,118201 в. д.	69
Район ул. Ракетная	44,972838 с. ш.; 34,080289 в. д.	44,974731 с. ш., 34,078436 в. д.	278

а)



б)



Рис. 3. Участки, характеризующиеся неудовлетворительным техническим состоянием укрепительных сооружений: а – р. Салгир в районе ул. Воровского; б – р. Салгир в районе ул. Ракетная

Выводы. В целом техническое состояние облицовки водотоков на территории г. Симферополя (за исключением локальных участков) можно охарактеризовать как удовлетворительное. Но при визуальном осмотре повсеместно прослеживается разрушение стыковых швов между донными укрепительными плитами, что, в свою очередь, влечет развитие деформации дна русла и, как следствие, поднятие, смещение и разрушение конструктивных элементов облицовки, особенно в периоды паводков. Это, в свою очередь, свидетельствует о целесообразности проведения текущих ремонтов берего- и дноукрепительных сооружений, направленных на герметизацию швов.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ «Усовершенствование методологического подхода по управлению экологической безопасностью на водных объектах городской агломерации» (регистрационный номер 22-27-20062).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Попова П.М. Берегоукрепление реки Раменки и оценка последствий для экологии / П. М. Попова // Информационные системы и технологии в АПК и ПГС: сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции. – 2024. – С. 340–344.
2. Анастасьева И.В. Берегоукрепление реки Нальчик в Кабардино-Балкарии / И. В. Анастасьева, И. А. Соловьева, П. П. Коломоец // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам II Международной научной экологической конференции. – 2018. – С. 7–11.
3. Касьянов В.Ф. Обустройство берегоукрепительных сооружений в городе Нальчик / В. Ф. Касьянов, З. Х. Чипова // БСТ: бюллетень строительной техники. – 2020. – № 5 (1029). – С. 31–33.
4. Шеховцов К.С. Берегоукрепление левого берега р. Кубань вблизи аула Псейтук / К. С. Шеховцов, Е. Ф. Чебанова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 72-й Научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2016 год. – 2017. – С. 152–155.
5. Фоменко Д.Е. Деформация русла реки Лаба в районе аула Кошехабль / Д. Е. Фоменко, Е. В. Иванченко, М. И. Нездымовский, Е. Ф. Чебанова // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам III Международной научной экологической конференции. – 2029. – С. 335–338.
6. Bank Protection on Storage Reservoirs for Municipal Coastal Areas / N. Arefiev, V. Badenko, A. Nikonorov [et al.] // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities (SPbUCEMF-2015), 2015. – P. 20–25. – DOI 10.1016/j.proeng.2015.08.118. – EDN UETQXR.

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ «НРК – ЭКСПЕРТ»: АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Одной из ключевых задач современного сельского хозяйства является получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, в том числе – при отсутствии возможностей увеличения площади пашни. Не менее важной является и задача рационального использования земельных и водных ресурсов с минимизацией ущерба, наносимого окружающей среде аграрным производством с применением удобрений, мелиорантов и средств защиты растений. Для решения этих актуальных задач сельскохозяйственная наука (агрономия, растениеводство, животноводство, мелиорация и др.) ориентируется на цифровые подходы к применению агротехнологий, основанные на вероятностных расчетах, математическом моделировании и применении спутниковой информации [1–3]. Как известно, цифровизация является одним из современных системных подходов к повышению эффективности сельскохозяйственного производства, особенно – в регионах, испытывающих нехватку основных видов ресурсов (например, в Республике Крым – водных ресурсов), лимитирующее влияние которых может быть уменьшено при учете их возможной нехватки в отдельные периоды и сезоны [4–5].

Цель работы – обоснование актуальности разработки программного продукта «НРК – ЭКСПЕРТ» и анализ перспектив его практического применения в Агропромышленном комплексе Республики Крым.

В настоящее время ряд разработок в области современных цифровых агротехнологий можно отнести к частичным аналогам создаваемого программного продукта: от простейших калькуляторов «планируемый урожай – вынос элементов питания – потребность в азоте, фосфоре, калии» до подсистем в сложнейших программных комплексах, использующих геонформационные системы и элементы искусственного интеллекта («ExactFarming», «Карта урожая», «OneSoil», ООО «Айтисфера» [6–9]). Каждый программный продукт (ПП) имеет свою потребительскую нишу, но многие из них разработаны для тепличных предприятий, такие как «Агрохимик», НРК ФИТО Агроном, Flora SeriesPPM Calculator. В ряде разработок подобных ПП крымский регион не включен в перечень регионов, которые могут быть заданы (выбраны) пользователем для проведения необходимых расчетов: и на уровне калькуляторов такие ПП не могут учесть влияние влагообеспеченности посевов (посадок) сельскохозяйственных культур на потребности в минеральных удобрениях и других агрохимикатов. Вместе с тем не каждый фермер может приобрести и эффективно применять программные комплексы уровня «ExactFarming» (кроме знаний в соответствующих отраслях сельскохозяйственной науки (например – в агрономии), для эффективного использования ПП необходим опыт работы с электронной картографией, спутниковыми данными и др.). Перечисленные факторы обуславливают актуальность проводимой работы. С учетом перечисленных факторов разрабатываемый ПП «НРК – ЭКСПЕРТ» ориентирован на нишу «интеллектуальных калькуляторов», сочетая в себе ожидаемую невысокую стоимость с дополнительными возможностями, направленными на решение практических задач для засушливых, вододефицитных регионов, таких как Республика Крым (при этом в разработке предусмотрено использование открытых данных дистанционного зондирования Земли – ДЗЗ), что является одним из основных преимуществ разрабатываемого ПП.

Развитие цифровых технологий позволило усилить акцент на задействование открытых данных ДЗЗ для мониторинга роста и развития сельскохозяйственных культур на уровне полей и полевых участков, а также для прогнозирования а) урожайности агроценозов и б) качества продукции растениеводства, что может быть источником информации для принятия технологических решений и (потенциально) ориентиром для определения необходимого уровня обеспечения культивируемых растений элементами минерального питания и средствами защиты культур от болезней, вредителей и сорняков. Кроме того, спутниковая информация (данные ДЗЗ) широко используется и как дополнительный (к наземным данным) источник агроклиматических данных, который позволяет получать пространственно-распределенные материалы ДЗЗ различного временного и пространственного разрешения (3 часа, сутки и более; 0,01°, 0,1°, 0,25° и крупнее). Эти данные могут включать в себя информацию о температуре воздуха и поверхности почвы, осадках, физическом испарении, транспирации и продуктивных запасах влаги в корнеобитаемом слое почвы. Поскольку многие показатели в этих базах данных не могут быть получены из материалов прямых измерений, постольку эти показатели оцениваются по расчетным данным, получаемым с использованием достаточно сложных математических балансовых моделей. Поэтому для эффективного применения таких данных во многих случаях необходима их региональная верификация.

Отечественные аграрии увеличивают дозы и общие объемы внесения минеральных удобрений: поэтому актуальность и приоритетность исследований в области рационального использования агрохимикатов продолжают возрастать (из-за прогрессирующей разбалансированности отбора и восполнения элементов минерального питания сельскохозяйственных культур на пахотных землях, особенно усугубляющейся в условиях климатических изменений). Экономический ущерб от потерь элементов минерального питания растений в агропроизводстве (для зерновых в целом по РФ) в 2021 г. составил приблизительно 2,5 тыс. руб./га (с балансом основных элементов минерального питания НРК – 63,5 кг/га), что в пересчете на площадь зерновых культур в Республике Крым в 2023 году (около 560 тыс. га) составляет приблизительно 1,4 млрд руб. в год. При этом в России постоянно совершенствуются методы и теоретические подходы к поиску ресурсосберегающих технологий применения средств химизации земледелия, что подтверждает актуальность и перспективность исследований, проводимых авторами.

Выводы: 1) Учитывая высокий уровень варьирования погодных условий (по причине климатических изменений), особенно – при богарной системе в зоне рискованного земледелия (к которой относится и степная часть Крымского полуострова), одной из современных тенденций анализа возможных вариантов рационального использования природных ресурсов, а также агрохимикатов, является применение сценарных вариантов, рассчитываемых с применением ПП «НРК – ЭКСПЕРТ». 2) Более обоснованная экономическая оценка эффективности использования сельскохозяйственного землепользования, а также минеральных удобрений и других агрохимикатов подразумевает расчет такой оценки вкупе с оценкой эффективности производства продукции растениеводства (при расчете технологической карты возделывания сельскохозяйственных культур), а еще точнее – такие оценки следует рассчитывать для севооборотов в целом [10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Трендов М.Н., Варас С., Цзен М. Цифровые технологии на службе сельского хозяйства и сельских районов. Справочный документ// Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2019. – 26 с.
2. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.

3. Кирюшин В.И., Иванов А.Л., Козубенко И.С., Савин И.Ю. Цифровое земледелие // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – №5. – С. 4–9.
4. Николаев Е.В., Изотов А.М., Тарасенко Б.А. Растениеводство Крыма / Под ред. Е.В. Николаева. – Симферополь: Фактор, 2006. – 352 с.
5. Щепина И.Н., Маслова М.И., Гоголева Т.Н. Анализ использования цифровых технологий в организациях российских регионов // Вестник ВГУ. Экономика и управление. Сер 1. – 2023. – С. 65–82.
6. Онлайн сервис «ExactFarming» [Электронный ресурс] – URL: <https://exactfarming.com/> (дата обращения 20.12.2024).
7. Онлайн сервис «Карта Урожая» [Электронный ресурс] – URL: <https://cropmap.ru/> (дата обращения 20.12.2024).
8. Онлайн сервис «OneSoil» [Электронный ресурс] – URL: <https://onesoil.ai/ru> (дата обращения 20.12.2024).
9. Онлайн сервис ООО «Айтисфера» [Электронный ресурс] – URL: <https://exactfarming.com/ru/company/about> (дата обращения 22.12.2024).
10. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

УДК 631.171

Н.Г. Бойко¹, В.Ф. Попович¹, Е.А. Дунаева¹, В.В. Терлеев^{2,3}

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В 2021-2024 ГГ. ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Одной из важнейших отраслей сельского хозяйства, которая обеспечивает продовольственную безопасность страны, является растениеводство. К основным проблемам развития этой отрасли относятся возможные потери урожая и понижение качества продукции растениеводства из-за недостаточного количества элементов минерального питания, неправильного применения средств защиты растений, несвоевременной уборки урожая, а также его хранения [1].

Для повышения устойчивости и эффективности отрасли необходимо на всех уровнях управления и принятия решений ускорить внедрение цифровых технологий. Построение технологических карт является одним из элементов внедрения цифровых технологий [2] в растениеводство: это дает возможность рассчитывать экономическую эффективность и рентабельность возделываемых в хозяйствах культур, также осуществлять мониторинг выполнения необходимых технологических операций [3, 4]. Поэтому основным документом экономического анализа и планирования на предприятии в растениеводстве являются технологические карты, которые необходимы для разработки и принятия конкретных управленческих решений [5, 6].

Цель работы – оценить эффективность возделывания озимой пшеницы в Республике Крым 2021–2024 гг. при создании технологических карт.

За основу создания технологической карты взят шаблон, разработанный и апробированный в условиях функционирования производственных подразделений ФГБУН «НИИСХ Крыма». Изучив закупочные цены на минеральные удобрения, топливо и средства защиты растений, были построены диаграммы уровня их варьирования по годам за четырехлетний период. На рис. 1 изображена динамика цен на основные минеральные удобрения, приобретенные с 2021 по 2024 гг.

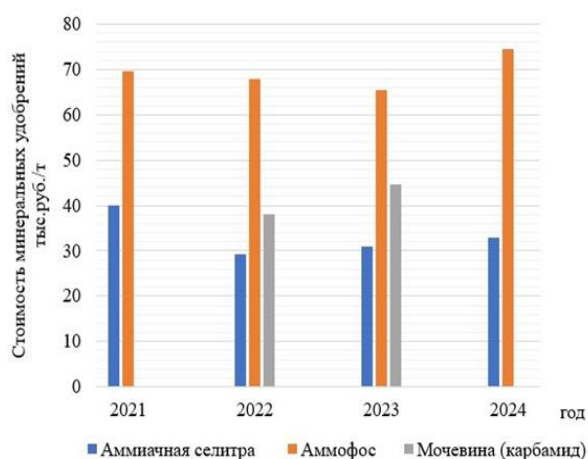


Рис. 1. Динамика цен на основные минеральные удобрения, используемые в ФГБУН «НИИСХ Крыма» 2021 г.–2024 г., руб./т.

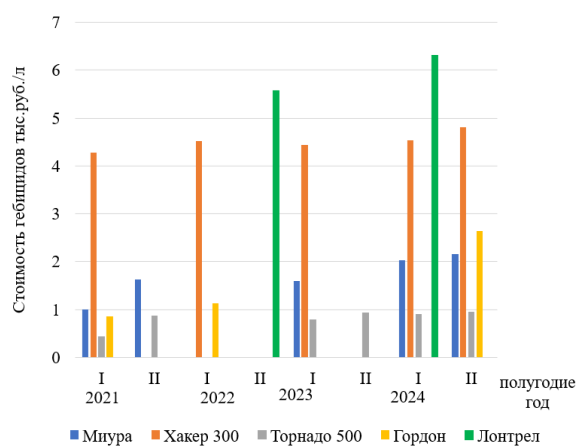


Рис. 2. Динамика цен на основные гербициды, используемые в ФГБУН «НИИСХ Крыма» 2021-2024 гг., руб./л

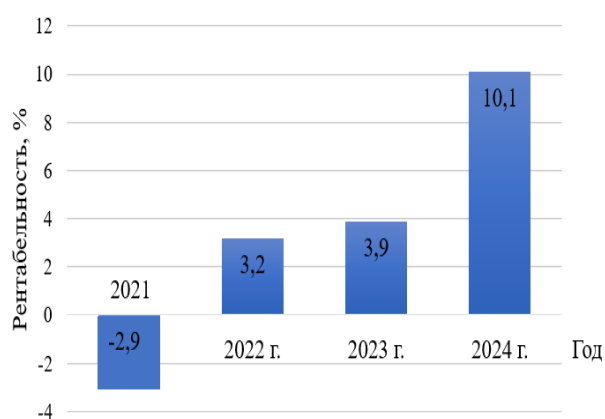


Рис. 3. Рентабельность возделывания озимой пшеницы по годам (2021 г.–2024 г.) для территории Республики Крым

В 2021 г. цена на аммиачную селитру составила 40 тыс. руб./т, что является самой высокой за анализируемый четырехлетний период, а в 2022 г. цена была самой низкой – 29 тыс. руб./т; аммофос в 2024 г. закупался по 74,5 тыс. руб./т, а в 2023 – 65,4 тыс. руб./т: т.е. цена за год выросла на 12,2 %. Цена на карбамид в 2022 г. составила 38 тыс. руб./т, а в 2023 г. – 44,7 тыс. руб./т: т.е. на 17,6 % стала выше. На рис. 2 представлена динамика закупочных цен на основные гербициды, используемые в ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Гербицид «Хакер 300» (производитель Республика Беларусь) закупался каждый год; наиболее низкая цена была в первой половине 2021 года (цена составила 4279 руб./л), а наиболее высокой во второй половине 2024 г. (цена составила 4809 руб./л): т.е. цена возросла на 11 %. Гербицид «Миура» (производитель РФ) варьировал по ценам в течение всего анализируемого периода: от 999 руб./л (в первой половине 2021 г.) до 2164 руб./л (в конце 2024 г.) с увеличением стоимости за рассматриваемый период на 53,8 %. Проводилась покупка средств защиты растений и зарубежного производства (например, – китайского). На рис. 3 приведен анализ рентабельности возделывания озимой пшеницы в реальных ценах с 2021 г. по 2024 г. (без учета затрат на амортизацию техники).

Результаты: Для анализа и расчета принята средняя урожайность культуры по годам, использованы данные Управления ФСГС по Республике Крым и г. Севастополь: так, в 2021 г. урожайность составила 2,65 т/га и была минимальной за рассматриваемый период, в 2022 г. – 3,94 т/га, в 2023 г. – 3,8 т/га, в 2024 г. – 3,1 т/га (также рассчитывались прямые затраты на возделывание озимой пшеницы, актуальные по региону на каждый год, и общепроизводственные, которые составили 10 % от прямых затрат) (табл. 1).

Минимальная цена на реализацию зерна была в 2022 г. – 9 тыс. руб./т; рентабельность при этом составила 3,2 % (за счет получения высоких урожаев) (табл. 2).

Таблица 1 – Основные затраты на возделывание озимой пшеницы за 2021–2024 гг.

Показатели	Затраты по годам, руб./га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Топливо	4633,4	4889,3	5700,9	6177,4
Заработная плата	2546,9	3366,7	4779,6	4779,6
Удобрения	13200,7	11867,8	11780,9	12871,4
Средства защиты растений	1501,1	1696,7	2502,9	2734,0
Семена	3520,0	3960,0	4400,0	4400,0
Надбавки к заработной плате	4370,8	5460,6	7422,5	7422,5
Сумма прямых затрат	29772,9	31241,1	36586,8	38384,9
Общепроизводственные затраты – 10%	2977,3	3124,1	3658,7	3838,5
Всего затрат	32750,2	34365,2	40245,5	42223,4

Таблица 2 – Рентабельность возделывания озимой пшеницы 2021–2024 гг.
(без учета затрат на амортизацию техники)

Показатели	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Урожайность, т/га	2,65	3,94	3,8	3,1
Себестоимость 1 т зерна, руб.	12358,5	8722,1	10590,9	13620,4
Стоимость товарного зерна, руб./т	12000	9000	11000	15000
Стоимость продукции с 1 га, руб.	31800	35460	41800	46500
Доход с 1 га, руб.	-950,09	1094,84	1554,52	4276,66
Рентабельность, %	-2,90	3,19	3,86	10,13

Выводы: 1. Анализ данных, приведенных в табл. 1 и 2, показал, что в 2021 г. рентабельность составила -2,9 % (из-за низкой урожайности культуры и высоких цен на минеральные удобрения), а себестоимость зерна варьировала за анализируемый период от 8722 руб./т до 13620 руб./т (за счет нестабильной цены на дизельное топливо, СЗР, минеральные удобрения). 2. Практическое применение предлагаемого метода оценки эффективности производства растениеводческой продукции способствует повышению качества управления сельскохозяйственным землепользованием в целом [7–9].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Zakirova A. R. Crop Management System Based on Digital Technologies / A. R. Zakirova, G. S. Klychova, A. R. Yusupova, I. G. Nikitenko, A. M. Zakirov // International Scientific-Practical Conference Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources. – 2021. – Vol. 37, No. 3. – P. 1–6.
2. Технология создания цифровой картографической основы на базе архивных фондовых материалов / В.В. Гарманов, А.Г. Осипов, В.В. Терлеев, А.Р. Грик // Известия СПбГАУ. – 2017. – № 47. – С. 268–275. – EDN ZBFABH.
3. Степных Н. В. Разработка базы данных типовых техкарт для информационно-аналитического комплекса по земледелию / Н. В. Степных, О. А. Жукова, А. М. Заргарян // Вестник НГИЭИ. – 2018. – С. 5–15.
4. Степных Н. В. Компьютерная программа по проектированию технологий выращивания сельхозкультур / Н. В. Степных, А. М. Заргарян, О. А. Жукова // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 3. – С. 54–58.
5. Кравец А. Г. Креативность в интеллектуальных технологиях и науке о данных / А. Г. Кравец, М. В. Щербаков, П. П. Грумпос // Материалы 5 Международной конференции «Creativity in Intelligent Technologies & Data Science». – Волгоград. – 2023. – С. 3–18.
6. Горпинченко К. Н. Прогнозирование и принятие решений по выбору агротехнологий в зерновом производстве с применением методов искусственного интеллекта / К. Н. Горпинченко, Е. В. Луценко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2013. – 168 с.
7. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В. В. Гарманов, Д. А. Шишов, М. А. Сулин [и др.]. Ч. 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.

8. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Ч. 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
9. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

УДК 528.87

М.В. Колодяжный, Е.А. Дунаева
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЁНЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. СИМФЕРОПОЛЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В городах к зелёным насаждениям относятся парки, лесопарки, ботанические сады и другие озеленённые участки городской территории [1]. Они являются важной частью городской среды и напрямую влияют на комфорт жизни в городе. Однако для больших по площади территорий (в том числе – для сельскохозяйственных землепользований [2]) традиционные методы оценки состояния растительного покрова (в том числе – инвентаризация) являются малоэффективными [3]. В таком случае можно прибегнуть к данным спутникового мониторинга.

Цель работы – апробация методики оценки состояния зелёных насаждений г. Симферополь с помощью данных дистанционного зондирования Земли.

В ходе проведения исследования использовались данные со спутника Sentinel-2A, так как пространственного разрешения снимков и их периодичности достаточно для проведения оценки. Расчёты производились с помощью ПО QGIS 3.30 и онлайн-сервиса BEGA-Science (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») [4]. Для наиболее репрезентативного результата необходимо использовать снимки за период, совпадающий с пиком вегетации деревьев, используемых в благоустройстве г. Симферополь. Учитывая метеорологические особенности Республики Крым, необходимо использовать данные за май-июнь.

Первоначальным этапом исследования является идентификация и дешифрирование зелёных насаждений на территории города. Для большей точности рекомендуется использовать ручное дешифрирование. Результатом является маска зелёных насаждений г. Симферополь, представленная на рис. 1.

Для оценки состояния какой-либо растительности с помощью данных спутникового мониторинга чаще всего применяют вегетационные индексы. Основной из них – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Нормализованный разностный вегетационный индекс), косвенно отражающий состояние растительного покрова в зависимости от объёма биомассы и содержания хлорофилла в листьях, используя красный и ближний инфракрасный волновые диапазоны [5]. Также зачастую используют такой показатель, как NDMI (Normalized Difference Moisture Index – Нормализованный разностный индекс влажности), который характеризует уровень содержания влаги в растениях при использовании аналогичной методики расчёта, однако – с применением ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного спектров.

Для выявления повреждённых или угнетённых участков можно использовать ARI (Anthocyanin Reflectance Index – Антоциановый отражательный индекс), который определяет степень отражения от растительных пигментов красного или бурого цвета. Как правило, наличие таких участков на растительном покрове свидетельствует о наличии каких-либо повреждений или паразитов. Значение данного индекса обратно пропорционально содержанию хлорофилла в листьях и тесно коррелирует с NDVI [6].

Полученный цифровой картографический материал [7] визуально плохо читаем (см. рис. 2); поэтому для проведения анализа рекомендуется использовать инструмент «Зональная статистика» для краткого статистического анализа по определенным участкам.



Рис. 1. Маска зелёных насаждений г. Симферополь на май 2024 г.

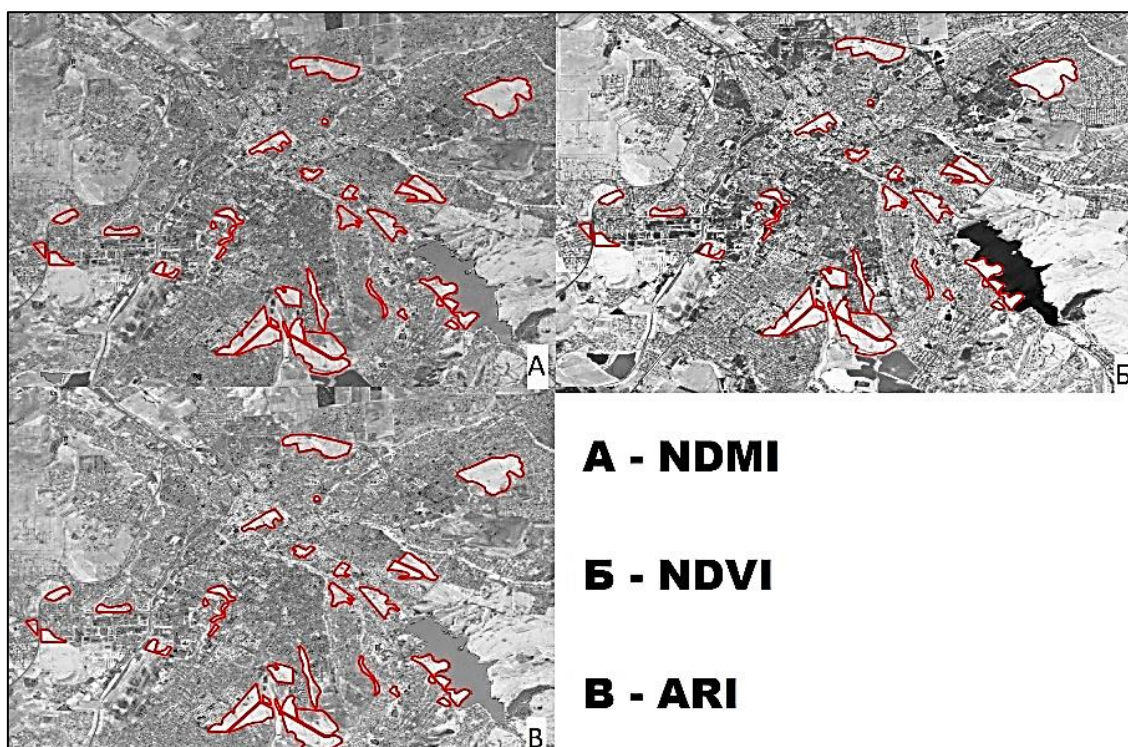


Рис. 2. Космический снимок г. Симферополь на 10.05.2024 г.
в синтезе различных вегетационных индексов

Результаты: Значения трёх выше указанных индексов рассчитаны для каждого массивного участка зелёных насаждений в г. Симферополь. Учитывалось среднее значение по площади, а также максимальное и минимальное (для определения очагов усыхания), результаты расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние, максимальные и минимальные значения вегетационных индексов, полученных при спутниковом мониторинге зеленых насаждений г. Симферополь 10.05.2024

	NDVI	NDMI	ARI
Среднее	0,74	0,36	0,18
Минимальное	0,21	0,02	0,01
Максимальное	0,97	0,52	0,23

Из данных в табл. 1 видны высокие показатели индекса NDVI при анализе зелёных насаждений: при этом отмечается относительно невысокое содержание влаги в листьях, что объясняется засушливым климатом и адаптациям растений к аридным условиям. При этом индекс ARI имеет сравнительно низкие показатели, что может свидетельствовать об отсутствии крупных очагов усыхания. На 13 % исследуемой территории отмечались участки с пониженным значением NDVI и повышенным ARI, что характерно для очагов с нездоровой растительностью. Данные участки необходимо верифицировать вручную, так как возможна ошибка при дешифрировании. В таком случае местность с низким NDVI может оказаться объектом неживой природы.

Выводы:

1. В результате проведенного исследования можно заключить, что на 2024 г. в г. Симферополь большая часть (а именно 87 %) зелёных насаждений была в удовлетворительном состоянии. Стоит учитывать специфичные метеорологические условия в Республике Крым (недостаточное количество осадков, высокие температуры, продолжительный летний период).

2. Также важно отметить, что большинство деревьев на исследуемой территории являются интродуцентами и имеют приспособленность к засушливому климату.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сазонова Л.Е. Обзор информационных ресурсов, используемых для анализа зеленых насаждений городских территорий / Л.Е. Сазонова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Т. 6. – С. 213–219.
2. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.
3. Полушковский Б.В. Оценка состояния лесополос Ставропольского края с использованием данных дистанционного зондирования земли и геоинформационных технологий // Б.В. Полушковский, П.П. Турун, Э.Н. Сутормина, А.В. Белова / Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. – 2020. – № 3.
4. Спутниковый онлайн-сервис «VEGA-Science» [Электронный ресурс]. – URL: <http://sci-vega.ru> (дата обращения 27.01.2025).
5. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351. – 1973. – Vol. 1. – P. 309–317.
6. Кизеев А.Н. Применение спектроскопии отражения для неинвазивного анализа пигментов в растительных тканях / А.Н. Кизеев, М.Н. Мерзляк, А.Е. Соловченко. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2010. – № 6(17). – С. 90–97.
7. Технология создания цифровой картографической основы на базе архивных фондовых материалов / В.В. Гарманов, А.Г. Осипов, В.В. Терлеев, А.Р. Грик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 268–275. – EDN ZBFABH.

ТЕНДЕНЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА
В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ КРЫМА

Крымский полуостров являлся инициатором строительства систем капельного орошения виноградников и плодовых культур. Первой в Крыму была система капельно-инъекционного орошения виноградников, построенная в 1976 г. в совхоз-заводе «Солнечная долина» Судакского района на площади 14 га. Затем в этом же году Всесоюзным научно-производственным объединением по механизации и орошению «Радуга» г. Коломна Московской области создана система капельно-импульсного орошения деревьев груши в существующем саду в совхоз-заводе «Алушта» на площади 7,0 га. На следующий год вступила в эксплуатацию система капельного орошения яблоневого сада с использованием оборудования фирмы «Rain Bird» в совхозе «Виноградный» Симферопольского района на площади 74 га. В Институте гидротехники и мелиорации УААН (ИГиМ) был создан Крымский отдел в производственно-техническом бюро «Водиндустрия» для разработки систем капельного орошения. В результате была разработана система капельно-струйного орошения «ТАВРИЯ» с подземной укладкой поливных трубопроводов и выводом питателя с капельницей на поверхность земли у ствола дерева. По разработанной технологии до посадки яблоневого сада был построен опытно-производственный участок на площади 12 га в колхозе им. Ленина Красногвардейского района. В дальнейшем с годами площадь орошения увеличивалась до 425 га. В 1987 г. системы капельного полива работали на 23 участках в 14 хозяйствах Крыма, в том числе – на 12 участках орошались плодовые сады и на 11 участках – виноградники. Общая площадь многолетних насаждений в 1987 г., оборудованных системами капельного полива, составляла 1073 га.

К 1990 г. на Крымском полуострове системы капельного полива функционировали в 29 хозяйствах на площади 2130 га, а эффективно функционировало 85% от построенных систем полива на площади 1820 га. В основном на системах капельного орошения использовали капельницу «Таврия» поплавковую, разработанную Крымским отделом ПТБ «Водиндустрия» Института гидротехники и мелиорации, и капельницу «К-383», разработанную Научно-исследовательским институтом орошаемого садоводства НААН (НИИОС г. Мелитополь, Запорожская область). Стоимость систем капельного орошения в Крыму варьировала от 1 до 7 тыс. руб. [1].

Цель работы – выявить основные факторы, влияющие на создание систем капельного способа полива сельскохозяйственных культур в орошаемом земледелии Крыма.

Ранее в Крыму были представлены практически все типы и разновидности локального орошения многолетних насаждений (капельное орошение, капельно-инъекционное, капельно-импульсное, микродождевание). Но разработчики несколько отошли от классического варианта капельного орошения: они стали разрабатывать такие типы систем капельного полива, которые технически не в полной мере совершенны (имеют относительно низкую технологическую надежность капельниц, отдельных узлов и деталей системы, фильтров очистки воды). Однако (при всех недостатках) была обнаружена эффективность локального увлажнения почвы в зоне наибольшего ее иссушения. Технология микроорошения обеспечивает уменьшение объемов поливной воды и понижение затрат на подачу воды; урожайность сельскохозяйственных культур при этом вырастает в 1,5–3 раза [2, 3].

С 2000 года в Крыму началось строительство систем капельного орошения нового поколения с использованием зарубежного оборудования [4, 5]. Расход микроподвыпусков

(капельниц) уменьшился до 1,0–3,0 л/час, что позволило уменьшить диаметры трубопроводов и снизить стоимость системы орошения. Вследствие этого произошел переход от очагового увлажнения почвы к полосовому вдоль ряда деревьев, внедрение уплотненных схем посадок плодовых культур в интенсивных садах [6, 7]. С внедрением нового оборудования и передовых технологий строительства ежегодный прирост площади орошаемых угодий достиг 1,5 тыс. га. Современные системы капельного орошения позволяют механизировать их строительство и автоматизировать эксплуатацию систем полива.

Стоит отметить, что при сокращении площади орошаемых земель в 7,5 раз в 2014 г. (из-за прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу) на вновь вводимых площадях всё же практиковался капельный способ полива (табл. 1): для этого широко применялся водозабор из местных водных источников (поверхностных и подземных вод).

Таблица 1 – Площади под капельным орошением сельскохозяйственных культур в Республике Крым

Годы	Всего полито орошаемых земель, тыс. га	Капельное орошение, га	Доля капельного полива от всего орошения, %
1990	363,9	1820	0,50
2000	329,6	376	0,11
2010	139,4	9116	6,54
2013	136,8	14443	10,56
2014	17,7	5352	30,24
2016	11,7	6631	56,68
2018	17,4	11242	64,61
2020	19,4	13084	67,44
2022	28,7	14251	50,00
2024	20,7	13627	65,79

Для полива использовались слабо- и среднеминерализованные подземные воды. Под капельное орошение стали отводить участки со сложным рельефом местности (с уклонами до 30°) и различной конфигурации. На данных участках капельного орошения сельскохозяйственных культур уровень грунтовых вод должен быть не менее двух метров, а на засоленных почвах – не менее четырех метров от поверхности почвы.

Таблица 2 – Структура сельскохозяйственных культур, орошаемых капельным поливом в Крыму, га

Годы	Площадь орошения	Сады	Виноградники	Ягодники Питомники	Овощи	Картофель	Бахчевые	Прочие
2013	14443,3	3659,1	5415,4	199,2	2241,8	132,8	814,6	1980,4
2014	5352,4	1547,3	2269,0	48,5	914,6	135,1	79,0	460,1
2016	6631,2	3286,6	2119,5	72,0	993,5	24,6	130,0	245,5
2017	8563,9	3966,9	2728,2	195,1	872,9	192,3	92,2	479,4
2018	11242,3	4739,9	3310,3	385,1	1362,9	256,5	235,5	310,8
2019	13590,3	5577,1	3392,9	336,4	1595,8	330,1	218,3	2139,7
2022	14250,0	5842,0	4411,7	443,6	1374,6	431,6	112,4	1634,9
2024	13626,9	5916,5	4941,5	535,7	768,9	214,4	50,2	1154,3

Основными культурами, орошаемыми капельным способом, в Крыму, являются многолетние насаждения: плодовые сады семечковые и косточковые, виноградники технических и столовых сортов (см. табл. 2). Площади под плодовыми садами увеличились до 5917 га (43 %), а под виноградниками площадь составила 4942 га (36 % от всех орошаемых

земель капельным способом в 2024 г.). Ягодники (преимущественно земляника, малина и питомники) орошались в 2024 г. капельным способом на площади 536 га (3,9 %). Максимальная площадь орошения овощных культур капельным способом наблюдалась в 2019 г. 1596 га (12 %). Картофель выращивался при капельном поливе на площади 432 га: для Крыма этого – недостаточно. Бахчевые культуры (арбузы, дыни) при капельном поливе освоены на площади 236 га. В 2024 году наибольшие площади капельного орошения в Крыму имели Бахчисарайский район 3823 га (28 %) и Красногвардейский район 2035 га (15 %).

Выводы:

1. В условиях дефицита поливной воды ведущее значение приобретает капельный способ полива сельскохозяйственных культур. Использование для полива слабо- и среднеминерализованных вод подземных источников (ограничено пригодных вод), а также биологически очищенных сточных вод расширяет возможности капельного полива.

2. Допустимость использования капельного орошения на участках различной конфигурации и сложного рельефа, а также на крутых склонах является положительной характеристикой этого способа полива.

3. Капельным способом целесообразно поливать: виноградники, плодово-ягодные насаждения, технические, овощные, бахчевые, картофель, эфиромасличные и другие высокодоходные культуры, что позволяет понизить себестоимость производимой продукции и повысить экономическую эффективность сельскохозяйственных землепользований в целом [8-10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сторчоус В.Н. Результаты исследований плодовых культур и винограда при капельном орошении в Крыму /В.Н. Сторчоус/ Научные труды Крымского агротехнологического университета. – 2005. – № 90. – С. 187–193
2. Сторчоус В.Н. Капельное орошение – резерв экономии воды при выращивании винограда, плодовых и овощных культур в Крыму / В.Н. Сторчоус // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки-2014 г.-№ 161. – С. 123–129.
3. Кременской В.И. Перспективы развития плодового хозяйства в Крыму на основе капельного орошения /В.И. Кременской, Н.М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Научно-практический журнал. – 2016. – Выпуск-№2(62). – С. 185–190.
4. Ирригатор. Технологии полива. Прайс-лист 2014 г. последних инновационных разработок в индустрии полива. – 56 с.
5. HUNTER – Каталог продукции. Полив частных и коммерческих территорий. Построено на инновациях. – 2018. – 166 с.
6. Боровой Е.П. Этапы развития капельного орошения в Крыму / Е.П. Боровой, Е.А. Ходяков, В.И. Кременской, А.М. Джапарова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – №2(58). – С. 29–39.
7. Боровой Е.П. Капельное орошение как основа развития плодового хозяйства на Российской Федерации // Е.П. Боровой, В.И. Кременской, Н.М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. -№4(44). – С. 246–255.
8. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.
9. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Часть 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
10. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

СРАВНЕНИЕ АРЕОМЕТРИЧЕСКОГО И ПИПЕТОЧНОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЫ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОЗЁМА ЮЖНОГО

Цель работы – сравнительная оценка гранулометрического состава чернозема южного по Н.А. Качинскому с использованием двух наиболее распространенных методов: ареометрического и пипеточного (пипетка Федулова-Качинского).

Увеличение антропогенной нагрузки на почвы сельскохозяйственного назначения, (уплотнение поверхности при обработке, применение орошения, невысокое качество поливной воды, внесение минеральных удобрений, пестицидов и т. д.) приводит деградационным изменениям почвенных процессов, провоцирует нарушение структуры и изменение физико-химического состава почвы. В зависимости от физико-механических характеристик почвы происходит вынос водорастворимых солей в корнеобитаемый слой почвенного профиля: это оказывает непосредственное воздействие на рост и развитие растений, а также – на урожайность. В зависимости от гранулометрического состава почвы может быть различная доступность влаги растениям [1]. Поэтому при комплексной оценке состояния сельскохозяйственных землепользований необходимо определить гранулометрический состав почвы, который имеет большое значение для понимания процессов, протекающих в почве, а также дает возможность прогнозировать урожайность возделываемых культур [2, 3]. В данной работе приведены результаты исследования агрофизических характеристик чернозёма южного – наиболее широко распространённого типа почв Крыма [4]. Изучаемые почвенные образцы относятся к агрочернозёму сегрегационному маломощному на лёссовидных суглинках [5].

Материалы и методы. Исследования проводились на участке ФГБУН «НИИСХ Крыма», расположенном в Красногвардейском районе Республики Крым недалеко от с. Клепинино: почвенные образцы были отобраны в трёхкратной повторности из пяти горизонтов почвенного профиля (в одном разрезе) 12.09.2023 г. Оценка гранулометрического состава осуществлялась на основе двух методов: ареометрического и пипеточного. Исследовалась почва в 1 разрезе на глубине 0–100 см с шагом 20 см. Отбор и транспортировка почвенных образцов проводилась в соответствии с ГОСТ 12071–2014 [6]. Агрофизические свойства почвы (плотность твердой фазы пикнометрическим способом, гигроскопическая влажность, агрегатный состав) определены сотрудниками отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «НИИСХ Крыма» в соответствии с требованиями, изложенными в нормативных документах: ГОСТ 5180–2015, ГОСТ 28268–89, ГОСТ 12536–2014 [7-9].

Пробоподготовка: отобранные пробы почвы измельчались вручную до размеров почвенных частиц не более 2 мм в диаметре с последующим высушиванием в течение 2 суток в лаборатории до воздушно-сухого состояния (без сушильного шкафа). Отбор средней пробы для проведения опытов выполнялся методом квартования.

Для определения гранулометрического состава необходимы данные по гигроскопической влажности (ГВ) и плотности твердой фазы (ПТФ) почвенных образцов. Результаты определения ГВ и ПТФ почвы приведены в таблице 1. Из таблицы 1 видно, что ПТФ по горизонтам незначительно увеличивается, а ГВ – уменьшается.

Результаты. Полученные результаты анализа гранулометрического состава исследуемого чернозёма южного с использованием двух сравниваемых методов – ареометрического и пипеточного (с присвоением названия разновидности почвы по текстуре) [10] – приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 1 – Показатели основных водно-физических свойств почвы

Глубина отбора образца почвы, м	Плотность твердой фазы, г/см ³	Гигроскопическая влажность, %
0–0,20	2,72	4,17
0,20–0,40	2,71	4,50
0,40–0,60	2,73	4,50
0,60–0,80	2,75	3,76
0,80–1,00	2,75	3,60

Таблица 2 – Соответствие названий разновидностей исследуемых почв по гранулометрическому составу (ареометрический метод)

Слой почвы, см	Физический песок	Физическая глина	Название разновидности почвы	Дополнительное название по преобладающим фракциям
0–20	48,68	51,32	Суглинок тяжелый	Средне-крупнопылеватый
20–40	51,23	48,77	Суглинок тяжелый	
40–60	51,11	48,89	Суглинок тяжелый	
60–80	50,11	49,89	Суглинок тяжелый	
80–100	47,72	52,28	Суглинок тяжелый	

Таблица 3 – Соответствие названий разновидностей исследуемых почв по гранулометрическому составу (пипеточный метод)

Слой почвы, см	Физический песок	Физическая глина	Название разновидности почвы	Дополнительное название по преобладающим фракциям
0–20	37,70	62,30	Глина легкая	Мелко-крупнопылеватая
20–40	38,16	61,84	Глина легкая	
40–60	45,82	54,18	Суглинок тяжелый	
60–80	43,62	56,38	Суглинок тяжелый	
80–100	38,62	61,38	Глина легкая	

Идентификация текстуры почвы (название разновидности почвы по гранулометрическому составу) по данным ареометра (см. табл. 2) и пипетки (см. табл. 3) показала существенное различие как в названии почвы, так и в преобладающих фракциях. По методу ареометра по всему профилю почва характеризуется как чернозём южный, суглинок тяжелый средне-крупнопылеватый. Почвенные образцы по методу пипетки в горизонтах 0–40 см и 80–100 см идентифицированы как чернозём южный, глина легкая мелко-крупнопылеватая, а в горизонте 40–80 см – чернозёмы южный, суглинок тяжелый мелко-крупнопылеватый. Наиболее точным методом, позволяющим установить текстуру почвы по данным гранулометрического состава, можно считать пипеточный метод (пипетка Федулова-Качинского), что подтверждается независимыми данными, ранее полученными Половицким И.Я. и Гусевым П.Г.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Дунаева Е.А., Попович В.Ф., Паштецкий В.С., Клименко О.Е. Постирригационное состояние пахотных почв степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. – 2016. – № 1(5). – С. 91–110.
2. Волкова Н.Е., Подовалова С.В., Джапарова А.М. Комплексная оценка состава и свойств чернозема южного мицеллярно-карбонатного, орошаемого ограниченно пригодными водами // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 139–155.
3. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.

4. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия: справ. – Симферополь: Таврия, 1987. – 152 с.
5. Дунаева Е.А., Бойко Н.Г., Джапарова А.М., Подовалова С.В., Филина Я.А. Влияние пробоподготовки на определение водно-физических характеристик почв // Агрофизика. – 2024. – № 3. – С. 1–8.
6. ГОСТ 12071–2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с
7. ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016. – 23 с.
8. ГОСТ 28268–89. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.
9. ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2015. – 22 с.
10. РД 52.33.219–2002. Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 155 с

УДК 332.34

Н.А. Бушмакин
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Исследование современных проблем использования земельного фонда требует комплексного подхода, включающего всесторонний анализ современного состояния использования земельных ресурсов. Особенно актуально это для территорий, которые интенсивно используются в сельском хозяйстве и активно застраиваются [1–3]. К таким территориям относятся практически все административные районы Республики Крым, в том числе и Бахчисарайский район.

Цель работы заключается в исследовании современных проблем использования земельного фонда Бахчисарайского района Республики Крым.

Указанная цель достигается решением следующих задач:

- 1) анализ количественного соотношения используемых и неиспользуемых площадей;
- 2) разработка рекомендаций по перспективным и рациональным направлениям использования земельного фонда Бахчисарайского района Республики Крым.

Бахчисарайский район Республики Крым характеризуется высоким разнообразием территорий: от степных участков до лесных и горных местностей. Равнинные и предгорные территории района интенсивно используются в сельском хозяйстве, а также для размещения объектов промышленности, транспорта и населенных пунктов [4]. По данным дистанционного зондирования Земли – ДЗЗ (Яндекс.Карты) выявлено, что для Бахчисарайского района характерно наличие неиспользуемых земель (рис. 1).

Из анализа спутниковых снимков определено, что значительные площади района заняты лесом. По состоянию на 2024 г. наиболее перспективными направлениями применения неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения являются такие отрасли, как агротуризм, представляющий собой объединение сельскохозяйственных работ с туристическими услугами, что, в свою очередь, повышает привлекательность сельского хозяйства и образа жизни на селе: органическое производство, специализирующееся на возделывании культур посредством исключения обработок пестицидами и минеральных удобрений, а также внедрение технологий ДЗЗ и автоматизации сельского хозяйства [5]. В таком случае следует проводить почвенные обследования каждого неиспользуемого земельного участка и принимать научно-обоснованные решения.



Рис. 1. Неиспользуемые земли в Бахчисарайском районе Республики Крым (Яндекс.Карты)

Перспективным направлением является также развитие дачного и коттеджного строительства, возведение объектов коммерческого и производственного направления, однако такой подход возможен только при проведении дополнительных почвенных и инженерных изысканий [6].

Следует отметить, что по состоянию на 2023 г. экономическую основу Бахчисарайского района Республики Крым составляют такие отрасли как: машиностроение, легкая, пищевая и строительная индустрия, а также разнообразные отрасли сельского хозяйства (виноградарство, садоводство, птицеводство, животноводство и прочее) [7]. В этой связи необходимо обратить внимание на то, что ранее рассмотренные варианты перспективных направлений развития района (напрямую или косвенно) будут иметь положительное влияние на сложившуюся экономическую основу данного района как в отдельно взятых отраслях, так и в общеэкономическом отношении [8, 9]. Для более детального изучения ситуации, сложившейся в отношении использования земельных ресурсов Бахчисарайского района Республики Крым, рассмотрим данные о распределении земель в таблице 1.

Далее определим абсолютную и относительную оценки площади неиспользуемых земель (не отнесенных ни к одной категории). Относительную оценку вычислим по разности общей площади (100%) и площади используемой территории (87,7%): получаем результат – 12,3% площади территории, свободной для реализации разнопрофильных проектов. Абсолютную же составляющую вычислим по формуле (1):

$$H = Z_B - \Delta h, \quad (1)$$

где H – площадь незадействованного земельного фонда; Z_B – общая площадь Бахчисарайского района Республики Крым; Δh – общая площадь используемых земель.

Подстановкой в (1) соответствующих численных значений получаем абсолютную оценку площади неиспользуемого земельного фонда: $H = 158\,900 - 139\,284,64 = 19\,615,36$.

Таблица 1 – Распределение земельного фонда Бахчисарайского района Республики Крым по категориям

№	Категория земельного фонда	Площадь	
		га	%
1	Земли сельскохозяйственного назначения	55 500,00	35,000
2	Земли населенных пунктов	10,99	0,006
3	Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения	447,09	0,280
4	Земли лесного фонда	82 800,00	52,100
5	Земли особо охраняемых территорий и объектов	153,27	0,100
6	Земли запаса	372,15	0,230
7	Земли водного фонда	1,14	0,001
	Итого по категориям земель:	139 284,64	87,700
	Общая площадь Бахчисарайского района Республики Крым:	158900,00	100,00

Вывод. После проведения несложных расчетов приходим к выводу, что площадь незадействованного земельного фонда Бахчисарайского района составляет 19 615,36 га. Отсюда следует, что на данный момент времени Бахчисарайский район Республики Крым имеет 12,3% неиспользуемых земель.

Рекомендации. Исходя из полученных оценок можно сформулировать следующие рекомендации: 1) разработать и осуществить проекты рекультивации нарушенных земель; 2) земли, пригодные для использования в сельском хозяйстве, отнести к категории земель данного назначения; 3) разработать концепцию развития агротуризма в районе, внедряя цифровые технологии ДЗЗ, а также учета и организации ресурсов земельного фонда; 4) земли, которые не являются пригодными для ведения сельского хозяйства, следует перераспределить в другие категории: они могут быть использованы для жилищного строительства, обустройства рекреационных зон, размещения объектов промышленности, а также предприятий по переработке твердых коммунальных отходов [10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Ч. 1. – СПб.: СПбГАУ, 2018. – 247 с. – ISBN 978-5-85983-317-7. – EDN RZLTXX.
2. Управление сельскохозяйственным землепользованием: Прикладные аспекты / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. Ч. 2. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 228 с. – ISBN 978-5-85983-328-3. – EDN RJEAXG.
3. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.
4. Схема территориального планирования Бахчисарайского района Республики Крым | Правительство Республики Крым / Официальный портал // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bahch.rk.gov.ru/structure/d9a5dcc5-c9bd-4e7d-88bd-bc767e2007a5>.
5. Научно-техническая деятельность в Крыму. От прошлого к будущему: Посвящается 70-летию деятельности НТО в Крыму / У.А. Абдулгасис, Л.В. Алексахина, Р.Д. Бабина [и др.]. – Симферополь: Издательство Типография «Ариал», 2024.
6. Дутка А.Н. Перспективные направления использования земель сельскохозяйственного назначения советского муниципального района Республики Крым / А.Н. Дутка, А.Ю. Мельничук // Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского: сборник тезисов участников. Том 1. – Симферополь: КФУ, 2017. – С. 157–159.
7. Наливайченко, Е.В. 1.1. Основные характеристики, Картирование отраслей экономики Республики Крым / Е.В. Наливайченко // Формирование инновационной модели сбалансированного роста экономики Республики Крым. – Симферополь: Издательство Типография «Ариал», 2023. – С. 7–24.

8. Гарманов В.В. Система платежей за сельскохозяйственное землепользование / В.В. Гарманов // Вестник факультета землеустройства СПбГАУ. – 2016. – № 2. – С. 7–11. – EDN XQWSDZ.
9. Гарманов В.В. Информационное обеспечение платности землепользования сельскохозяйственного назначения / В.В. Гарманов, В.Л. Богданов // Науки о Земле. – 2015. – № 1. – С. 63–71. – EDN TMNYDD.
10. Reclamation of landfills and dumps of municipal solid waste in a energy efficient waste management system: methodology and practice / T. Orlova, A. Melnichuk, K. Klimenko [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Khabarovsk, 10–13 апреля 2017 года. Vol. 90. – Khabarovsk: Institute of Physics Publishing, 2017. – DOI 10.1088/1755-1315/90/1/012110. – EDN ZWUUXT.

УДК 631.435

С.В. Подовалова, В.В. Попович
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЭКОНОМИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Цель работы – оценка объема сэкономленных водных ресурсов, полученного в результате экономии воды в коммунальном хозяйстве за счет применения современных устройств, и выявление возможностей использования этого объема для целей орошения.

Исследованию вопросов, касающихся экономного и рационального использования водных ресурсов во всех секторах экономики Республики Крым (РК), уделяется особое внимание. В промышленном секторе к вопросам рационального использования воды можно отнести – применение оборотного водоснабжения; в сельском хозяйстве – использование сточных вод и водосберегающих технологий (капельное орошение). Поиском и использованием устройств или мероприятий, способных дать экономический эффект, занимается и коммунальное хозяйство: это связано, в первую очередь, с ежегодным увеличением объемов воды, используемой населением, а также повышением платы за воду.

В работе рассмотрено современное сантехническое устройство – сенсорный смеситель, применение которого в коммунальном хозяйстве позволит значительно сократить потребление свежей воды. Проведённые расчёты показали, что суммарная годовая экономия воды при использовании сенсорного смесителя населением РК может составить 23,4 млн м³. Сэкономленные водные ресурсы можно было бы перераспределить между другими секторами экономики РК или направить на улучшение водообеспеченности других отраслей народного хозяйства.

Материалы и методы. Расчет эффективности установки сенсорного смесителя осуществлялся согласно Методическим рекомендациям по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий [1].

Наиболее значительные объемы воды используются для нужд коммунального хозяйства, обеспечивающего водой местное население и отдыхающих. Использование современных водосберегающих устройств в быту ведет к существенному сокращению расхода воды. Одним из таких устройств является сенсорный смеситель. Главное отличие водопроводного крана с сенсорным управлением от обычного заключается в том, что у него нет рычагов и вентиля для регулировки воды: сенсорный смеситель работает автоматически. Датчик, установленный на корпусе, улавливает инфракрасное излучение в заданной зоне чувствительности: если поднести руки к смесителю, то вода польется, а если убрать руки от смесителя, то вода отключится. Существует возможность задавать следующие характеристики смесителя: зону чувствительности (1–30 см); время включения и отключения (в секундах); температуру воды. Смеситель работает от обычной батарейки, которая рассчитана на работу в течение двух лет.

Устройство имеет ряд преимуществ по сравнению с простым краном:

- не выходит из строя из-за сломанных рычагов (не происходит открытия и закрытия кранов), что особенно актуально в местах с высокой посещаемостью;

- отсутствие контактов рук со смесителем является более гигиеничным;
- смеситель может комплектоваться пультом дистанционного управления;
- экономия воды от 50 % (по данным производителя), поскольку не требуется открывать и закрывать вентили, регулировать температуру воды.

В таблице 1 приведены показатели, необходимые для проведения расчетов экономического эффекта от применения сенсорного смесителя, выраженного в экономии объемов использования воды (м^3).

Таблица 1 – Показатели для проведения расчетов по экономии воды

№п/п	Наименование показателя	Выражение
1	Фактическое потребление горячей воды (на смесительных устройствах) за год, м^3	$V_{\text{гор.смес.}}$
2	Фактическое потребление холодной воды (на смесительных устройствах) за год, м^3	$V_{\text{хол.смес.}}$
3	Коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей $k_{\text{эф}}$, %	20

Коэффициент экономии 20% был определен по процентному соотношению расхода воды при бытовом использовании на различные нужды:

- с использованием сантехнических приборов без сенсорных смесителей: ванна (21%), душ (12 %), санузел (30 %), стирка (13 %);
- с использованием сенсорных смесителей: умывание (8 %), для питьевых нужд, для приготовления пищи (5 %), прочее (12 %).

Уменьшение потерь воды за один год с использованием автоматического сенсорного смесителя определяется по формуле (1) [2]:

$$\Delta V = k_{\text{эф}} V_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{эф}}$ – коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей; $V_{\text{п}}$ – объем воды, потребленной через существующие смесители за год (считается отдельно для горячей и холодной воды), м^3 .

Результаты

Приведем результат расчета для двухкомнатной квартиры с количеством проживающих – два человека. Расчет произведен по фактическому использованию холодной и горячей воды (показания водосчетчиков). Фактическое потребление горячей воды за год $V_{\text{гор.}} = 42 \text{ м}^3$, холодной воды $V_{\text{хол.}} = 36 \text{ м}^3$. Коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей $k_{\text{эф}}$ составляет 20 %. Экономия горячей и холодной воды за год с использованием автоматического сенсорного смесителя рассчитывается по формуле (1) [2]. Результат расчета – следующий:

- экономия горячей воды – $\Delta V_{\text{гор}} = k_{\text{эф}} V_{\text{гор}} = 0,2 \times 42 = 8,4 \text{ м}^3$;
- экономия холодной воды – $\Delta V_{\text{хол}} = k_{\text{эф}} V_{\text{хол}} = 0,2 \times 36 = 7,2 \text{ м}^3$;
- общая экономия воды за год – $8,4 + 7,2 = 15,6 \text{ м}^3$.

Для определения возможного экономического эффекта при применении сенсорных смесителей населением РК, получающим воду по водопроводу из коммунальных систем и имеющим горячее водоснабжение, были использованы данные Федеральной службы государственной статистики Крымского федерального округа (КФО) [3] (табл. 2).

Таблица 2 – Данные Федеральной службы государственной статистики КФО

№п/п	Наименование показателя	Количество
1	Количество населения по состоянию на 01.01.2024 года, чел.	1909,5 тыс.
2	Количество жителей, обеспеченных водопроводом из коммунальной системы, чел.	1754,8 тыс. (91,9 %)
3	Количество жителей, обеспеченных горячим водоснабжением	1512,3 тыс. (79,2 %)

В Республике Крым норматив потребления воды в месяц на одного человека составляет 6,4 м³ холодной воды и 4,6 м³ горячей воды [4]. Однако при проведении исследований расчет произведен по фактическому использованию холодной и горячей воды (приведен выше). Один человек, обеспеченный горячим водоснабжением, потребляет 1,75 м³ – горячей воды и 1,5 м³ – холодной воды. При расчете потребления холодной воды учитываем, что жители, обеспеченные только холодной водой (без горячей), используют больше холодной воды, нагревая её различными способами; один человек, обеспеченный только холодной водой, потребляет 4 м³ – холодной воды. Расчет фактического суммарного потребления воды за год населением РК, обеспеченным горячим водоснабжением:

$$\sum V_{\text{гор}} = 1\,512\,300 \text{ чел.} \times 21 \text{ м}^3 = 31\,758\,300 \text{ м}^3 \text{ горячей воды;}$$

$$\sum V_{\text{хол}} = 1\,512\,300 \text{ чел.} \times 18 \text{ м}^3 = 27\,221\,400 \text{ м}^3 \text{ холодной воды.}$$

Расчет фактического суммарного потребления за год населением, обеспеченным только холодной водой:

$$\sum V_{\text{хол}} = 1754,8 - 1512,3 = 242\,500 \text{ чел.} \times 48 \text{ м}^3 = 11\,640\,000 \text{ м}^3 \text{ воды.}$$

Ниже приводится расчет возможного экономического эффекта, полученного в результате замены обычного смесителя на сенсорный, который заключается в уменьшении объемов использования воды (м³).

Годовая экономия горячей воды с установленным автоматическим сенсорным смесителем:

$$\Delta V_{\text{гор}} = k_{\text{эф}} \times V_{\text{гор}} = 0,2 \times 31\,758\,300 = 6\,351\,660 \text{ м}^3.$$

Годовая экономия холодной воды с установленным автоматическим сенсорным смесителем:

$$\Delta V_{\text{хол}} = k_{\text{эф}} \times V_{\text{хол}} = 0,2 \times 11\,640\,000 + 27\,221\,400 = 17\,084\,280 \text{ м}^3.$$

Выводы:

1. Если допустить, что смесителями будет пользоваться только треть населения РК, то суммарная годовая экономия воды при использовании сенсорного смесителя может составить: 23,4 млн м³ / 3 = 7,8 млн м³.

2. Если использовать сэкономленную воду в сельском землепользовании [5] для производства растениеводческой продукции [6], то при затрате оросительной воды 1800 м³/га (один влагозарядковый полив нормой 300 м³/га и шесть вегетационных по 250 м³/га) для выращивания тритикале на зеленый корм можно будет полить более 4 тыс. га, а при возделывании огурцов (затраты оросительной воды 2750 м³/га) можно получить урожай с площади 2,8 тыс. га.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Расчет эффективности установки сенсорного смесителя (согласно Методическим рекомендациям по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий. – Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.
2. Кирпичникова И.М. Энергосбережение в социальной сфере: учебное пособие / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин, А.С. Аникин // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 45 с.
3. Статистический ежегодник Республики Крым. 2023: Стат. сб. / Крымстат – г. Симферополь, 2024. – 253 с.; [https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202023\(1\).pdf](https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Статистический%20ежегодник%20Республики%20Крым.%202023(1).pdf).
4. Об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг и коммунальных ресурсов в целях обеспечения имущества в многоквартирных домах на территории Республики Крым (с изменениями на 17 августа 2020 г.). Приказ от 17 июля 2020 года № 394-А <https://docs.cntd.ru/document/570878529>.
5. Основы управления сельскохозяйственным землепользованием: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 21.04.02 Землеустройство и кадастры / В.В. Гарманов, Д.А. Шишов, М.А. Сулин [и др.]. – СПб.: СПбГАУ, 2021. – 508 с. – ISBN 978-5-85983-370-2. – EDN WXNYKF.
6. Poluektov R.A. Crop simulation model of the second and the third productivity levels / R.A. Poluektov, V.V. Terleev // Modelling water and nutrient dynamics in soil–crop systems. – Müncheberg/Germany, 2007. – P. 75-89. – DOI 10.1007/978-1-4020-4479-3_7. – EDN PXCVTT.

ПРИМЕНЕНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРОДЕ СОСНОВЫЙ БОР И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

Целью работы является определение оптимальной формы шумозащитных экранов в заданных условиях. Настоящая работа является продолжением исследований, которые изложены в работе [1].

Шумозащитные экраны (ШЭ) выполняют несколько ключевых функций, направленных на обеспечение экологической безопасности и устойчивого природопользования:

- Защита от шумового загрязнения. Первостепенная функция этих конструкций заключается в минимизации шума от автомобильных дорог, который негативно влияет на животных и растения, а также на человека. Экраны эффективно поглощают и отражают звуковые волны, значительно снижая уровень шума в защищаемой зоне. Исследования показывают, что правильно спроектированные и установленные экраны могут снижать уровень шума на 5–20 дБ, что существенно улучшает качество среды обитания [2]. Шумовое загрязнение негативно влияет на репродуктивную функцию и миграционные пути птиц и насекомых. Экраны снижают уровень шума, создавая более благоприятную среду для живой природы.

- Создание экологического барьера. Экраны также служат барьером, который предотвращает проникновение загрязняющих веществ и пыли с дорог в лесную зону, тем самым сохраняя чистоту воздуха и предотвращая загрязнение почвы.

Шумозащитные экраны различаются по форме (рис. 1), что влияет на их акустическую эффективность, стоимость и интеграцию в окружающую среду [3]. Их эффективность, в первую очередь, зависит от геометрических параметров, а, во вторую очередь, – от использованных материалов [4].



Рис.1. Формы шумозащитных экранов в поперечном разрезе: 1 – плоский экран, 2 – Г-образный профиль, 3 – Т-образный профиль, 4 – Y-образный профиль

Рассмотрим Г-образный профиль (рис. 2) как получивший наибольшее распространение в связи со своей простотой установки и изготовления, а также относительно низкой стоимости.

Уровень снижения шума (УСЖ) можно рассчитать по формуле (1) [5]:

$$\text{УСЖ} = 10 \cdot \log(3 + 10N), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где N – число Френеля.

В свою очередь, число Френеля можно определить по формуле (2):

$$N = \frac{2(A + B - C)}{\lambda}, \quad (2)$$

где A и B – расстояния от источника шума и расчётной точки до вершины экрана, соответственно, м; C – прямая дистанция между ИШ и РТ, м; $\lambda = c/f$ – длина звуковой волны (c – скорость звука, f – частота), м.

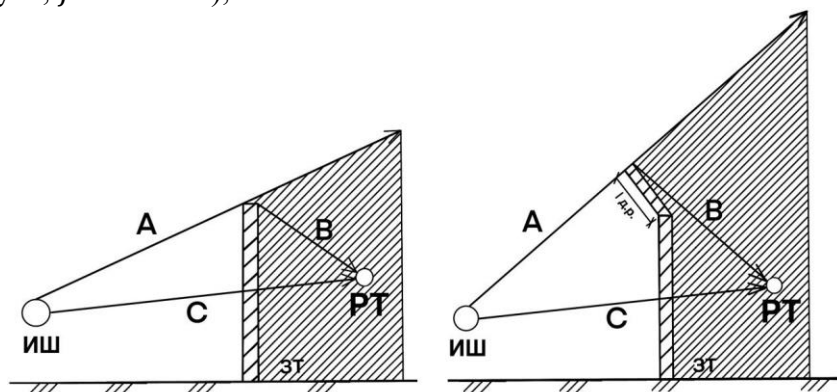


Рис. 2. Распространение звуковой волны за экраном: ИШ – источник шума, РТ – расчётная точка, A – расстояние от ИШ до вершины экрана, B – расстояние от РТ до вершины экрана, C – расстояние от ИШ до РТ, д.р. – дифракционное ребро экрана, ЗТ – зона звуковой тени

Результаты

Для Г-образного профиля ШЭ получено следующее значение: УСЖ = 17,8 дБ, а для плоского экрана при тех же заданных параметрах УСЖ = 15 дБ относительно открытой местности, что можно видеть в таблице 1.

Таблица 1 – Разновидности ШЭ

Вид шумозащитного экрана	Схема	Эффективность, дБ
Простой экран	Прямой, наклонный	5–16
Составной экран	Г, Т, У-образный	10–20
Шумозащитный тоннель	Тоннель	20–30

Выводы:

1. Шумозащитные экраны с дифракционными ребрами имеют преимущество в эффективности перед самым простым видом ШЭ в виде вертикальной стенки, но уступают такой конструкции, как шумозащитный тоннель, однако использование тоннеля для нужд природопользования экономически нецелесообразно в связи с дороговизной сооружения.

2. Г-образная форма увеличивает эффективность использования ШЭ как защиты от шумового загрязнения на 10–20% относительно плоского экрана. Из этого можно сделать вывод, что использование ШЭ с дифракционным ребром (в виде Г-образной надстройки) является оптимальным для использования в заданных условиях.

3. Использование шумозащитных экранов оптимальной формы способствует созданию благоприятных условий для сохранения биоразнообразия, обеспечивает защиту животных от стресса, вызванного повышенным шумом, и предотвращает деградацию лесных массивов. Решение предполагается реализовать с использованием цифровых технологий, включая геоинформационные [6–9].

ЛИТЕРАТУРА:

- Ивкин В.В. Использование шумозащитных экранов на примере автомобильных дорог в городе Сосновый Бор и его окрестностях / В.В. Ивкин, В.Л. Баденко // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов всероссийской конференции. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – С. 301–302. – EDN BJRDPI.
- Айрбабамян С.А., Бугарёв Е.А. Виды шумозащитных экранов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2013. – Т. 4. – №. 1(15). – С. 134–138.

3. ГОСТ Р 51943-2002. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности.
4. Романов Н.В., Пегин П.А. Современные конструкции шумозащитных экранов // *Noise Theory and Practice*. – 2022. Т. 8. – №. 1 (28). – С. 17–28.
5. Maekawa Z. Noise reduction by screens // *Applied acoustics*. – 1968. – Vol. 1(3). – P. 157–173.
6. Badenko V. et al. Principles for Sustainable Integration of BIM and Digital Twin Technologies in Industrial Infrastructure // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16(22). – P. 9885.
7. Badenko V. et al. Method for Developing the System Architecture of Existing Industrial Objects for Digital Representation Tasks // *Systems*. – 2024. – Vol. 12(9). – P. 355.
8. Технология создания цифровой картографической основы на базе архивных фондовых материалов / В.В. Гарманов, А.Г. Осипов, В.В. Терлеев, А.Р. Грик // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 47. – С. 268–275. – EDN ZBFABH.
9. Roumyeh M.L., Badenko V.L. Integration between BIM and GIS for decision-making // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры*. – 2022. – P. 20–27.

УДК 628.24

И.В. Грженевский, К.Н. Криулин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЧАСТО ПОДТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Научная новизна работы состоит исключительно в отсутствии существующих аналогичных примеров рассмотрения темы проектирования ливневой канализации с точки зрения важности выбранного подхода к проведению расчетов, а точнее, принятию основополагающих справочных данных, давно утверждённых и не подвергающихся обновлению нормативных документов, а также тому, к чему принятие тех или иных формулировок методических указаний в итоге может привести при разработки проекта, и каким (приблизительно) мог бы быть иной исход в случае принятия противоположных предлагаемых условий.

Актуальность темы исследования обусловлена следующими несколькими важными факторами:

– Во-первых, изменение климата оказывает значительное влияние на гидрологический режим. Глобальное потепление приводит к увеличению частоты и интенсивности осадков, а также к изменению их характера. Эти изменения могут вызывать серьёзные проблемы для систем дождевой канализации, такие как переполнение коллекторов, затопления и эрозия почвы. Поэтому адаптация этих систем к новым климатическим условиям является приоритетной задачей для городских властей и специалистов.

– Во-вторых, рост урбанизации и увеличение плотности застройки приводят к значительным изменениям в рельефе и гидрологическом режиме городских территорий. Строительство новых объектов, расширение дорог и застройка территорий часто сопровождаются изменением естественного стока воды, что может негативно сказаться на работе существующих систем дождевой канализации. Исследование этих процессов и разработка рекомендаций по оптимизации систем водоотведения в условиях урбанизации становятся всё более актуальными.

– В-третьих, развитие технологий открывает новые возможности для создания более эффективных и надёжных систем дождевой канализации. Современные инженерные решения позволяют внедрять автоматизированные системы управления, использовать инновационные материалы и методы проектирования. Это требует проведения комплексных исследований, направленных на изучение новых технологий и их применение в практике.

Целью данной исследовательской работы является выявление в наиболее понятном виде закономерности и предположение какой-либо явной зависимости в том, как именно (желательно в числовом значении) зависит результат потенциальной реализации проекта системы закрытой дождевой канализации от принятых в самом начале его разработки исходных справочных данных действующих нормативных документов [1].

Задачи исследования:

1. Изучение, обобщение и анализ одного из предметов науки водоотведения – системы дождевой канализации, рассмотрение связанных с ней действующих нормативных документов, а также определение актуальности данной темы.

2. Выполнение всех расчетов, необходимых для достижения поставленной цели исследования: выявления явной зависимости в наиболее понятном виде.

Данная исследовательская работа относится к академическому типу: осуществлена в целях получения новых знаний о структуре, свойствах и закономерностях изучаемого объекта. При решении поставленных задач применялся метод выполнения гидравлического расчета с использованием таблиц Лукиных [2].

Результаты данной работы потенциально могут быть полезны или, как минимум, интересны для ознакомления, тем людям, которые не столько ясно понимают специфику проектирования и разработки систем дождевой канализации, как проектировщики и строители, но тем, кто принимает решение, какой должна быть система дождевой канализации в их конкретном случае: дорогой, дешевой или «средней», а если дорогой, то – какой? На какой объем земляных работ рассчитывать? В каком количестве может варьироваться потребность в материалах (от чего отталкиваться при планировании логистики еще на стадии проектирования)?

Для ответа на подобные вопросы определим зависимости (закономерности) в полученных данных, принимая во внимание те границы, в рамках которых проводилось исследование, и составим таблицу с необходимыми для этого данными, взятыми из результатов расчетов (табл. 1). Уточним, что все исследования проводились в рамках участка существующей малоэтажной застройки: площадью 43,5 га; с развитой УДС; с фактической вертикальной планировкой; с холмистым среднепересеченным рельефом, свойственным часто подтопляемым регионам [3-8].

Таблица 1 – Результаты проводимых расчетов в каждой их итерации

Параметр	№ итерации расчетов				
	1	2	3	4	5
Протяженность, м	4530				
Кол-во труб (5 м), шт.	906				
Сумма затрат, млн руб.	11,49	12,32	13,30	14,90	16,34
Вес всех труб, т	981	1146	1443	1762	2041
Объем земляных работ, м ³	3617	3973	4771	5457	6044

Исходя из данных, приведенных на рис. 1-3, можно отметить следующие закономерности:

1. Естественный рост суммарных затрат на запроектированные трубы.

Получаем средний коэффициент роста затрат на необходимые трубы с каждой следующей итерацией расчетов в размере 1,09. При расчетах использовались затраты лишь на трубы коллектора, главный объект исследований и основной компонент системы закрытой дождевой канализации, несущий весь расчетный расход всех стоков воды. Цены были взяты на момент 4 квартала 2024 г.

2. Увеличение объема земляных работ.

Получаем средний коэффициент роста объемов земляных работ, требующихся исключительно для прокладки труб коллектора разрабатываемой системы дождевой канализации, с каждой следующей итерацией расчетов в размере 1,138.

Объем земляных работ был получен путем перемножения ширины траншеи, её глубины и протяженности каждой прокладываемой трубы.

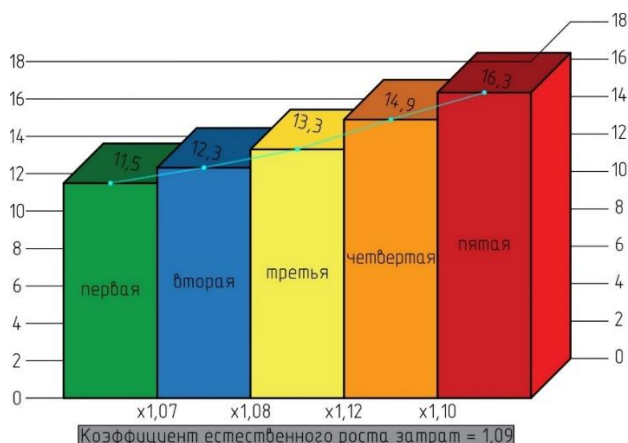


Рис. 1. Закономерность в росте затрат на трубы, млн руб.

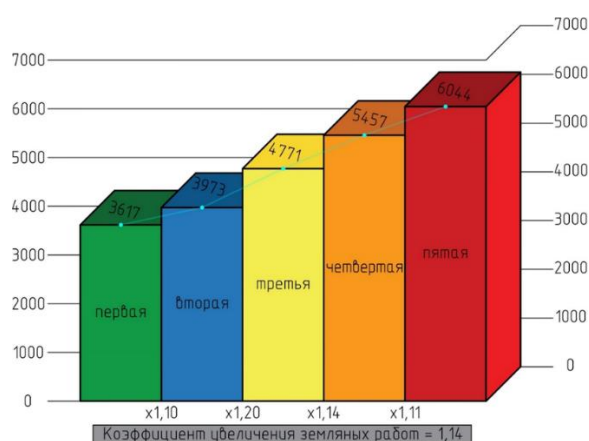


Рис. 2. Закономерность в увеличении объемов земляных работ, м³

3. Повышение логистической нагрузки.

Получаем средний коэффициент увеличения веса всех труб коллектора сети с каждой следующей итерацией расчетов в размере 1,202. Все технические характеристики запроектированных труб коллектора были взяты согласно ГОСТ 6482-2011. Также все разрабатываемые трубы коллектора были приняты как железобетонные безнапорные типа Т.

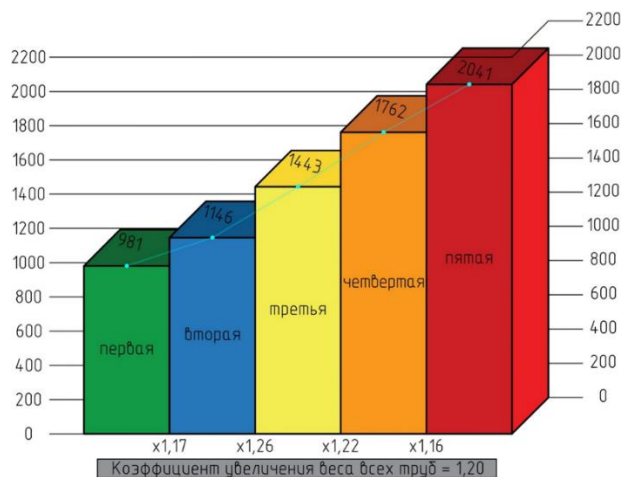


Рис. 3. Закономерность в увеличении веса запроектированных труб, т

Результаты работы – данные, численно выражающие зависимость потенциально разработанной системы дождевой канализации от начальных условий и справочных данных, взятых за основу расчетов, а также принятого подхода к проектированию. В ходе работы было получено, что: в зависимости от того, какое условное расположение коллекторов будет выбрано как соответствующее реальным условиям размещения будущей сети ливневой канализации, уже в самом начале этапа проектирования и разработки проекта будет приблизительно и ориентировочно ясно, какими (относительно других принятых условий) будут:

- величина материальных затрат только на приобретение труб коллектора;
- объемы земляных работ лишь при укладке коллектора;

– логистическая нагрузка при доставке заказанных труб коллектора.

Вывод:

Представленные зависимости могут стать приблизительным ориентиром в ходе разработки системы дождевой канализации уже на стадии проработки идеи или в самом начале проектирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год
2. Лукиных Н.А., Лукиных А.А., Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле Н.Н. Павловского., М.: Стройиздат. 1974.
3. Криулин К.Н., Бондаренко Е.А. Дренажные системы. Инженерная подготовка и защита от подтопления городских территорий. Градостроительство [Электронный ресурс]: учебное пособие Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Электрон. текстовые дан. (1 файл : 2,36 Мб). – Санкт-Петербург, 2019.
4. Горбачев П.Ф. Пояснительная записка и смета к проекту дождевых водостоков, дренажа и оросительных каналов в городе Астрахани. // Известия Астраханского Городского Общественного управления. №49. 12 ноября 1914 г.
5. Технические указания по проектированию и строительству дождевой канализации. М.: Стройиздат. 1985.
6. ГОСТ 21.508-93 СПДС Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов.
7. ГОСТ 21.204-93 СПДС Условные графические обозначения и изображения элементов, генеральных планов и сооружений транспорта.
8. ГОСТ 21.501-93 СПДС Правила оформления архитектурно-строительных чертежей.

УДК 504.064.36

В.В. Позднякова, А.Н. Чусов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НОВЫЙ ПОДХОД В ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В условиях возрастающего интереса к морским углеводородным ресурсам, освоению Арктического шельфа и необходимости обеспечения экологической безопасности эффективные методы обнаружения и мониторинга жизненного цикла углеводородов приобретают первостепенное значение для обеспечения устойчивого и рационального использования природных энергетических ресурсов [1]. Учитывая, что добыча углеводородов в таких условиях сопряжена с многочисленными проблемами, включая технические сложности, высокие затраты и повышенные экологические риски, геоэкологический мониторинг становится неотъемлемой частью процесса освоения ресурсов.

Появление признаков наличия месторождения в акватории можно обнаружить при просачивании углеводородов в придонные слои. Научной основой геохимических моделей образования аномалий является теория диффузно-фильтрационного массопереноса углеводородов [2]. Помимо индикации месторождений, их обнаружение в морской толще указывает на естественные загрязнения, которые учитываются при оценке состояния водных объектов, а также может рассматриваться как фактор, влияющий на изменение климата, поскольку включает в себя парниковые газы.

Существует несколько методов анализа акваторий для выявления потенциальных месторождений [3]. Наиболее распространенными среди них являются гравиметрические, сейсмические и аэрокосмические методы. Помимо этих подходов, выделяется отдельная

группа оптических методов, основное преимущество которых заключается в возможности использования при лидарном зондировании водной поверхности и толщи.

Целью работы является разработка комплексного подхода идентификации углеводов, растворенных в морской воде при проведении геоэкологического мониторинга.

В основе предлагаемой методики лежит использование метода комбинационного рассеяния света, который заключается в анализе рассеяния света веществом для изучения его молекулярной структуры и свойств. При взаимодействии лазерного излучения с образцом происходит преимущественно упругое рассеяние света, при котором длина волны остается неизменной. Однако часть света подвергается неупругому рассеянию, сопровождаемому изменением длины волны, что обусловлено взаимодействием фотонов с молекулами вещества и приводит к изменению их колебательных или вращательных движений. Такие изменения фиксируются с помощью рамановского спектрометра, который позволяет анализировать спектры рассеяния света и получать информацию о молекулярной структуре и составе вещества [4].

Рамановский спектр представляет собой график интенсивности рассеянного света в зависимости от разницы частот между падающим и рассеянным светом (рамановский сдвиг). Каждый пик в спектре соответствует определенному колебательному или вращательному переходу в молекуле, что позволяет идентифицировать химические связи и функциональные группы.

Основными преимуществами данного метода являются: отсутствие необходимости специальной пробоподготовки, возможность дистанционной реализации, неинвазивность, возможность детекции нескольких компонентов одновременно и относительная простота в интерпретации полученных данных [5].

В рамках разработки методики геоэкологического мониторинга морских месторождений были проведены комплексные лабораторные исследования, направленные на изучение растворенных в морской воде углеводородных газов (метан, этан, пропан, бутан), а также углекислого газа и азота. Для подтверждения экспериментальных данных были выполнены теоретические расчеты рамановских спектров исследуемых веществ с использованием теории функционала плотности (DFT), которая позволяет предсказать спектральные сигнатуры молекул на основе их электронной структуры.

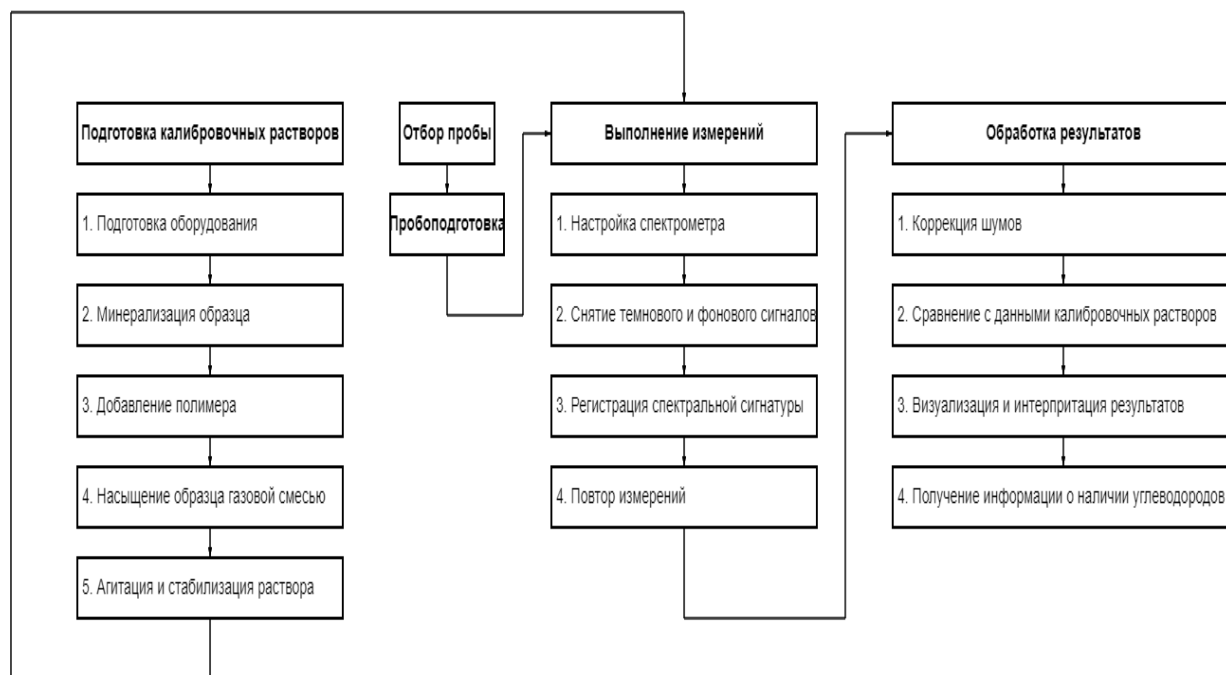


Рис. 1. Этапы исследования морской пробы на наличие в ней углеводородов

Результаты:

1. Сформирована библиотека спектральных данных, включающая сигнатуры ключевых веществ-индикаторов. Библиотека позволяет эффективно выявлять молекулы углеводов даже в сложных многокомпонентных смесях, что подтверждено как теоретическими расчетами, так и экспериментальными измерениями.

2. Разработана методика идентификации углеводов в морских пробах путем комбинационного рассеяния, состоящая из 4 этапов и позволяющая определить наличие углеводов в морской воде (см. рис. 1).

Методика продемонстрировала высокую точность: вероятность корректного определения наличия углеводов в пробах составила 90%. Для этого был использован метод бинарной классификации [6], заключающийся в расчете метрик качества, таких как характеристики точности, чувствительности и вероятности получения ложных результатов.

Выводы:

1. Использование спектральной библиотеки, сформированной на основе теоретических и экспериментальных данных, существенно повышает точность идентификации углеводов. Помимо этого, предлагаемая методика может быть интегрирована в автономные системы мониторинга, такие как подводные аппараты или спутниковые системы, что позволяет обеспечить непрерывный и эффективный контроль за состоянием водных объектов.

2. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света для задач геоэкологического мониторинга позволит оптимизировать процесс изучения морской среды для синхронного выявления гаммы индикаторных веществ, наличие которых обусловлено просачиванием углеводов в морскую толщу из месторождений.

3. Разработанная методика представляет собой перспективный инструмент для идентификации углеводов в морской воде, сочетающий высокую точность, экологическую безопасность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Казанин А.Г. Проблемы стратегического развития промышленного потенциала нефтегазового комплекса и человеческих ресурсов российской Арктики / А.Г. Казанин, М.А. Казанина. – СПб.: Реноме, 2024. – 216 с. DOI 10.25990/MAGE.cp2t-cd08. EDN UJGOJQ.
2. Lirong D. Global Oil and Gas Resources: Potential and Distribution / D. Lirong, W. Zhixin, W. Zhaoming // Springer Nature Singapore. – 2024. – С.266 DOI: 10.1007/978-981-97-4756-6
3. Позднякова В.В., Кустикова М.А. Обзор методов дистанционного обнаружения морских залежей углеводов // Гидрометеорология и экология. – 2023. – № 72. – С. 525–555. doi: 10.33933/2713-3001-2023-72-525-555.
4. Жевлаков А.П., Беспалов В.Г., Данилов О.Б., Завьялов А.К., Ильинский А.А., Кашеев С.В., Конопелько Л.А., Мак А.А., Гришканич А.С., Елизаров В.В. Рамановские гиперспектральные технологии дистанционного зондирования углеводородных геохимических полей // Оптический журнал. – 2020. – Т. 87. – № 1. – С. 16–22. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2020-87-01-16-22>.
5. Terry L.R. Applications of surface-enhanced Raman spectroscopy in environmental detection / Terry LR, Sanders S, Potoff RH, Krueel JW, Jain M, Guo H. // Anal Sci Adv. – 2022. – Vol. 3. – P. 113–145. DOI: 10.1002/ansa.202200003
6. Trullols E. Validation of qualitative analytical methods / Trullols E., Ruisánchez I., Rius F.X. // TrAC – Trends in Analytical Chemistry. – 2004. – Vol. 23(2). – P. 137-145 DOI:10.1016/S0165-9936(04)00201-8.

УДК 504.056:504.064

Л.А. Дудкин, Л.М. Молодкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ НА МЕСТЕ
ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ Г. ИНТЫ**

Шахтерские территории не только в России, но и в других странах, после закрытия угледобывающих предприятий становятся зонами экологического бедствия. Происходит просадка горных выработок, подтопление территорий вокруг закрытых шахт с насыщением водой приповерхностных слоев, что ведет к разрушению построек; высокая кислотность и минерализация вод приводит к гибели природных объектов [1, 2]. Отмеченные процессы характерны и для Интинского угольного месторождения, где было закрыто все шесть шахт.

Город Инта был основан в 1932 году на месте больших залежей энергетических углей; шахты и железную дорогу сначала строили заключенные лагерей ГУЛАГа [3]. Добыча угля началась в 1943 году. В 1954 г. Инта получил статус города, а в 1957 г. – статус города республиканского подчинения. В период распада СССР добыча каменного угля в Инте резко сократилась. На месте добычи остались провалы, которые заполнились грунтовыми водами. Часть подобных озер искусственного происхождения использовалась для отстаивания шахтных вод. Как и для других регионов с закрытой угледобычей, в Инте требуется рекультивация нарушенных территорий и восстановление приемлемого качества воды в "мертвых" искусственных озерах. Первоначальным этапом таких работ является анализ качества вод в водоемах, образовавшихся на месте закрытых угольных шахт.

Цель работы состояла в определении и оценке физико-химических показателей качества воды в водных объектах искусственного происхождения вблизи города Инта.

В качестве объектов исследования в работе были выбраны три искусственных озера и для сравнения – одно естественного происхождения; озёрам присвоены номера 1–4.

Озеро №1 глубоко интегрировано в природный ландшафт. Берега с трех сторон сильно заболочены, с четвертой стороны имеется искусственная насыпь из серой породы, полностью покрытая растительным слоем, в том числе деревьями. Цвет воды в озере коричневатый, отмечается высокая прозрачность воды.

Озеро №2 имеет частично болотистые берега. С нескольких сторон озеро обнесено искусственными насыпями из серой породы, которые имеют слабо развивающийся растительный покров, включающий деревья. В непосредственной близости к водоему находится действующий полигон твёрдых коммунальных отходов. Цвет воды в озере лазурный, при волнении наблюдается взвесь такого же цвета. Но в целом прозрачность воды наибольшая среди исследуемых водоемов.

Озеро №3 имеет болотистый берег с одной стороны. Водоем примыкает непосредственно к сглаженному террикону, склоны террикона частично покрыты растительностью. Озеро связано искусственными каналами с соседними водоемами. На поверхности воды имеются признаки цветения.

Озеро №4 естественного происхождения, проточное, с низкой скоростью течения. В водоем впадает ручей, вытекающий из близлежащих болот. Цвет воды коричневатый, прозрачность высокая. Местами наблюдается цветение.

Для анализа проб воды использовали следующие физико-химические методы и аппаратуру: спектрофотометрию / спектрофотометр СФ-56 (ЗАО «ОКБ Спектр», Россия);

спектрофлуориметрию / анализатор Флюорат-02-Панорама (ЛЮМЭКС, Россия); потенциометрию / рН-метр S40 SevenMulti™; кондуктометрию / кондуктометр HI8733 (HANNAInstruments).

Абсорбционные спектры проб воды из водоемов №№1, 3 и 4 имели вид, характерный для природных вод, содержащих органические примеси, т.е. падение (примерно в 100 раз) оптической плотности в ближней ультрафиолетовой области (от 215 до 400 нм) с небольшой выпуклостью на спектрах в диапазоне длин волн 240–270 нм. В то же время для водоема №2 наблюдалось более резкое падение оптической плотности в интервале 215–260 нм, сменяющееся небольшим подъемом с максимумом при 290–310 нм и новым монотонным падением в более длинноволновом диапазоне.

При спектрофлуориметрическом анализе были получены спектры регистрации флуоресценции для широкого диапазона длин волн возбуждения (230–340 нм), а также спектры возбуждения флуоресценции для зарегистрированных полос. На рис. 1, а, б представлены спектры регистрации флуоресценции для проб из водоемов №2 и №4.

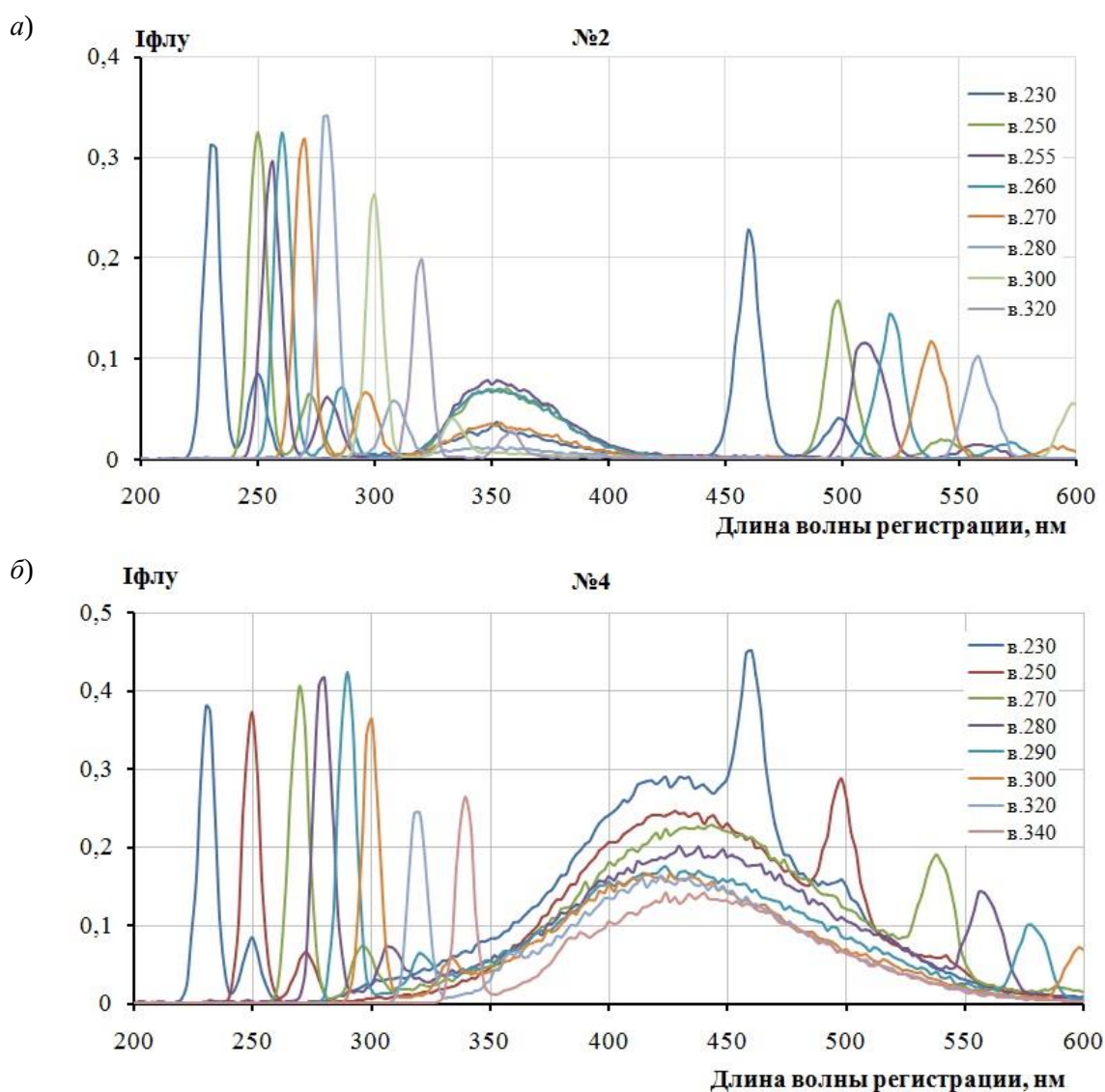


Рис. 1. Спектры регистрации флуоресценции проб воды озера №2 (а) и №4 (б) в широком диапазоне длин волн возбуждения. В дополнение к полной приборной поправке выполнена поправка на поглощение люминесцентного излучения

Анализ спектров рис. 1,б показывает, что на нем регистрируются полосы релеевского светорассеяния (при длинах волн возбуждения и при удвоенных длинах волн), полосы комбинационного (Рамановского) светорассеяния на молекулах воды, полосы белкового типа (с максимумами при длинах волн 300 и 330–340 нм) и полосы гуминового типа (с максимумами в диапазоне длин волн 420–440 нм). В ряде работ показано, что в природных водах для соединений гуминового типа характерна полученная для пробы №4 зависимость максимума полосы регистрации от длины волны возбуждения флуоресценции – смещение в длинноволновую область положения максимума при переходе от длины волны возбуждения 230 нм к 250 и 270 нм, затем смещение в более коротковолновую область при изменении длины волны возбуждения от 270 до 300 нм и новое смещение в длинноволновую область при переходе от длины волны возбуждения 300 нм к 340 нм [4]. Спектры возбуждения флуоресценции пробы №4 (не приведены) также характерны для природных вод.

Для проб воды из озер №№1 и 3 получены похожие спектры регистрации и возбуждения флуоресценции.

На рис.1а для пробы воды из озера №2 наблюдаемые спектры регистрации флуоресценции в корне отличаются от спектров для природной воды – присутствует только одна полоса флуоресценции с максимумом при длине волны 350 нм, которая возбуждается излучением в полосе с максимумом при 240–260 нм.

Методом потенциометрии было показано, что рН проб воды №№1,3,4 находится в нейтральной области, пробы №2 – в кислой. Методом кондуктометрии была измерена электропроводность всех проб. Для водоема естественного происхождения (№4) получено минимальное значение (порядка 400 мкСм/см), для озера №1 – в два раза выше, для проб озер №№ 2 и 3, соответственно, в 4 и 5 раз выше.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что вода озера №2 резко отличается от природных водоисточников – она кислая, высокоминерализованная, имеет нехарактерный для природных вод абсорбционный спектр, который может быть обусловлен присутствием комплексных соединений металлов с лигандами, содержащими ароматические системы. Отличный от природной воды спектр флуоресценции пробы №2 может быть связан с наличием нефтепродуктов (которые обычно определяют в шахтных водах). Известны работы, например, [5], в которых максимум полосы регистрации флуоресценции бензина и машинного масла наблюдался при длине волны 350 нм (возбуждение флуоресценции проводили излучением лазера с длиной волны 266 нм). По ряду перечисленных признаков можно предположить, что водный объект №2 загрязнен шахтными водами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи / Н.В. Митракова, Е.А. Хайрулина, С.М. Блинов, А.А. Перевощикова // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. С. 266–278.
2. Шахтные воды – проблема всей планеты: [Электронный ресурс]. – URL: <http://werawolw.ru/?p=21932> (дата обращения 28.01.2025).
3. Инта: [Электронный ресурс]. – URL: // <https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B0> (дата обращения 11.02.2025).
4. Molodkina L.M., Sukhareva A.V. Comparative spectral analysis of Gatchina water sources and melted snow as their possible contaminator // – IOP Publishing, 2022. – V. 1096. – №. 1. – P. 012013.
5. Лазерный метод обнаружения утечек из нефтепроводов / Ю.В. Федотов, О.А. Матросова, М.Л. Белов, В.А. Городничев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2013. – № 3. – С. 108–119.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННОЙ ЯЧМЕННОЙ СОЛОМЫ И СОРБЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Эвтрофикация водных объектов, сопровождающаяся активным развитием сине-зеленых водорослей, является острой экологической проблемой. «Цветение» водных объектов приводит к деградации экосистем и ухудшению качества воды. Данная проблема требует решения, затрагивающего не только методы борьбы, но и утилизацию отработанных материалов, образующихся в процессе очистки водных объектов.

Для предотвращения распространения сине-зеленых водорослей в акватории Москвы-реки были использованы следующие методы:

- использование хитозановых сорбентов – метод борьбы с эвтрофикацией водоемов путем удаления фототрофных микроорганизмов с помощью сорбции
- использование ячменной соломы в качестве ингибитора «цветения» воды.

По завершении исследований образовалось большое количество отработанных материалов, для которых необходимо разработать способ утилизации или повторного использования:

- влажная ячменная солома с высоким содержанием фосфора и азота, а также органическими продуктами ее разложения;
- влажный хитозан, содержащий сорбированные и адсорбированные вещества.

Цель работы: изучить возможность утилизации отработанных сорбционных материалов на основе хитозана и ячменной соломы в качестве удобрения для выращивания культур.

Из литературы [1] известно, что хитозан может подвергаться биологическому разложению. При нахождении в почве хитозан разлагается с большой скоростью. Хитозан нетоксичен. Материалы на основе хитозана оказывают стимулирующее действие на рост и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды [2].

Исследованиями установлено [3, 4] положительное действие хитозана на болезнеустойчивость сельскохозяйственных культур.

Помимо хитозана, в работе исследовали перспективность использования отработанной ячменной соломы.

При внесении соломы в почву утилизируется значительная масса ее органического вещества, обеспечивая почву элементами питания и исходным материалом для образования гумуса. Солома – одно из самых дешёвых и доступных видов органического удобрения. Солома содержит большое количество углерода, который сосредоточен главным образом в целлюлозе, гемицеллюлозе и лигнине, которые являются энергетическим субстратом для почвенной микрофлоры [5]. Внесение соломы в почву способствует повышению биологической активности почв, улучшению физических свойств почвы и улучшению ее водно-воздушного и температурного режима [5].

Все вышесказанное говорит о высокой перспективности применения хитозана и ячменной соломы, и позволяет рекомендовать их в качестве удобрения почв.

Эксперимент проводили на проростках семян редиса (*Raphanus sativus* L.) – представителя двудольных растений, который является наиболее часто используемым объектом для биотестирования, так как обладает высокой степенью отзывчивости на токсические вещества.

В качестве субстрата для проведения опыта использовался плодородный грунт. В его механическом составе преобладали фракции гумуса. Реакция почвенной среды была близкой к нейтральной (рН 6,4–6,8). Семена высевались в горшки емкостью 100 см² в субстрат.

Семена заделывались на глубину 1,0–1,5 см. по 10 штук на каждый вазон.

Внесение в почву материалов в качестве удобрений осуществлялось из расчета (4–5 кг/м²) [6]. Повторность в опыте трехразовая.

При наступлении фазы развития у 75% растений, было произведено визуальное наблюдение и измерение проростков с использованием линейки (рис. 1).



Рис. 1. Показатели всхожести и урожайности редиса (*Raphanus sativus* L.) на 7 сутки:
(1 – чистый грунт; 2 – солома; 3 – хитозан отработанный (2 месяца);
4 – хитозан отработанный (1 месяц); 5 – хитозан чистый)

Видимая разница в росте и всхожести растений между делянками фона (почва без внесения удобрений) и контроля (при внесении удобрений) проявилась через 7 суток (рис. 1). Наибольшие значения высоты растений наблюдали на участках с внесением соломы в качестве удобрений, хорошую всхожесть показывали семена с удобрением из отработанного хитозана (1 месяц).

Развитие и рост при использовании всех видов удобрений через 13 суток значительно изменились (рис. 2).



Рис. 2. Показатели всхожести и урожайности редиса (*Raphanus sativus* L.) на 13 сутки:
(1 – чистый грунт; 2 – солома; 3 – хитозан отработанный (2 месяца);
4 – хитозан отработанный (1 месяц); 5 – хитозан чистый)

Наименьшая всхожесть и высота растений отмечалась на участке 3, где использовалось удобрение из отработанного хитозана (2 месяца). Лучшие показатели наблюдаются на участке 2, где в качестве удобрения использовалась отработанная солома. Положительную динамику для роста растений придает удобрение из отработанного хитозана (1 месяц).

Результаты определения всхожести и средней высоты редиса (*Raphanus sativus* L.) в зависимости от состава удобрений представлены на рисунке 3.

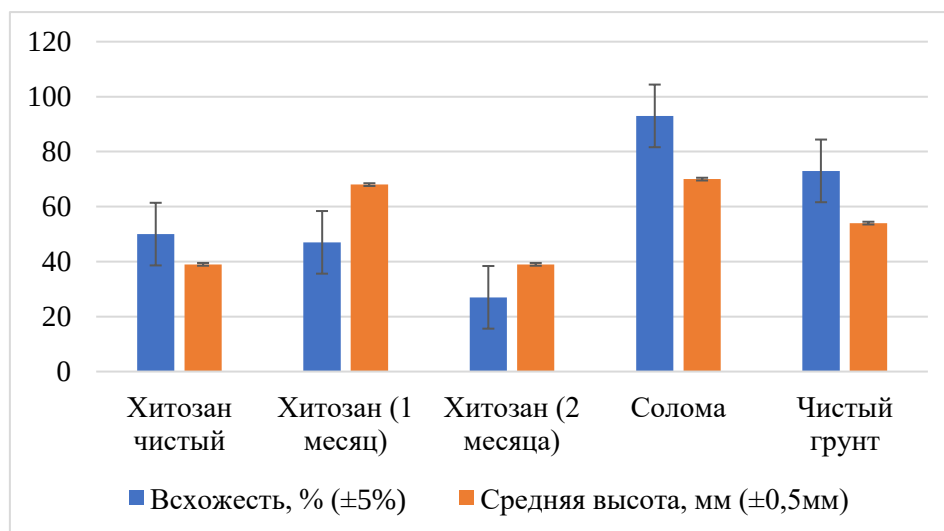


Рис. 3. Всхожесть и средняя высота редиса (*Raphanus sativus* L.) в зависимости от состава удобрений

На рисунке 3 видно, что использование отработанной соломы в качестве удобрения приводит к существенному повышению всхожести на 27% и к повышению высоты растений на 29%, чем без внесения удобрений или с применением хитозана.

Следовательно, результаты исследования подтверждают, что отработанная солома, используемая в качестве удобрения, оказывает положительный эффект на всхожесть и высоту растений. Рекомендации по использованию отработанных сорбционных материалов на основе хитозана также можно считать рациональными, но необходимо учитывать дозировку внесения их в почву, чтобы избежать вторичного загрязнения при накоплении загрязняющих веществ.

Рекомендуется производить внесение в почву не чаще одного раза в пять лет и использовать только для выращивания технических культур.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гальбрайх Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение / Л.С. Гальбрайх // Соровский образовательный журнал. – 2001. – Т.7, № 1. – С. 51–56.
2. Taranovskaya E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Technology for obtaining and using granulated absorbents based on chitosan // Chemical and Petroleum Engineering. – 2016. – V. 52. – №. 5. – P. 357–361.
3. Евстигнеева, Т.А. Действие фитоактивного хитозана и салициловой кислоты на устойчивость растений картофеля к вирусу Y / Т.А. Евстигнеева, Н.А. Павлова, С.Л. Тютюрев // Вестник защиты растений. – 2012. – № 2. – С. 27–33.
4. Очистка сточных вод с применением хитозана Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Алферов И.Н., Морев П.В. Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 322–325.
5. Кольбе Г. Солома как удобрение / Г. Кольбе, Г. Штумпе – М.: Колос, 1972. – 88 с.
6. Справочник по удобрениям. Для садоводов и огородников/ Н.А. Середа, Р.И. Баязитова, В.Я. Давлетгареева [и др.]; ФГБУ «Центр агрохимической службы «башкирский» Научно-внедренческое предприятие «БашИнком». – Уфа, 2016. – 156 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА И УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Ужесточение экологических требований к строительным материалам определило актуальный вектор развития строительной области, характеризующийся необходимостью оценки углеродного следа продукции [1]. Особое внимание уделяется теплоизоляционным материалам (ТМ), играющим ключевую роль в энергоэффективности зданий [2]. Выбор ТМ требует комплексного подхода, учитывающего не только теплотехнические характеристики материала, но и экологические аспекты его воздействия [3]. Каменная вата (КВ) – современный теплоизоляционный материал из натуральных горных пород. КВ является одним из наиболее распространенных материалов для теплоизоляции, однако ее производство и использование неразрывно связано с выбросами CO_2 [4].

Таким образом, целью работы являлось определение оптимального экологичного ТМ на примере КВ. Для достижения цели был проведен сравнительный анализ эмиссии CO_2 при использовании различных марок КВ. За основу взят метод оценки жизненного цикла продукции (LCA), который оценивает влияние продукта на окружающую среду на всех этапах его существования [5]. Данный метод соответствует современным подходам в экологической оценке и позволяет учитывать как производственные, так и эксплуатационные факторы.

Были определены следующие этапы анализа LCA:

1. Производство (A1–A3): оценка эмиссии при добыче сырья, транспортировке на завод и производстве материалов;
2. Транспортировка (A4): учитывается тип транспорта и расстояния перевозки;
3. Монтаж (A5): выбросы при установке материалов и использовании оборудования;
4. Эксплуатация (B1–B5): эмиссия из-за ремонта, замены материалов и обслуживания;
5. Снос и утилизация (C1–C4): Учет выбросов от демонтажа, транспортировки и переработки/утилизации отходов.
6. Потенциал повторного использования/переработки (D).

В рамках выполнения работы был проведен анализ 3 марок КВ: Технониколь, RockWool, ISOVER (фасады). Сравнительный анализ характеристик представлен в таблице 1.

Исходные данные: для административного здания, расположенного в Санкт-Петербурге по адресу Дегтярный переулок, требуется выполнить теплоизоляцию фасада общей площадью 5557 м^2 . Для реализации проекта необходимо закупить каменную вату в количестве 2315 упаковок. Каждая упаковка содержит материал площадью $2,4 \text{ м}^2$ и имеет объем $0,24 \text{ м}^3$. Общий объем всех необходимых упаковок составляет $555,7 \text{ м}^3$. При транспортировке материала будет задействовано 6 грузовых автомобилей. Учитывая, что объем каждой фуры составляет 92 м^3 , данный расчет транспортных средств обеспечивает оптимальную загрузку при перевозке всего необходимого количества утеплителя.

Таблица 1 – Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов

Марка КВ	Срок эксплуатации	Влагостойкость	Устойчивость к повреждениям	Завод от точки строительства, км	Стоимость м^2 , руб.
Технониколь	50 лет	Требуется дополнительная защита	Средняя	920	900
RockWool	50–70 лет	Высокая	Высокая	134	1017
ISOVER	50–60 лет	Умеренная	Высокая	860	1070

Эмиссия CO₂ КВ на всех этапах:

1. Производство (A1-A3): Технониколь: 1 кгCO₂Экв/м²; RockWool: 1,5 кгCO₂Экв/м²; ISOVER: 1,4 кгCO₂Экв/м².

2. Транспортировка (A4): при перевозке дизельной фурой (20т): 1,06 кгCO₂Экв/км (расчет основан на следующих характеристиках: 1 литр дизтоплива равен 835 г, содержание углерода 86,2%; на сгорание 1 г углерода требуется 1,92 г кислорода, расход топлива: 40 л на 100 км); при перевозке гибридным грузовиком (20 т): 0,4 кгCO₂Экв/км

3. Монтаж (A5): для всех производителей: 4,2 кгCO₂Экв/м²

4. Эксплуатация (B1-B5): для всех производителей: 0 кгCO₂Экв

5. Снос и утилизация, включая транспортировку отходов (C1-C4): для всех производителей: 7,5 кгCO₂Экв/м²

6. Повторное использование/восстановление/переработка (D): только у RockWool – 4,5 кгCO₂Экв/м², что обусловлено наличием собственного завода по переработке.

Расчет эмиссии CO₂ для административного здания по исходным данным представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет эмиссии CO₂ при использовании КВ различных марок

Показатель		Ед. изм	Марка КВ		
			Технониколь	RockWool	ISOVER (фасады)
Производство (A1–A3) Эмиссия, $\text{кгCO}_2\text{Экв}/\text{м}^2 \times S$ (площадь утеплителя)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	5557	8336	7780
Транспортировка (A4) Эмиссия, $\text{кгCO}_2\text{Экв}/\text{км} \times$ Расстояние от завода	Дизельная фура (20 т)	$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	5890	858	5506
	Электрический грузовик (20 т)	$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	2223	324	2078
Монтаж (A5) Эмиссия, $\text{кгCO}_2\text{Экв}/\text{м}^2 \times S$ (площадь утеплителя)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	23339	23339	23339
Эксплуатация (B1–B5) (срок-службы)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	0	0	0
Снос и утилизация (C1–C4) + транспортировка отходов на полигон, Эмиссия, $\text{кгCO}_2\text{Экв}/\text{м}^2 \times S$ (площадь утеплителя)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	41678	41678	41678
Потенциал повторного использования-восстановления-переработки (D), Эмиссия, $\text{кгCO}_2\text{Экв}/\text{м}^2 \times S$ (площадь утеплителя)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$		-25007	
Всего (дизельная фура)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	76464	49204	78303
Всего (электрическая фура)		$\text{кгCO}_2\text{Экв}$	72797	48670	74875
Стоимость		Руб.	5 001 300	5 649 617	5 945 990

Следовательно, КВ фирмы RockWool является наиболее экологичным материалом благодаря возможности вторичной переработки. Эмиссия углекислого газа на 35% меньше конкурентов. Стоимость закупки материала среднерыночная.

Расчет стоимости восстановления окружающей среды для каждого материала представлен в таблице 3.

Стоимость КВ для объекта при учете восстановления окружающей среды представлена на рисунке 1.

Таблица 3 – Стоимость восстановления окружающей среды для каждого материала

Восстановление эмиссии CO ₂	Стоимость за тонну CO ₂ , руб.	Технониколь	RockWool	ISOVER (фасады)	Примечание
Покупка углеродных кредитов	3920	299 740 134	192 879 102	306 947 612	
Посадка деревьев	35000 (стоимость посадки одного дерева: 700 руб.)	2 676 251 200	1 722 134 837	2 740 603 676	В среднем одно дерево за жизнь поглощает ~20 кг CO ₂
Инвестиции в зелёную энергетику	9801	749 426 800	482 246 958	767 447 332	

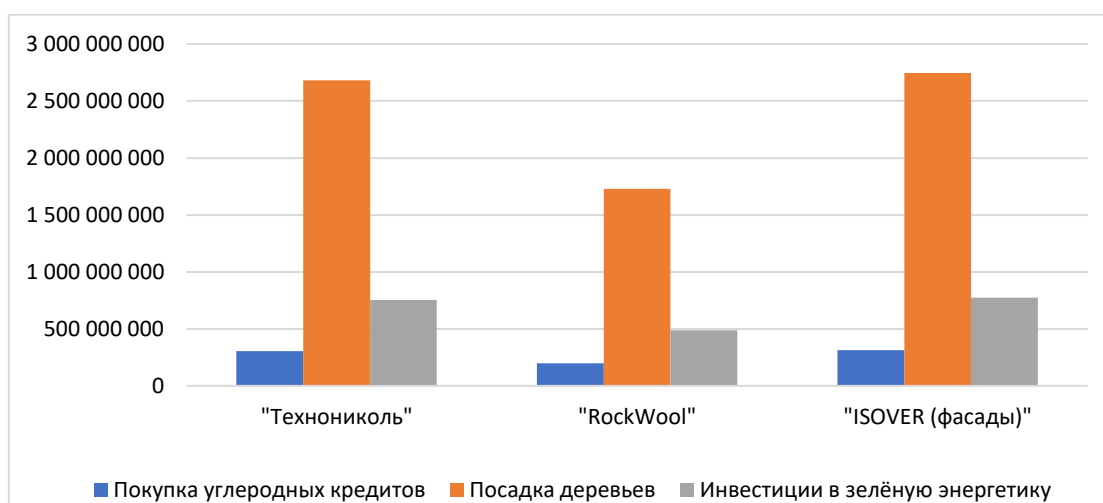


Рис 1. Стоимость КВ для объекта при учете восстановления окружающей среды

В результате проведенного комплексного анализа эмиссии CO₂ при использовании различных марок КВ на всех этапах жизненного цикла здания было установлено, что КВ марки RockWool является оптимальным экологичным ТМ для рассмотренного объекта. Несмотря на более высокую стоимость относительно других представленных к анализу аналогов, совокупные затраты, включая экологический аспект, делают RockWool наиболее рациональным выбором для данного проекта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ануфриев В.П. Энергоэффективность и проблема изменения климата: учеб. курс для студентов энерг. специальностей техн. вузов / В.П. Ануфриев, А.В. Чазов; WWF. – М.: УЦЭЭ, 2006. – 192 с.
2. Данилова Н.И. Современные методы утепления фасадов зданий и влияние теплоизоляции наружных стен на энергосбережение здания / Н.И. Данилова // Вестник науки. – 2023. – Т. 12 (69).
3. Голубова О.С. Экономические аспекты повышения энергоэффективности жилых зданий / О.С. Голубова, Н.А. Григорьева. – Минск: БНТУ, 2018. – 175 с.
4. Некрасова М.А. Анализ и оценка жизненного цикла утеплителей для экологического переустройства спортивных сооружений/ М.А. Некрасова, Г.А. Маргарян, М.Ю. Беякова // Вестник евразийской науки. – 2016. – Т. 3 (34).
5. Омельченко И.Н. Современные подходы к оценке жизненного цикла продукции/ И.Н. Омельченко, А.Е. Бром // Вестник ВУиТ. – 2013. – Т. 2 (21).

ИСПЫТАНИЕ БИОПЛАСТИКОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Полимеры и их остатки долгое время сохраняются в окружающей среде, нанося значительный экологический ущерб. В России объем полимерных отходов составляет около 750 тыс. т в год, при этом лишь 3–10 % из них используется вторично [1]. Полимерная упаковка выходит из оборота почти сразу же после того, как товар попал в руки покупателя. Полимерные отходы чаще всего подвергают захоронению в земле, однако при их биоразложении выделяются микро- и нано- пластики, оказывающее негативное воздействие как на экосистемы, так и на качество жизни населения [2]. Одним из наиболее эффективных способов решения проблемы пластиковых отходов является производство биоразлагаемых полимеров, способных разрушаться в природе с образованием безвредных веществ [3]. Биоразлагаемые полимеры отличаются от всех других полимеров тем, что могут относительно быстро разлагаться под влиянием химических, биологических или физических воздействий [4].

Основной технической характеристикой любого вида полиэтиленовой пленки является прочность, которая характеризуется высоким коэффициентом растяжения [5].

Целью работы является оценка максимальной растягивающей нагрузки биопластиковых материалов.

Сухие пленки проверялись на растяжение с помощью настольной разрывной машины INSTRON 5943. Компонентный состав каждого образца представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав образцов биопластиков для испытания на растяжение

№ образца	Композиционный состав, г	Композиционный состав, %
1	9 г хитозана + 0,5 г микроводорослей + 0,5 г глицерина	90% хитозана + 5% микроводорослей + 5% глицерина
2	8 г хитозана + 0,3 г микроводорослей + 0,3 г глицерина	92% хитозана + 4% микроводорослей + 4% глицерина
3	6 г хитозана + 0,2 г микроводорослей + 0,2 г глицерина	94% хитозана + 3% микроводорослей + 3% глицерина
4	9,6 г хитозана + 0,2 г микроводорослей + 0,2 г глицерина	96% хитозана + 2% микроводорослей + 2% глицерина

Образцы нарезались на полосы шириной 2 мм. Далее образцы вклеивались в специальные бумажные рамки длиной 3 и 5 мм. Бумажные рамки упрощают процесс закрепления образца в испытательной установке. Длина образца не влияет на результаты экспериментов. Для каждой пленки подготавливается 5 тестовых образцов.

Результаты испытаний образцов представлены в таблице 2. В таблице использованы средние значения по результатам испытаний 5 тестовых полосок каждого образца.

Таблица 2 – Результаты испытаний на растяжение образцов

№ образца	Длина, мм	Толщина, мкм	Ширина, мм	Макс. напряжение, Н	Сила, МПа	Модуль Юнга, МПа	Деформация при растяжении (стандартная), %
1	30,00	148,00	2,00	0,28	0,02	10,00	10,85
2	27,50	126,00	2,00	0,85	0,007	72,00	11,92
3	24,00	119,00	2,00	1,17	0,23	22,00	32,02
4	20,00	90,00	2,00	1,63	0,16	45,00	43,42

Полученные в ходе экспериментов значения были сведены в диаграммы для сравнения. На рисунке 1 представлены результаты максимальных значений напряжений для каждого из образцов, на рисунке 2 – результаты деформаций при растяжении различных составов.

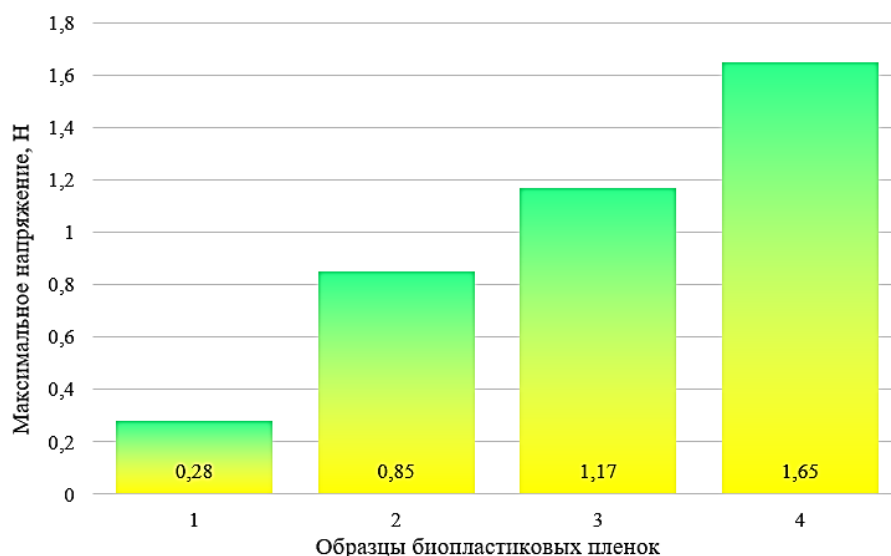


Рис. 1. Результаты максимальных значений напряжений для каждого из образцов

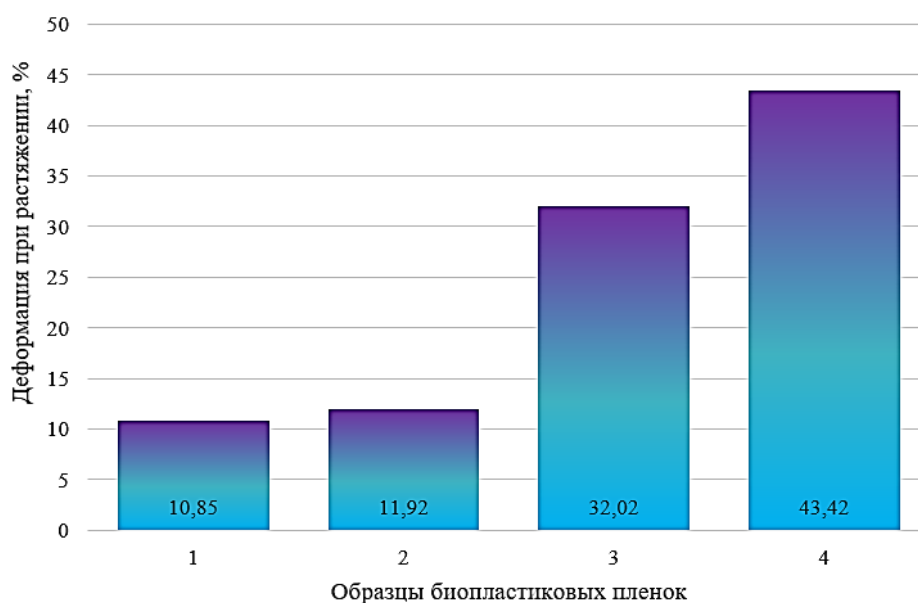


Рис. 2. Результаты деформаций при растяжении для каждого из образцов

В результате проведенных экспериментов было установлено, что образец с наибольшей долей хитозана способен выдержать наибольшую нагрузку до момента разрыва. Деформация образца доходит до 40%. С увеличением доли добавок биомассы хлореллы и глицерина эластичность биопластиковых пленок снижается. Образцы без глицерина в составе практически не обладают способностью к растяжению.

В связи с тем, что биопластиковый материал предлагается использовать в качестве альтернативы традиционным полимерам, необходимо сравнение основных характеристик этих материалов. Полиэтилен низкого давления обладает следующими характеристиками:

- относительное удлинение при разрыве 500–600%;
- максимальное значение силы, необходимое для разрушения 9,8–16,7 МПа.

Наиболее растяжимый образец (№ 4) обладает следующими характеристиками:

- относительное удлинение при разрыве 40%;
- максимальное значение силы, необходимое для разрушения 0,16 МПа.

Таким образом, физические характеристики полученного экспериментального биопластика намного ниже характеристик полиэтилена низкого давления. Следовательно, необходимо улучшать композиционный состав получаемого биопластикового материала для повышения его физических характеристик. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния различных добавок в составе биопластиков, позволяющих разработать материал, соответствующий физическим свойствам полимеров для его дальнейшего применения в качестве упаковочного материала.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вильданов Ф.Ш. Биоразлагаемые полимеры – современное состояние и перспективы использования / Ф.Ш. Вильданов, Ф.Н. Латыпова, П.А. Красуцкий, Р.Р. Чанышев // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 1. – С. 135–139.
2. Сергеев О.Е. Расчет предотвращенного экологического ущерба почвам для Санкт-Петербурга и Ленинградской области при условии устранения пластиковых отходов на полигонах ТКО / О.Е. Сергеев, К.А. Вельможина, Н. А. Политаева // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 5.
3. Кадырова А.Т. Оценка целесообразности использования биодеструктируемых добавок при производстве гибкой полимерной упаковки/ Кадырова А.Т., Хайруллин Р.З. //Научный альманах. – 2017. – Т. 4, № 3. – С. 290–293.
4. Ершова О.В. Влияние химической деструкции на изменение физико-механических свойств упаковочных полимерных плёнок с добавкой d2w / О.В. Ершова, Л.А. Бодьян, А.П. Пономарев, А.Н. Бахаева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – Т. 1, № 1.
5. ГОСТ 10354-82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия: дата введения 01.07.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 38 с.

УДК 504.064

М.Е. Суржик

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Цель исследования – разработка комплекса природоохранных мероприятий для минимизации воздействия предприятия судостроения на окружающую среду.

Деятельность предприятий судостроительной отрасли оказывает значительное воздействие на окружающую среду, что требует разработки и реализации природоохранных мероприятий. Доля судостроительной отрасли в валовом внутреннем продукте Российской Федерации составляет 0,8%, уровень добавленной стоимости 20–30% [1]. Одним из значимых источников загрязнения атмосферного воздуха на судостроительном предприятии является окрасочный участок цеха стеклопластикового судостроения. В настоящее время он не оборудован газоочистными системами, что приводит к выбросам летучих органических соединений (ЛОС) в атмосферу. ЛОС представляют собой большую группу химических соединений, содержащих углерод и другие элементы, которые могут испаряться при обычных температурах и давлениях [2]. Их присутствие в воздухе может приводить к ухудшению экологической ситуации, негативно сказываясь на здоровье персонала и жителей близлежащих территорий.

Рассмотрение проблемы загрязнения атмосферного воздуха от окрасочного участка актуально в контексте современных экологических стандартов и нормативов. В условиях ужесточения требований к промышленным выбросам необходимо внедрение эффективных

технологий очистки воздуха, обеспечивающих снижение концентрации вредных веществ до нормативных значений.

В данном исследовании проведен анализ источников загрязнения и оценено влияние выбросов на атмосферный воздух. Для этого был использован программный комплекс «УПРЗА Эколог», с помощью которого были проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ. Расчеты выполнялись в соответствии с требованиями Приказа Минприроды России от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [3]. Полученные результаты выявили превышение санитарно-гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны предприятия.

Критерием для определения размера санитарно-защитной зоны является не превышение на ее внешней границе и за ее пределами предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ [4]. Данная ситуация требует срочных мер по улучшению экологической обстановки.

Кроме того, несоблюдение технологии окрашивания деталей ведет к высокому уровню брака, что увеличивает объем отходов и способствует росту производственных затрат. Эколого-экономическая оценка ущерба окружающей природной среде заключается в определении фактических и возможных (предотвращаемых) материальных и финансовых потерь и убытков от изменения качественных и количественных параметров окружающей природной среды [5]. Расчет экономической целесообразности проводится методом дисконтирования затрат и доходов, с учетом предотвращенного экологического ущерба.

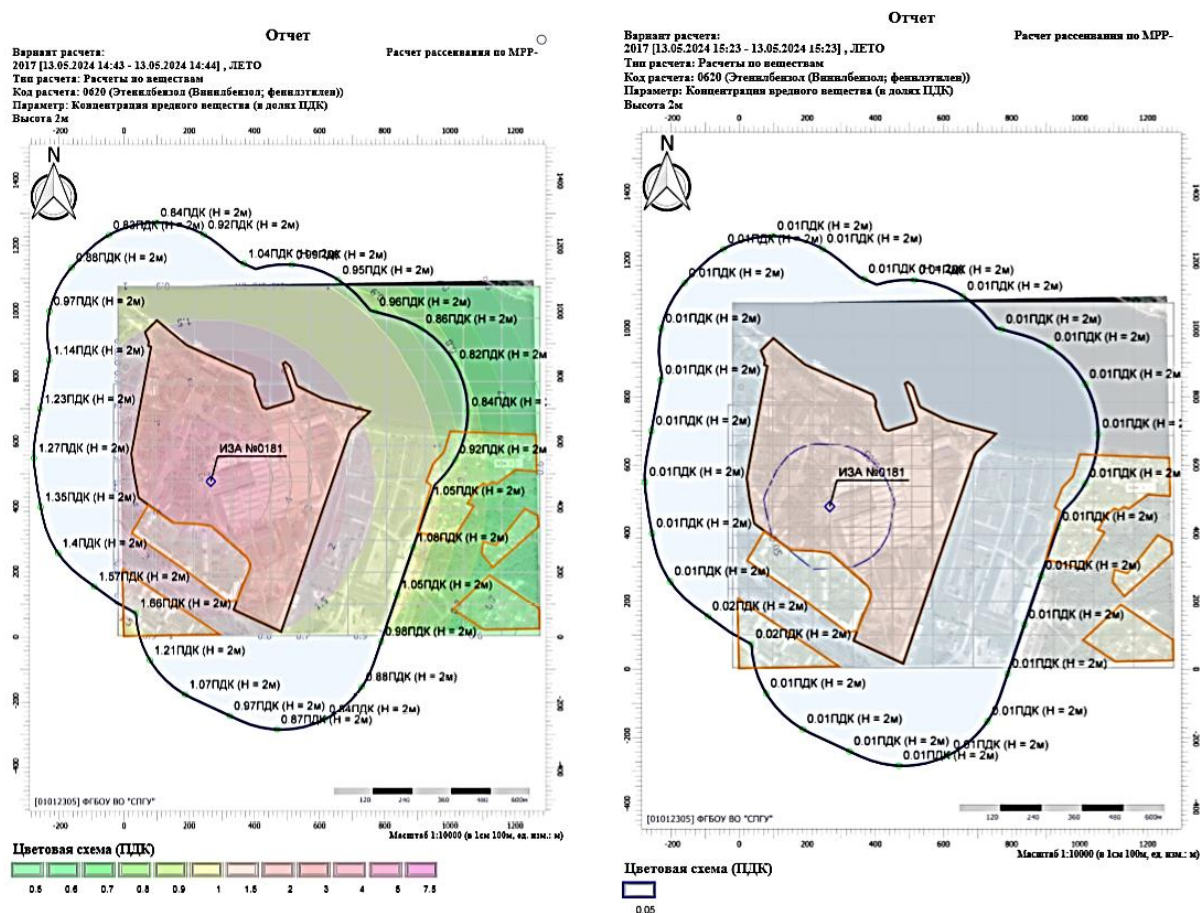


Рис. 1. Расчеты рассеивания загрязняющих веществ на примере этилбензола до и после внедрения природоохранного мероприятия

Рассмотрев различные методы очистки выбросов, в качестве наиболее рационального варианта предложена установка окрасочно-сушильной камеры со стекловолоконными фильтрами, обеспечивающая эффективную очистку отходящих газов. Внедрение данной системы требует капитальных вложений в размере 1 684 800 руб., а срок окупаемости проекта составит 9 лет. Положительным экономическим эффектом от установки предлагаемого комплекса газоочистного оборудования будет являться автоматизация производственного процесса, которая приведет к улучшению условий труда рабочих и сокращению количества бракованных деталей до 40%.

На рисунке 1 представлены расчеты рассеивания загрязняющих веществ на примере этиленбензола до и после внедрения природоохранного мероприятия. Как видно из рисунков, в результате реализации предлагаемого мероприятия будет достигнут значительный экологический эффект за счет снижения общей массы выбросов ЛОС.

Таким образом, проведенная оценка выявила значительное превышение нормативных значений ЛОС на границе санитарно-защитной зоны предприятия. Разработаны и предложены природоохранные мероприятия, направленные на снижение выбросов загрязняющих веществ, включая модернизацию газоочистного оборудования. Экономическая эффективность предложенных решений подтверждена расчетами предотвращенного ущерба и снижением затрат на компенсационные платежи. Автоматизация производственных процессов позволяет повысить качество продукции, сократить объем брака и уменьшить количество отходов, что способствует снижению общего экологического воздействия предприятия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Распоряжением Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года (с изм. на 21.10.2024): [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/563615576> (дата обращения 03.03.2025).
2. Ломова О.А., Кирилов А.А. Загрязнение воздуха летучими органическими соединениями // E-Scio. 2023. №4 (79): [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-vozduha-letuchimi-organicheskimi-soedineniyami> (дата обращения: 01.03.2025).
3. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (Зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 N 47734): [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765/ (дата обращения: 01.03.2025).
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. N 74: [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/12158477/b89690251be5277812a78962f6302560/> (дата обращения: 01.03.2025).
5. Вершкова Л.В. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба / В.Л.Грошева, В.В.Гаврилова, Н.Н.Бурцева [и др.] // г. Москва, 1999 г.

УДК 504.4.054:504.064

Д.В. Новожилов, Л.М. Молодкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ ПРЕСНЫХ ВОД И ЕГО МИКРОСКОПИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Микропластик (МП) и нанопластик (НП) представляют собой серьезную экологическую проблему, связанную с загрязнением водных систем, включая пресные водоемы. Эти частицы образуются в результате деградации крупных пластиковых отходов или производятся в высокодисперсном состоянии для использования в косметике, моющих средствах и других

продуктах [1]. МП и НП способны накапливаться в окружающей среде, переноситься на большие расстояния, поглощаться водными организмами, передаваться по пищевым цепям (включая человека), повышать риск тяжелых заболеваний и смерти [2].

Высокую опасность представляют субмикро- и наноразмерные частицы, которые из-за малых размеров могут проникать в ткани организмов, доставлять туда адсорбированные токсичные вещества и усиливать их негативное воздействие [3]. Несмотря на растущее количество исследований, посвященных морским системам, данные о пресноводных водоемах остаются ограниченными, что затрудняет оценку масштабов загрязнения и разработку эффективных стратегий по его снижению [1].

Изучение микропластика (особенно в микронном и субмикронном диапазоне размеров) и нанопластика является актуальной задачей для понимания их поведения, распространения и воздействия на экосистемы. Исследование частиц таких размеров требует применения нестандартных методов и оборудования. Так, в работах последних лет активно используют микро- и ультрафильтрацию [4]. Применение мембран с размером пор в десятки и сотни нанометров также необходимо для вспомогательных работ, таких как приготовление воды высокой чистоты («обеспыленной») для ополаскивания лабораторного оборудования, приготовления растворов (или для обеспыливания приготовленных растворов).

При использовании мембранных фильтров в процессе подготовки микропластика к его дальнейшему анализу предъявляют требования [5]:

- к размеру пор мембран (в зависимости от размеров частиц микропластика, но обычно от 0,2 до 100 мкм);
- к материалу мембраны (необходима совместимость с используемыми растворами, устойчивость к тем процессам, в которых они применяются);
- к диаметру фильтра (меньшая поверхность сокращает время анализ; площадь фильтрации соотносят с объемом анализируемой пробы);
- к удобству в обращении (возможность скручивания, складывания, образования складок, скатывание частиц с мембраны при транспортировке за счет электростатического перемещения или из-за слишком гладкой поверхности).

Если мембрану используют также для микроскопии микропластика, то она должна быть плоской, гладкой и оптически прозрачной.

Цель работы заключалась в обосновании возможности применения трековых мембран в процедурах подготовки проб микропластика (в первую очередь, при извлечении из воды), а также при их микроскопическом анализе.

Трековые мембраны обладают рядом свойств, перечисленных выше. Они плоские, гладкие, оптически прозрачные, толщина трековых мембран из полиэтилентерефталата составляет 12 (или 20) мкм. Малая толщина мембраны является как достоинством, так и недостатком, обращение с такими тонкими мембранами является достаточно сложным. Трековые мембраны имеют размер пор от долей до единиц микрометров, их давно применяют для обеспыливания и обеззараживания растворов. Трековая мембрана из полиэтилентерефталата не устойчива в щелочных условиях, но выдерживает обработку слабыми органическими кислотами.

В проведенных экспериментах нами были определены потери микропластика при фильтрации пробы через трековую мембрану. В опытах использовали мембрану толщиной 12 мкм с диаметром пор 0,2 мкм, плотностью пор $2,3 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$. В работе применяли фильтровальную ячейку производства ООО «Аналитическое приборостроение» (Санкт-Петербург) объемом 200 см^3 , площадью сечения $25,5 \text{ см}^2$, ($d = 5,7 \text{ см}$). Режим фильтрации – тупиковый. В качестве микропластика использовали модельный образец – порошкообразный полиэтилен (ПЭ) белого цвета с размером частиц 0,2–0,8 мм (данные производителя).

Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Перед опытами взвешивали мембрану и навеску порошка ПЭ с точностью до сотых долей миллиграмма. Навеску порошка помещали в стеклянный флакон, куда заливали 200 мл дистиллированной воды. В собранную ячейку через стеклянную воронку, вставленную в отверстие в крышке ячейки, вливали приготовленную пробу (при перемешивании). Фильтрацию проводили самотеком. Средняя разность уровней воды в ячейке и в приемной емкости составляла 110 см (за счет сборного выходного шланга), что соответствовало давлению $1,08 \times 10^4$ Па $\approx 0,1$ атм. Среднее время фильтрации равнялось 10 минутам.

После проведения фильтрации, отсоединения длинного шланга и удаления из короткого оставшейся воды (путем отсасывания шприцем) ячейку разбирали, мембрану с порошком (сосредоточенным в центральной части) осторожно вынимали и микроскопировали. После этого порошок ссыпали с мембраны на подложку и взвешивали, а мембрану снова анализировали под микроскопом на наличие остаточных частиц.

В таблице 1 приведены результаты взвешивания порошка до и после фильтрации и процент потерь.

Таблица 1 – Вес порошка ПЭ и его потери в опыте

№ оп.	Вес ПЭ до фильтрации, мг	Вес ПЭ после фильтрации, мг	Потери, %
1	14,86	9,98*	32,8
2	20,34	18,25	10,3
3	18,12	16,04	11,5

Примечание: в первом опыте случайно пролито ~ 15 мл образца при его заливке в ячейку

С учетом потери образца в первом опыте вывод был сделан по второму и третьему опытам: для ПЭ гранул данного размера (0,2–0,8 мм) при фильтрации удастся сохранить около 90% образца.

Для проверки возможности применения трековых мембран в качестве подложки был проведен микроскопический анализ мембран с тремя размерами пор: 0,14–0,16; 0,2; 2,0 мкм. Использовали биологический микроскоп Levenhuk 320, объективы 4х/0,1; 10х/0,25; 40х/0,65; 100х/1,25. На место окуляра помещали цифровую камеру Microscope Digital Camera M Base Series, дающей десятикратное увеличение (как и окуляр).

Сравнение фотографий чистых мембран показало, что более однородный фон, который не должен мешать микроскопическому анализу микропластика, получается для мембран с размером пор 0,14–0,16 и 0,2 мкм при использовании объективов 4х и 10х (рис. 1, а, б). Приведенная над рисунками линейка позволяет оценить размер объектов на фотографии: при объективе 4х одному миллиметру соответствует 2000 делений.

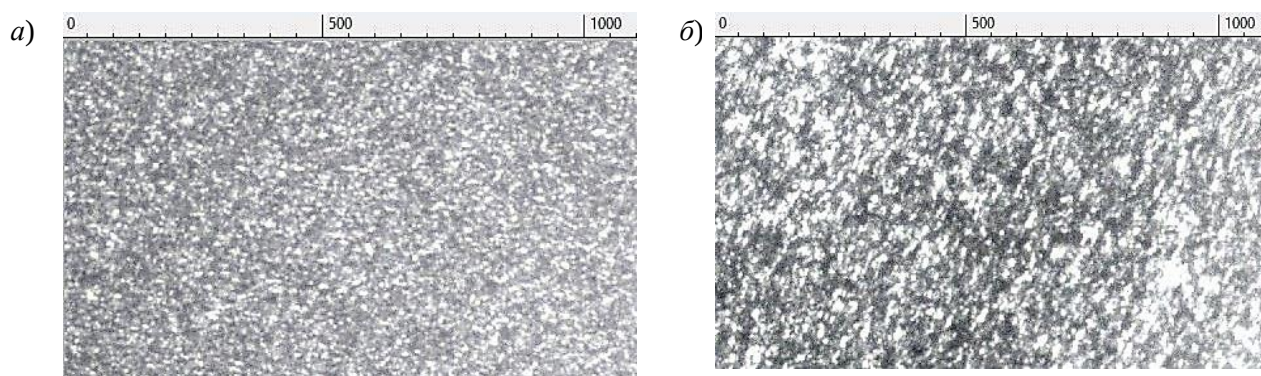


Рис. 1. Образец трековой мембраны толщиной 12 мкм с порами 0,2 мкм; объектив 4х (а); 10х (б)

Фотографии мембран до фильтрационных опытов и после них практически не отличались. При выборочном анализе десяти участков на мембране после фильтрации и ссыпания микропластика было обнаружено 6 мелких частиц разной формы с примерными размерами 50×50 – 70×70 делений (при объективе 4х), что соответствует 25×25 и 35×35 мкм. Частиц размером 0,2–0,8 мм замечено не было, т.е. они не прилипали к мембране.

Результаты микроскопического анализа отфильтрованных частиц ПЭ на трековой мембране с порами 0,2 мкм представлены на рисунке 2, а, б. При использовании объектива 4х поверхность мембраны выглядит более бледной, чем на рис. 1,а, и абсолютно не мешает изучению частиц. При использовании объектива 10х для анализа средней частицы толщиной $\sim 0,25$ мм поверхность мембраны воспринимается как белый фон, а на самой частице удается сфокусироваться только послойно, но при этом можно изучать ее поверхностную структуру.

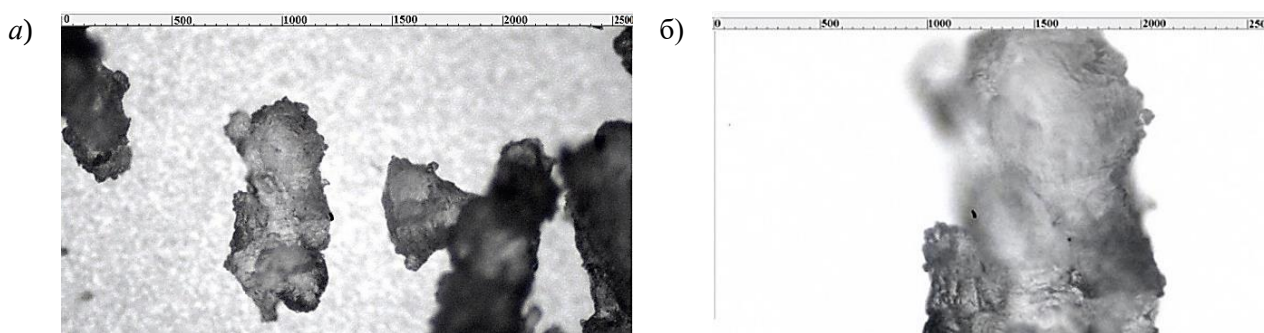


Рис. 2. Частицы микропластика (ПЭ) на поверхности трековой мембраны (12 мкм, поры 0,2 мкм); объектив 4х (а), 10х (б)

Таким образом, нами показано, что трековые мембраны можно использовать для извлечения частиц микропластика из воды и в качестве подложки для их микроскопического анализа. Предпочтительными являются мембраны с размером пор 0,2 мкм – с уменьшением размера будет снижаться скорость фильтрации, а с увеличением – ухудшаться фон, на котором будет трудно анализировать частицы микронных размеров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методы идентификации и количественного анализа микропластиков в пищевых продуктах / И.В. Гмошинский, В.А. Шипелин, А.И. Колобанов, И.Е. Соколов, К.З. Мамсая, С.А. Хотимченко // Вопросы питания, 2023. – Т. 92, № 5. – С. 87–102.
2. Казак Е.С., Филимонова Е.А., Преображенская А.Е. Микро- и нанопластик в природных водах России и проблемы его определения // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 2022. – № 6. – С. 110–123.
3. Климущко К.С. Загрязнение пресных вод микропластическими частицами // Природопользование и устойчивое развитие регионов России. Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2021. – С. 92–97.
4. Ali I. et al. Removal of micro-and nanoplastics by filtration technology: performance and obstructions to market penetrations // Journal of Cleaner Production. – 2024. – P. 143305.
5. Membrane Filters for Microplastics Analysis: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sigmaaldrich.com/RU/en/technical-documents/technical-article/environmental-testing-and-industrial-hygiene/drinking-water-testing/membrane-filters-for-microplastics-analysis?srsId=AfmBOopbOtbPGwRcRX8YsPap2FtiFzaPJBZnJXwBTJD0cCSJYKcmbMIG> (дата обращения 20.01.25).

ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА В ПРОЦЕССЕ СБРАЖИВАНИЯ МАКРОФИТОВ

В современном мире вопрос энергетической устойчивости и независимости становится все более актуальным. В поисках альтернативных источников энергии, способных уменьшить зависимость от ископаемых топлив и снизить негативное воздействие на окружающую среду, все больше внимания привлекает использование биогаза.

Цель работы – провести исследование по утилизации высших водных растений с целью получения биогаза в процессе их анаэробного сбраживания.

Высшие водные растения (макрофиты) – это крупные водные растения, доступные наблюдению невооруженным глазом, которые напоминают настоящие растения, имея стебли и листья. Наряду с положительным влиянием высших водных растений [1–3], в литературе встречаются упоминания об отрицательном воздействии их чрезмерного разрастания в водоеме, что является основным их недостатком [4]. Разрастание их в водных объектах способно нанести большой ущерб рыбоводству, способствует накоплению органических веществ и заболачиванию, ухудшает гидрохимический режим, угнетает развитие планктонных и бентосных организмов. Именно поэтому проблема зарастания водных объектов высшей водной растительностью особенно актуальна. На сегодняшний день существует множество способов по утилизации высшей водной растительности [5, 6].

В данном исследовании предлагается утилизировать высшие водные растения с целью получения биогаза методом их анаэробного сбраживания, что является перспективным подходом, который может принести значительные выгоды с точки зрения как экологической устойчивости, так и экономической выгоды, поскольку данный подход к генерации биогаза является ценным источником альтернативной энергии.

Анализ научной литературы в области анаэробного сбраживания высших водных растений показал [5, 6], что использование биомассы высших водных растений является привлекательным способом получения биогаза в связи с отсутствием конкуренции за земельные участки с сельскохозяйственным сектором. Для проведения исследования, были собраны высшие водные растения на Кавголовском озере в Ленинградской области, а также на Родниковом озере в Санкт-Петербурге.

Исследования проводились с использованием единственной в России уникальной экспериментальной установки «Лабораторный комплекс для исследования процессов получения и преобразования биогазов из органосодержащих отходов». Установка соответствует уровню современных международных требований по составу оборудования и применяемым методикам. Автоматизированный комплекс позволяет производить оценку биогазового потенциала отходов, исследовать динамику образования биогаза, изучать процессы его очистки с выделением метановой компоненты до 95% об. Для проведения сравнительного анализа влияния количества и состава добавок для анаэробного сбраживания органических отходов была создана лабораторная установка для получения биогаза, состоящая из термобокса, в который помещаются биореакторы емкостью 1 л каждый.

В качестве инокулянта в проведении эксперимента использовался свежий коровий навоз, отбираемый на ферме, содержание животных на которой соответствует санитарно-ветеринарным требованиям. В результате проведенного обзора научной литературы было установлено, что для получения наибольшего выхода биогаза необходимо провести предварительную обработку биомассы. Поэтому перед загрузкой высших водных растений в биореакторы они были измельчены в блендере, а затем смешаны с используемым инокулянтом. Для расчета загружаемой массы в

биореакторы были определены показатели влажности и содержание органического углерода в высших водных растениях и инокулянте, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика компонентов (пищевых отходов, пивной дробины и инокулянта) перед загрузкой в биореакторы

Компонент	Влажность, %	Органический углерод, %
Высшие водные растения	94	93
Инокулянт	79	92

Для определения оптимального соотношения высших водных растений и инокулянта для получения максимального содержания метана в биогазе были подготовлены различные смеси для закладки в биореакторы № 1–8.

Композиционные смеси в разных пропорциях в пересчете на органический углерод загружали в биореакторы во влажном состоянии и снимали показатели по выходу биогаза в течение 45 суток (табл. 2). Общая масса загружаемых в биореакторы образцов, пересчете на органический углерод, составляла 8 г.

Таблица 2 – Содержание композиционных смесей в пересчете на органический углерод

№ реактора	Высшие водные растения, (г. орг. угл.)/%	Инокулянт, (г. орг. угл.)/%
1	4/50	4/50
2	4/50	4/50
3	6/75	2/25
4	6/75	2/25
5	2/25	6/75
6	2/25	6/75
7*	0/0	8/100
8*	8/100	0/0

*Контрольные биореакторы

Также было определено содержание сухого вещества и влажной навески в загружаемых компонентах в каждом биореакторе (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание сухого вещества и влажной навески в загружаемых компонентах

№ реактора	Высшие водные растения, г		Инокулянт, г	
	Содержание сухого вещества	Содержание влажной навески	Содержание сухого вещества	Содержание влажной навески
1	4,3	71,68	4,35	20,28
2	4,3	71,68	4,35	20,28
3	6,45	107,53	2,17	10,14
4	6,45	107,53	2,17	10,14
5	2,15	35,84	6,52	30,42
6	2,15	35,84	6,52	30,42
7*	0	0	8,7	40,56
8*	8,6	143,37	0	0

*Контрольные биореакторы

Результаты. Все замеры проводились с трехкратным повторением. Содержание метана в каждом из биореакторов представлено на рисунке 1.

По полученным результатам (рис.1), максимальный процент метана был зафиксирован в биореакторе №4 на 44 сутки от начала эксперимента – 56% метана в биогазе при соотношении биомассы высших водных растений к инокулянту: 75/25. Минимальный процент наблюдался в биореакторе №2 – 34% метана в биогазе при процентном соотношении биомассы высших водных растений к инокулянту: 50/50 соответственно.

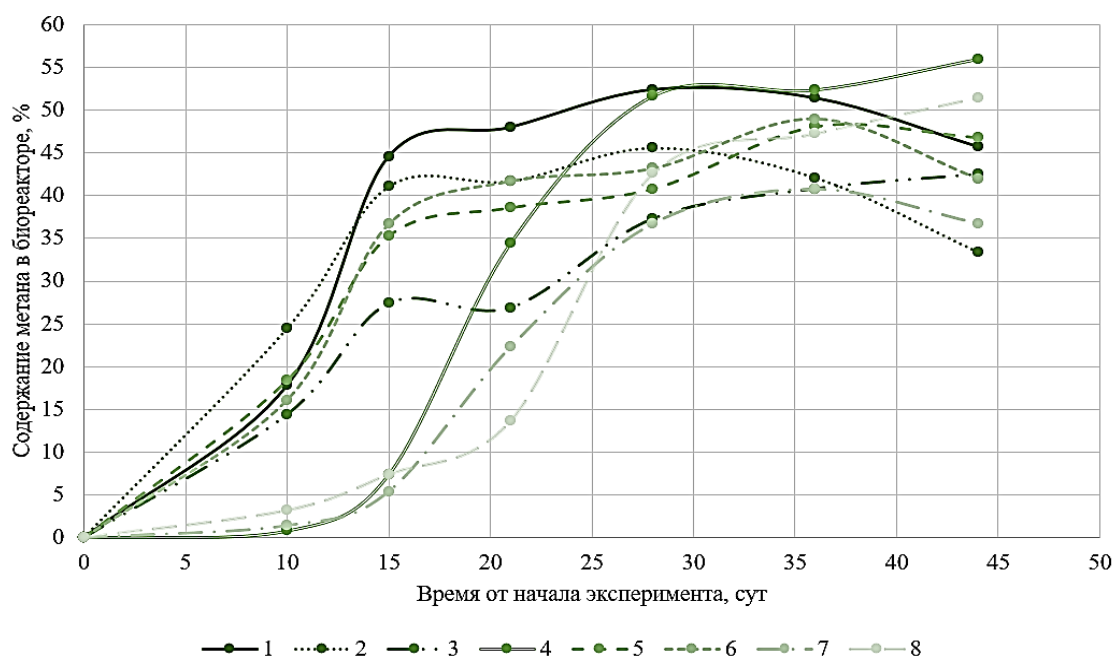


Рис. 1. Содержание метана в каждом из биореакторов

Выводы. Так как количество метана напрямую влияет на качество полученного биогаза, можно сделать вывод о том, что высшие водные растения в смеси с инокулянтom в следующем соотношении: 75% / 25%, соответственно являются эффективным композиционным составом для получения биогаза. Для получения наибольшей коммерческой выгоды предлагается очищать полученный биогаз до состава биоводорода. Данная тема требует дальнейшего исследования, особенно в части возможностей очистки биогаза из высших водных растений до биоводорода. Проведение дальнейших исследований в этой области поможет не только улучшить понимание процессов получения биогаза и биоводорода из макрофитов, но и будет способствовать развитию устойчивых и эффективных технологий в области возобновляемой энергетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Schaumburg J. et al. Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes – a contribution to the implementation of the Water Framework Directive //Limnologia. – 2004. – Т. 34. – №. 4. – С. 302–314.
2. Якубовский К., Мережко А. Поглощение биогенных веществ высшими водными растениями как фактор предотвращения эвтрофирования водоемов //Антропогенное эвтрофирование водоемов. Черноголовка. – 1974. – С. 119–121.
3. Извлечение тяжелых металлов из загрязненных стоков с использованием адсорбентов и фитосорбентов. Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Валиев Р.Ш. Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 11. С. 18–23.
4. Брагинский Л.П., Кузьменко М.И., Карпезо Ю.И., Храпцов К.П. Эффективность применения гербицидов для борьбы с зарастанием каналов Краснознаменной оросительной системы. Мат-лы 2 респ. конф. Укр., фил. Всесоюз. геоботан. о-ва. К., 1970а, С. 12–14.
5. Wang Hongxing et al. Control strategies for overgrowth of large aquatic plants in lakes and reservoirs//Agricultural Environment and Development. – 2011. – V. 28. – №. 2. – P. 69–71.
6. Greer M.J.C., Hicks A.S., Crow S.K., Closs G.P. Effects of mechanical macrophytes control on suspended sediment concentrations in streams / New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. – 2017. – № 51(2). – P. 254–278.

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ МИКРОПЛАСТИКА МЕТОДОМ КОАГУЛЯЦИИ-ФЛОКУЛЯЦИИ

Микропластик (МП) – новый вид загрязняющих веществ (пластиковые частицы размером 0,33–5,00 мм [1], обладающие стойкостью к воздействию окружающей среды и сложной структурой). Большинство отчётов указывают на то, что микропластик более широко распространён в водной среде [2] и образуется в результате сброса бытовых сточных вод и фрагментации пластиковых изделий. После очистки и повторного использования воды МП может попадать в питьевую воду и организм человека [3]. Исследования показали, что МП повреждает клетки и вызывает воспалительные и иммунные реакции в организме [4]. Также возможен риск накопления в органах и тканях, что может вызвать различные заболевания [4].

В настоящее время большинство установок для очистки питьевой воды по-прежнему используют традиционный процесс очистки воды, а в основе всего процесса флокуляции, флокулянт играет важную роль [5]. Флокуляция может использоваться как метод удаления микропластика из воды [5]. К распространенным флокулянтам относят сульфат алюминия, хлорид железа, полиалюминий хлорид (англ. poly aluminum chloride, обычно сокращенный как PAC) и др. Эти флокулянты относятся к неорганическим, которые в основном адсорбируют загрязняющие вещества с помощью гидроксида, образующегося в результате гидролиза. Сообщалось, что использование обычных флокулянтов для удаления микропластика не является идеальным [6–8] и на него легко влияют условия флокуляции. Кроме того, при использовании этих флокулянтов часто образуется больше осадка из-за большой дозировки. Авторы писали [6], что для повышения эффективности обработки микропластика в процессе флокуляции можно усилить действие флокулянтов их смешиванием с другими видами. Флокулянты, обычно используемые для смешивания с неорганическими флокулянтами, включают природные органические флокулянты хитозан (англ. CTS), целлюлозу, альгинат натрия, дубильную кислоту, а также синтетические органические флокулянты: полиакриловую кислоту, полиакриламид и т.д.

В недавнем исследовании [6], авторы использовали хитозан (CTS) для улучшения удаления микропластика в системе полиалюминия хлорида (PAC). Хитозан получают путем деацетилирования хитина [6]. Хитин – это полимер, выделяемый из ракообразных, который широко распространен в природе и не токсичен, обладающий свойствами статического притяжения и адсорбции [6].

Целью исследования являлось удаление ПЭТ-микропластика из водопроводной воды методом коагуляции-флокуляции и осаждения.

Для проведения исследования использовался хитозан от Orison Chemicals Limited (Китай). Характеристики: белый порошок, размер частиц 80 меш (95% минимум), сырьевой материал панцирь креветки/краба.

Коагулянт полиалюминий хлорид (PAC) был приобретён у компании ХимПищеПром. Также для проведения исследования использовался микропластик из полиэтилентерефталата (ПЭТ) размером частиц 100–300 мкм. Используя методику исследования содержания частиц микропластика в воде, подробно описанной в предыдущих наших исследованиях [9], при микроскопировании были обнаружены нитевидные частицы МП синего цвета различных размеров. Одна обнаруженная частица представлена на рисунке 1.

Методика эксперимента по флокуляции и измерению количества микропластика. Подготовили два лабораторных стакана и добавили в каждый стакан по 500 мл водопроводной воды. Водородный показатель (рН) в каждом стакане был равен 7,6. Стаканы пронумеровали

маркером. Далее на электронных лабораторных весах марки Shimadzu ATX224 с дискретностью 0,0001 г взвешивали 0,4 г полимера для дальнейшей работы (с расчетом 0,1 г в каждый стакан). Взвешивали 0,02 г (20 мг/л) коагулянта РАС и 0,05 г (50 мг/л) хитозана. Дозировка РАС соответствовала обычной дозировке флокулянта в водоочистных сооружениях. Далее в стаканы добавили микропластик и коагулянт РАС. Распределение хитозана в стаканы было следующим образом: в первый стакан добавили хитозан, во второй стакан хитозан не добавляли. Эксперимент по флокуляции проводился с помощью перемешивающего устройства (ЛАБ-ПУ-1). Перемешивающее устройство для флокуляции в стакане было настроено следующим образом: на 215 об/мин. в течение 30 секунд, 50 об/мин. в течение 10 минут, 50 об/мин. в течение 10 минут и, наконец, отстаивание в течение 30 минут. После завершения флокуляции осевшие частицы микропластика и хлопья были профильтрованы через металлический фильтр ячейками 100 мкм для дальнейшей сушки и анализа. Весь осадок, оставшийся на металлическом фильтре, переложили в емкости и отправили сушиться в шкаф при температуре 65 °С в течение 40 минут. После этого, высушенный осадок анализировали с использованием оптического микроскопа.



Рис. 1. Обнаруженная частица МП в водопроводной воде размером 116,9 мкм

Для дальнейшего понимания введем обозначения двух систем очистки воды: усиленная очистка воды с добавлением хитозана: система РАС+CTS (добавление коагулянта РАС и хитозана) и очистка воды только с добавлением коагулянта: система РАС.

Результаты. В первом стакане (с добавлением хитозана) после перемешивания образовались крупные хлопья с трехмерной сетчатой структурой во время флокуляции (рис. 2). После прекращения перемешивания хлопья с микропластиком оседали. Наблюдение за морфологией хлопьев показало, что хлопья системы РАС+CTS были больше по объему (рис. 2,а), имели большую плотность, лучше очищались и содержали больше частиц микропластика.

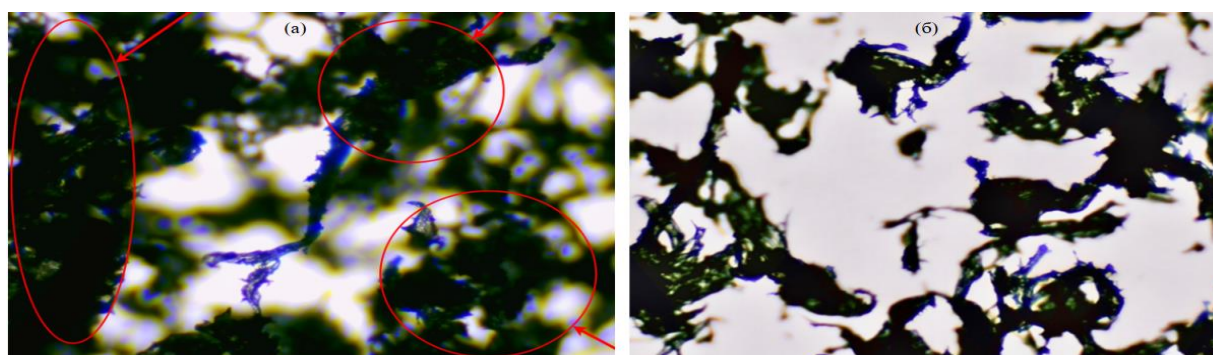


Рис. 2. Эффект образования хлопьев под микроскопом:
а – в системе РАС+CTS (стакан №1); б – в системе РАС (стакан №2)

Введение CTS-хитозана оказало значительное усиливающее воздействие на эффект образования хлопьев в системе РАС. Более того, в некоторых областях появились длинноцепочечные структуры, полученные из длинной полимерной цепи, образованной гидролизом CTS, которые контактировали с ПЭТ, усиливая адсорбцию между частицами микропластика. А хлопья, образованные системой РАС рис. 2,б, были маленькими и рыхлыми, гидролизаты были редкими, а эффект адсорбции был слабым.

Выводы. Коагулянт РАС совместно с хитозаном сформировали композитную флокуляционную систему РАС+CTS посредством гидролиза и химической реакции. По результатам было выявлено, что по сравнению с системой РАС, система РАС+CTS имела улучшение с точки зрения нейтрализации заряда, адсорбции, что улучшило удаление микропластика ПЭТ. Таким образом, хитозан эффективно может захватывать и удалять загрязняющие в воде вещества и осаждать их. Авторы [6] писали, что система РАС+CTS также имеет хорошие эффекты удаления микропластика ПВХ, ПЭ, ПП и ПС в воде, поэтому следует провести дальнейшие исследования по изучению очистки воды от других видов пластика, а также изучить дополнительные факторы, влияющие на эффективность системы флокуляции РАС+CTS для очистки воды от загрязнения микропластиком.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Cole M. et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review //Marine pollution bulletin. – 2011. – Т. 62. – №. 12. – С. 2588–2597.
2. Zhang Y. et al. Removal efficiency of micro-and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment //Science of The Total Environment. – 2020. – Т. 720. – С. 137383.
3. Lee C. S., Robinson J., Chong M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment //Process safety and environmental protection. – 2014. – Т. 92. – №. 6. – С. 489–508.
4. Cheng Y. et al. Microplastics: an often-overlooked issue in the transition from chronic inflammation to cancer //Journal of Translational Medicine. – 2024. – Т. 22. – №. 1. – С. 959.
5. Tang S. et al. The coagulation behavior and removal efficiency of microplastics in drinking water treatment //Journal of Water Process Engineering. – 2023. – Т. 53. – С. 103885.
6. Huang L. et al. Chitosan enhances poly aluminum chloride flocculation system removal of microplastics: effective, stable, and pollution free //Journal of Water Process Engineering. – 2023. – Т. 54. – С. 103929.
7. Очистка сточных вод с применением хитозана Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Алферов И.Н., Морев П.В. Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 322–325
8. Technology for obtaining and using granulated absorbents based on chitosan Taranovskaya E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Т. 52. № 5-6. С. 357–361.
9. Бондаренко К.А. Удаление частиц микропластика из природных вод г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области с помощью микроводорослей *Chlorella Kessleri* / К.А. Бондаренко, Н.В. Зибарев, Н.А. Политаева, Д.А. Пугачева, В.Ю. Белоусова// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 1(65). – С. 218–226. – EDN: WIBVSY.

УДК 546.21:551.465.7 (262.7)

Е.А. Гребнева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОЛЬ pH КАК ИНДИКАТОРА ИЗМЕНЕНИЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ЧЁРНОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Водородной показатель (pH) является одной из важнейших гидрохимических характеристик морской среды, отражающей кислотно-щелочной баланс вод и играющей ключевую роль в биогеохимических процессах. Изменения pH могут оказывать значительное влияние на морские экосистемы, включая физиологию морских организмов, растворимость

химических соединений и скорость биохимических реакций [1]. В частности, pH влияет на доступность питательных веществ, таких как фосфаты и нитраты, а также на процессы кальцификации у морских организмов, таких как кораллы и моллюски [2].

В морской среде pH тесно связан с концентрацией растворенного углекислого газа (CO_2) и карбонатной системой, включая бикарбонаты (HCO_3^-) и карбонаты (CO_3^{2-}). Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере, вызванное антропогенными выбросами, приводит к закислению океанов (Ocean Acidification), что снижает уровень pH и нарушает баланс карбонатной системы [3]. Это явление особенно важно для регионов с высокой биологической продуктивностью, таких как Черное море, где изменения pH могут влиять на структуру экосистем и биоразнообразие [4].

Исследования показали, что в поверхностных водах Черного моря наблюдаются квазициклические колебания pH с периодом около 10 лет, что связано с изменением региональных гидрометеорологических условий, включая циклоническую активность в Атлантико-Европейском регионе [5].

Климат Средиземноморско-Черноморского региона во многом зависит от циркуляционных процессов в Северной Атлантике [6]. Изменения в режиме образования циклонов и антициклонов приводят к аномалиям в атмосферном давлении, температуре, количестве осадков, а также в скорости ветра и других параметрах, влияющих на поверхность моря. Эти изменения, в свою очередь, воздействуют на стратификацию водных масс, интенсивность вертикального перемешивания, апвеллинг и даунвеллинг, а также на другие характеристики морской среды. Такие колебания гидрометеорологических условий оказывают значительное влияние на химический состав вод Черного моря [4].

С учетом проведенных наблюдений, целью данной работы является изучение роли водородного показателя (pH) как индикатора изменений морской среды Черного моря под влиянием климатических факторов (таких как Североатлантическое колебание, Восточно-Атлантическое колебание и др.), а также анализ взаимосвязи между колебаниями pH и гидрометеорологическими условиями для прогнозирования последствий климатических изменений и антропогенного воздействия на экосистемы Черного моря.

Для достижения поставленной цели был использован метод разностных композитов, который позволил оценить влияния четырех основных пространственно-временных мод в системе океан-атмосфера Северного полушария: Североатлантического колебания (САК), Восточно-Атлантического колебания (ВАК), Скандинавского колебания и Восточно-Атлантического – Западнороссийского колебания на аномалии pH в поверхностных водах Черного моря.

Установлено, что в зимний период наибольшее влияние на аномалии pH оказывает Восточно-Атлантическое колебание (ВАК). В период с ноября по февраль, во время отрицательной фазы ВАК, наблюдается положительная аномалия pH (в среднем около 0,09 единиц pH по акватории моря). В положительную фазу ВАК (ВАК+) аномалия pH становится отрицательной, достигая в среднем -0,08 единиц pH.

Таким образом, разница между аномалиями pH в положительную и отрицательную фазы ВАК составляет около -0,17 единиц pH. В положительную фазу ВАК отрицательные значения pH преобладают практически по всей акватории Черного моря, с наиболее выраженными аномалиями в восточной и западной частях моря, где проведено наибольшее количество измерений (рис. 1).

Эти закономерности изменчивости pH связаны с особенностями гидрометеорологических условий в Черноморском регионе в разные фазы ВАК. В частности, в отрицательную фазу ВАК увеличивается частота атмосферных циклонов, что приводит к усилению перемешивания верхних слоев моря и активизации биогеохимических процессов, что, в свою очередь, влияет на уровень pH.

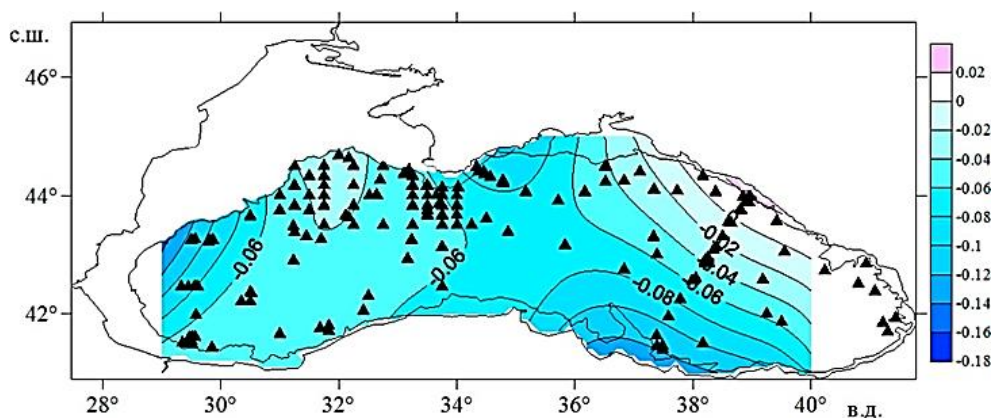


Рис. 1. Поле полуразностного композита величины pH для противоположных фаз ВАК в период с ноября по февраль за период 1957 по 1996 гг. (ВАК+ минус ВАК-). Количество случаев 7

На основании проведенного анализа можно утверждать, что pH является не только важным индикатором текущего состояния морской среды, но и инструментом для прогнозирования последствий климатических изменений и антропогенного воздействия. Мониторинг и анализ изменений pH позволяют лучше понимать механизмы взаимодействия между атмосферой, океаном и биосферой, что необходимо для разработки стратегий устойчивого управления морскими экосистемами в условиях глобальных изменений климата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Doney S.C., Fabry V.J., Feely R.A., & Kleypas J.A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*. – 2009. – V. 1. – № 1. – P. 169–192.
2. Orr J.C., et al. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*. – 2005. – V. 437. – №. 7059. – P. 681–686.
3. Feely R.A., Sabine C.L., Lee K., Berelson W., Kleypas J., Fabry V.J., & Millero F.J. (2004). Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science* – 2004. – V. 305. – №. 5682. – P. 362–366.
4. Oguz T. (2005). Black Sea ecosystem response to climatic variations. *Oceanography* – 2005. – V. 18. – №. 2. – P. 122–133.
5. Полонский А.Б. Квазициклические колебания pH в Черном море и их связь с климатическими процессами. *Океанология*. 2022. – 62(3). – С. 345–356.
6. Rogers J.C. (1997). North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of northern Europe. *Journal of Climate* – 1997. – V. 10. – №. 7. – P. 1635–1647.

УДК 628.35

Д.С. Глебова, В.Ю. Белоусова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОПЛЕНОЧНОГО РЕАКТОРА И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Очистка и доочистка сточных вод с использованием биопленочного реактора с подвижным слоем, или технология Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), представляют собой передовую технологию биологической очистки, которая становится все более востребованной в мировых системах водоотведения. Данный способ очистки во всю используется в Европе и в России [1–3]. Эта методика объединяет преимущества подвесных и прикрепленных систем роста микроорганизмов, что позволяет эффективно снижать концентрацию загрязняющих веществ до требуемого уровня для последующего использования или безопасного сброса. MBBR доказал свою высокую эффективность в удалении органических веществ, включая

биохимическую (БПК) и химическую (ХПК) потребность в кислороде, а также питательных элементов, таких как азот и фосфор [4]. Однако среди специалистов продолжаются дискуссии о сравнительных преимуществах MBBR по отношению к традиционным методам очистки.

Вопрос улучшения качества сточных вод регулируется рядом законодательных актов, включая Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» № 416-ФЗ, СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» и Постановление Правительства РФ № 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Соблюдение данных норм критически важно для предотвращения загрязнения водных объектов и обеспечения безопасности окружающей среды [5–7].

Целью данного исследования является предоставление преимуществ MBBR по сравнению с обычной очисткой сточных вод. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ эффективности очистки сточных вод в системах MBBR и традиционных методах;
2. Изучить устойчивость MBBR к изменяющимся условиям эксплуатации, включая токсические нагрузки и колебания состава сточных вод;
3. Оценить энергопотребление и эксплуатационные затраты для обеих технологий;
4. Подтвердить полученные результаты экспериментальными данными из лабораторных и пилотных установок.

Методы исследования:

Исследование основано на данных лабораторных и пилотных установок, в которых были проведены испытания MBBR и традиционных методов очистки. В качестве основных показателей эффективности рассматривались:

1. Химическое потребление кислорода и биохимическое потребление кислорода.
2. Уровень удаления аммонийного азота (NH_4^+).
3. Скорость формирования и устойчивость биоплёнки.
4. Энергозатраты и эксплуатационные расходы.

Эксперименты проводились на двух установках с идентичным объёмом (50 л). Одна установка работала по технологии MBBR с загрузкой полиэтиленовыми носителями (60% объёма), а вторая использовала традиционную технологию активного ила.

В рамках исследования установлено, что система биопленочного реактора с подвижным слоем демонстрирует высокую эффективность снижения ХПК, составляющую около 92%, тогда как в системе активного ила эффективность удаления органических загрязнений составляет около 85%. Система эффективна как для нитрификации, так и для денитрификации. В условиях повышенной нагрузки, при увеличении химического потребления кислорода на 30%, эффективность очистки в MBBR снизилась всего на 5%, в то время как в традиционной системе наблюдалось снижение на 15%.

Удаление аммонийного азота в MBBR составило 85%, в традиционной системе – 70%.

Среднее энергопотребление на 1 м³ очищенной воды в MBBR составило 0,9 кВт·ч, а в системе активного ила – 1,5 кВт·ч.

Что касается эксплуатационных затрат, то MBBR требует меньше затрат на обслуживание, так как не требует возврата активного ила и обладает высокой устойчивостью к токсическим шокам. Результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективности очистки MBBR и активного ила по ХПК во времени

Параметр	MBBR	Активный ил
Эффективность удаления ХПК (%)	92	85
Эффективность удаления NH ₄ ⁺ (%)	85	70
Снижение эффективности при нагрузке (+30% ХПК) (%)	5	15
Энергопотребление (кВт·ч/м ³)	0,9	1,5
Эксплуатационные затраты	Низкие	Высокие

Также было отмечено очевидное преимущество MBBR, включающее отсутствие необходимости в обратной промывке, так как он не подвержен засорению, его можно эксплуатировать непрерывно, обеспечивая большую площадь поверхности для роста микробов и имея низкую потерю напора. В качестве недостатка была выявлена низкая способность к осаждению ила и высокое избыточное производство биомассы.

Выводы

Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность технологии MBBR в сравнении с традиционной системой активного ила. MBBR демонстрирует повышенную степень очистки сточных вод, особенно по показателям ХПК и аммонийного азота, а также обладает большей устойчивостью к изменяющимся нагрузкам. Существенное преимущество заключается в сниженных эксплуатационных затратах и энергопотреблении, что делает этот метод более экономически выгодным в долгосрочной перспективе. Однако технология имеет и некоторые ограничения, включая избыточное образование биомассы.

Несмотря на очевидные преимущества, дальнейшие исследования необходимы для более точного определения оптимальных параметров эксплуатации, а также для расширения области применения MBBR в различных системах очистки сточных вод. Развитие этого направления представляется перспективным с точки зрения повышения эффективности водоочистных процессов и снижения нагрузки на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чан А.А., Йоханссон Н., Кристенссон М. Повышение эффективности удаления азота на очистных сооружениях канализации: апробация инновационных технологий (опыт г. Векшё, Швеция) // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – №. 5–6. – С. 68-79.
2. Гребенчикова И.А. и др. Анализ формирования прикрепленного и свободноплавающего активного ила в процессе запуска очистных сооружений // Технология органических веществ: материалы 87-й НТК – Минск: БГТУ, 2023. – С. 409–412.
3. Барвал А., Чаудхари Р. Изучение производительности бионосителей в технологии биопленочного реактора с подвижным слоем (MBBR) и кинетики биопленки для модернизации существующих систем аэробной очистки: обзор // Обзоры по науке об окружающей среде и биотехнологии. – 2014. – Т. 13. – С. 285–299.
4. Борисова О.Н., Волкова Е.С. Очистка нефтесодержащих сточных вод: обзор традиционных и современных методов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2022). – 2022. – С. 240–245.
5. Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" от 07.12.2011 N 416-ФЗ (последняя редакция) – Текст: электронный. // КонсультантПлюс: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ (дата обращения: 25.02.2025).
6. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. – Текст: электронный. // Роспотребнадзор: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf (дата обращения: 25.02.2025).
7. Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 28.11.2023). – Текст: электронный. // КонсультантПлюс: [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150474/ (дата обращения: 25.02.2025).

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВТОРИЧНЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ГРАНУЛ

Производство пластмасс ежегодно растет. По данным Федерального агентства статистической отчетности (Росстат), только 9% пластиковых отходов перерабатывается [1]. Производство вторичных пластиковых гранул – ключевой этап механической переработки полимерных отходов, превращающий использованный пластик в сырье для новых изделий [2]. Основными материалами, используемыми для производства вторичных гранул, являются полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности и полипропилен. Эти материалы ценятся за возможность вторичной переработки, химическую стойкость и механические свойства.

Целью работы является оценка методов определения качества вторичных пластиковых гранул для повышения эффективности переработки пластика.

Конкретные задачи включают: анализ ключевых факторов, влияющих на качество вторичных гранул, обзор стандартизированных методов тестирования, определение оптимальных методов определения свойств вторичного пластика, разработка рекомендаций по улучшению оценки и классификации вторичных пластиковых гранул.

Методы исследования. Оценка качества вторичных пластиковых гранул включает в себя различные аналитические и механические методы. Физико-механические испытания – измерение плотности, прочности на разрыв, ударной вязкости, твердости, износостойкости. Химический анализ – определение содержания примесей и добавок с помощью спектроскопических методов. Термогравиметрический анализ – исследование термической стабильности и состава. Дифференциальная сканирующая калориметрия – оценка температур плавления, кристаллизации и стеклования. Эти методы помогают определить пригодность вторичных гранул для различных промышленных применений.

В данном исследовании использовались два основных метода:

1. Пикнометрический метод, который обеспечивает точность до $0,0002 \text{ г/см}^3$, что очень важно для выявления незначительных изменений плотности в ходе нескольких циклов переработки пластика.
2. Флотационный метод, который особенно полезен для классификации полиолефинов, плотностью ниже 1 г/см^3 .

Пикнометрический метод обеспечивает высокоточные измерения плотности, а флотационный метод полезен для классификации полиолефинов [3].

Исследование включало в себя тестирование гранул вторичного пластика в течение нескольких циклов переработки с акцентом на изменение плотности и деградацию механических свойств. Для анализа использовались полимерные гранулы, полученные из переработанных пластиковых отходов. Перед тестированием был произведен отбор образцов частиц одинакового размера и массы для обеспечения воспроизводимости результатов. Для определения плотности образца, путем измерения объема вытесненной жидкости, был применен пикнометрический метод. Процесс применения пикнометрического метода происходил следующим образом: гранулы взвешивались на аналитических весах и помещались в пикнометр, заполненный дистиллированной водой. Система была подвергнута вакуумной обработке для удаления пузырьков воздуха, которые могли исказить результаты измерений. После стабилизации измерялась масса пикнометра с жидкостью и образцами, и по разнице масс рассчитывалась плотность материала.

Данный метод обеспечивает точность до $0,0002 \text{ г/см}^3$ и позволяет обнаружить даже незначительные изменения плотности пластика после нескольких циклов переработки.

Флотационный метод, для классификации полиолефинов, проводился следующим образом: образцы помещались в водно-этанольный раствор с известной плотностью. Концентрация раствора постепенно изменялась, регулировалась его плотность и определялся момент, когда гранулы достигали взвешенного состояния – не плавали и не тонули. С помощью калибровочной таблицы определялась точная плотность пластика.

Флотационный метод особенно полезен для выявления изменений в составе материала и возможного загрязнения, которое может повлиять на последующую переработку.

Результаты исследования определили, что многократные циклы переработки приводят к заметному снижению плотности и механической прочности пластмасс. Это снижение становится особенно значительным по мере увеличения количества циклов переработки, что напрямую определяет практические пределы повторного использования переработанных пластиковых материалов [4].

Снижение плотности за цикл переработки рассчитывалось по формуле (1):

$$P_n = P_0 - kn, \quad (1)$$

где P_n – плотность после n циклов переработки; P_0 – начальная плотность материала; k – коэффициент потери плотности за цикл переработки; n – количество циклов переработки.

Теоретическое максимальное количество циклов переработки до того, как плотность упадет ниже нормативных пределов, было оценено с помощью формулы (2):

$$N = \frac{P_{\max} - P_{\min \text{ гост}}}{\Delta P_{\text{цикл}}}, \quad (2)$$

где $P_{\max}$ – максимальная начальная плотность материала; $P_{\min}$ – минимально допустимая плотность по ГОСТу; $\Delta P_{\text{цикл}}$ – снижение плотности за цикл.

По результатам исследований, выявлено среднее снижение плотности за цикл переработки для основных типов полимеров: для полиэтилена высокой плотности $0,003 \text{ г/см}^3$, для полиэтилена низкой плотности $0,002 \text{ г/см}^3$, для полипропилена $0,0025 \text{ г/см}^3$. Выявлены практические пределы переработки для каждого полимера: для полиэтилена высокой плотности 5–7 циклов, после чего наступает структурное разрушение, для полиэтилена низкой плотности 3–5 циклов до появления чрезмерной хрупкости, для полипропилена 4–6 циклов, прежде чем он станет непригодным для промышленного применения.

Различные методы испытаний позволяют получить дополнительные данные для всесторонней оценки качества вторичных пластиковых гранул. Пикнометрический метод оказался наиболее точным для отслеживания незначительных изменений плотности и оптимальным для лабораторных оценок. При этом он требует контролируемых условий, специализированного оборудования и точной пробоподготовки. Флотационный метод рекомендуется для быстрой классификации и крупномасштабной сортировки в промышленных условиях.

Выводы. Переработка вторичных пластиковых гранул необходима для сокращения объема пластиковых отходов и поддержки циркулярной экономики. Исследование показывает, что после нескольких циклов переработки качество пластмасс ухудшается и это сказывается на их прочности и пригодности к использованию. Чтобы расширить возможности использования переработанных пластмасс, за пределы практических ограничений, необходим комплексный подход. Рекомендуется принимать следующие меры:

- смешивать переработанные пластмассы с первичными полимерами для улучшения механических свойств и компенсации деградации.
- использовать различные стабилизаторы, которые позволят замедлить окисление и сохранить целостность полимера в течение большего количества циклов переработки.
- внедрять альтернативные способы применения для деградировавших пластиков, например, для дорожно-строительных материалов.

Соблюдение установленных стандартов оценки качества пластмасс (ГОСТ, ISO) имеет решающее значение для обеспечения последовательности и надежности при тестировании и классификации. Придерживаясь стандартов, производители могут гарантировать, что их переработанные материалы отвечают необходимым критериям качества, а совершенствование процессов сортировки и очистки пластиковых отходов повышает качество переработанного пластика и расширяет возможности его использования [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Промышленное производство в России. 2023: Стат.сб./Росстат. – М.: П81., 2023. – 259 с.
2. Министерство экономического развития РФ «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов». – 2023.
3. ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы). – Введ. 01.01.1970. – М.: Стандартиформ, 1969. – 18 с.
4. ГОСТ 16337-2022. Полиэтилен высокого давления. – Введ. 01.09.2023. – М.: Стандартиформ, 2023. – 57 с.
5. Чухланов В.Ю. Современные методы исследования эксплуатационных свойств полимерных материалов : учеб. пособие к лаб. и практ. занятиям / В.Ю. Чухланов, Е.В. Ермолаева, Л.А. Чижова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019. – 104 с.

УДК 502.37:628.512

Е.А. Шеина, П.С. Шинкевич
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ПОГЛОЩЕНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА МИКРОВОДОРОСЛЯМИ

Проблема негативного воздействия углекислого газа на окружающую среду является актуальной и нуждается в ее решении. Одним из перспективных методов борьбы с этой проблемой является использование микроводорослей, которые обладают уникальной способностью поглощать углекислый газ. Этот метод имеет ряд преимуществ. Микроводоросли обладают высокой эффективностью в улавливании углекислого газа, что делает их перспективным решением для извлечения CO_2 из дымовых газов. Однако эффективность работы микроводорослей зависит от большого количества факторов, которые необходимо учитывать. Несмотря на то, что существует множество исследований, посвящённых способности различных штаммов микроводорослей поглощать углекислый газ, недостаточно информации о том, насколько эффективно этот процесс происходит в условиях воздействия дымовых газов на микроводоросли [1, 2].

Цель работы: на основе анализа литературных данных оценить эффективность биофиксации углекислого газа микроводорослями при воздействии на них оксидов азота NO_x и оксидов серы SO_x из дымовых газов.

В настоящее время одной из серьезнейших проблем, с которой сталкивается современный мир, является изменение климата, вызванное антропогенной деятельностью, которая негативно влияет на окружающую нас среду. Наибольший ущерб планете наносит парниковый эффект, возникающий из-за накопления парниковых газов в атмосфере. При этом наибольший вклад в повышение температуры на планете вносит углекислый газ, основным источником которого является сжигание ископаемого топлива. Поэтому поиск эффективных и устойчивых решений для снижения концентрации CO_2 в атмосфере Земли является приоритетной задачей.

Одним из перспективных путей решения проблемы изменения климата является использование микроводорослей, потому что эти микроскопические водные организмы обладают уникальной способностью преобразовывать световую энергию, воду и углекислый

газ в биохимическую энергию с помощью фотосинтеза и хемосинтеза. С помощью этих процессов поглощённый из окружающей среды CO_2 перерабатывается в кислород [3].

Также микроводоросли обладают различными преимуществами перед высшими растениями, которые осуществляют тот же процесс:

- Высокая эффективность биофиксации CO_2 . Микроводоросли поглощают углекислый газ в 10–50 раз быстрее наземных растений благодаря своей клеточной структуре и быстрому метаболизму [4];
- Отсутствие потребности в больших площадях. Микроводоросли занимают меньше территории, чем растения, и могут расти на землях, непригодных для сельского хозяйства (засушливые и засоленные почвы), сохраняя естественные экосистемы;
- Неприхотливость. Микроводоросли растут в сточных и соленых водах, что расширяет возможности их культивирования;
- Дополнительные продукты. Они служат сырьем для биотоплива, косметики, добавок и фармацевтики [5].

Следовательно, микроводоросли представляют собой экологически чистый и экономически выгодный способ фиксации углекислого газа, который можно применить для очистки дымовых газов, в состав которых входит CO_2 . Однако использование этой технологии на практике приводит к ряду сложностей, связанных с влиянием других газов на эффективность биофиксации углекислого газа этими микроорганизмами.

Существуют исследования, направленные на изучение эффективности биофиксации CO_2 микроводорослями. Но в ходе их проведения они выращивались в присутствии только чистого углекислого газа, что не может дать полного представления о том, как данные микроорганизмы будут вести себя в реальных условиях [6, 7].

В состав дымовых газов, помимо CO_2 , также входят такие загрязняющие вещества, как оксиды азота NO_x и оксиды серы SO_x , которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на микроводоросли. Корейские ученые провели исследование, в ходе которого обнаружили, что данные компоненты являются фактором стресса для микроводорослей. В эксперименте они использовали штамм *Chlamydomonas reinhardtii*, который подвергался воздействию дымовых газов с определёнными концентрациями: CO_2 – 20% (высокая концентрация), NO_x – 0,002% и SO_x – 0,0032%. В результате было установлено, что дымовые газы вызывают внутриклеточное закисление и нарушение фотосинтетической способности, а также снижают жизнеспособность и продуктивность данного штамма [8].

В ходе эксперимента, проведенного китайскими учеными, использовался штамм микроводоросли *Chlorella pyrenoidosa* XQ-20044, а также дымовые газы со следующим составом: CO_2 – 15%, NO_x – 0,03% и SO_x – 0,03%. В результате исследования не было выявлено прямого воздействия газов на микроводоросли. Однако было обнаружено, что способность к улавливанию углекислого газа зависит от уровня pH и способа подачи газа. Периодическая подача газов и регулирование стабильного уровня pH оказались более эффективными для биосорбции, чем непрерывная подача. Эффективность удаления углекислого газа в ходе эксперимента составила 95,9% [9].

В Индии ученые провели исследование с участием 13 видов микроводорослей. В ходе эксперимента было обнаружено, что некоторые штаммы способны адаптироваться к воздействию токсичных соединений. Растворенные соединения серы, такие как сульфит и бисульфит, оказали значительное ингибирующее воздействие на динамику роста микроводорослей, что привело к более долгой адаптации клеток. Нитриты, в свою очередь, в меньшей степени влияли на рост исследуемых штаммов. Кроме того, был отмечен значительный рост скорости фиксации углекислого газа. Наиболее эффективными в улавливании CO_2 оказались следующие штаммы: *Micractinium pusillum* и *Scenedesmus acutus* [10].

Выводы. Результаты описанных экспериментов демонстрируют, что эффективность улавливания углекислого газа микроводорослями зависит от нескольких факторов, среди которых штаммы микроводорослей и состав дымовых газов. Учитывая эту взаимосвязь, необходимо продолжить исследования, направленные на выявление микроводорослей, устойчивых к попутным газам, потому что их различные виды по-разному реагируют на дымовые газы. Также необходимо определить оптимальный состав и концентрацию газов, при которых микроводоросли будут способным лучше улавливать CO₂. Дальнейшие исследования позволят усовершенствовать технологию его переработки, а также сократить выбросы парниковых газов в атмосферу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Daneshvar E., Wicker R.J., Show P-L., Bhatnagar, A. Biologically-mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO₂ biofixation and biomass valorization – A review. Chemical Engineering Journal – 2022. – V. 427, 130884. DOI: 10.1016/j.cej.2021.130884.
2. Li G., Xiao W., Yang T., Lyu T. Optimization and Process Effect for Microalgae Carbon Dioxide Fixation Technology Applications Based on Carbon Capture: A Comprehensive Review. – 2023. – V. 9. № 35. DOI: 10.3390/c9010035.
3. Мактиева С.М., Белик Е.С. Утилизация углекислого газа с помощью микроводорослей // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Седьмой Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов (Екатеринбург, 24 мая 2024 г.). – 2024. – С. 152–155.
4. Зибарев Н.В., Политаева Н.А., Андрианова М.Ю. Использование микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) для очистки сточных вод пивоваренной промышленности // Поволжский экологический журнал. – 2021. – № 3. С. 262–271.
5. Нургалиев Р.Г., Славкина О. Технология утилизации дымовых газов с помощью микроводорослей и их переработка в бионефть // Энергетическая политика (электронная версия). – 2024. – №1. – С. 28–37.
6. Hills C.D.; Tripathi N.; Carey P.J. Mineralization technology for carbon capture, utilization, and storage. Front. Energy Res. – 2020. – V. 8. – 142 p. DOI:10.3389/fenrg.2020.00142.
7. Li S., Chang H., Zhang S., Ho S.-H. Production of sustainable biofuels from microalgae with CO₂ bio-sequestration and life cycle assessment. Environmental Research. – 2023. – V. 227. – P. 115730. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115730.
8. Choi H.I., Hwang S-W., Kim J., Park B., Jin E., Choi I-G., Sim S. (2021). Augmented CO₂ tolerance by expressing a single H⁺-pump enables microalgal valorization of industrial flue gas. Nature Communications. – 2021. – V. 12. – №. 1. – P. 6049. DOI: 10.1038/s41467-021-26325-5.
9. Du K., Wen X., Wang Z., Liang F., Luo L., Peng X., Xu Y., Geng Y., Li Y. (2019). Integrated lipid production, CO₂ fixation, and removal of SO₂ and NO from simulated flue gas by oleaginous *Chlorella pyrenoidosa*. Bioresource technology. – 2019. – V. 26. – P. 16195-16209. DOI: 10.1007/s11356-019-04983
10. Chauhan D., Sahoo L., Mohanty K. (2022). Maximize microalgal carbon dioxide utilization and lipid productivity by using toxic flue gas compounds as nutrient source. Bioresource Technology. – 2022. – V. 348. – P. 126784. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.126784.

УДК 504.06

Е.А. Васильева, Н.В. Зибарев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАННЫХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

В настоящее время в связи с быстрым развитием промышленностью в городах остро стоит вопрос о заболачивании природных вод из-за обильно разрастания сине-зеленых водорослей. Их чрезмерный рост способствует к ухудшению качества вод и гибели живых организмов [1].

Хитозан, получаемый из панцирей ракообразных, используемый для очистки вод от цианобактерий благодаря своим уникальным свойствам, является очень эффективным средством для очистки вод, но довольно дорогостоящим [2]. Поэтому ставится вопрос о его повторном применении после очистки вод в качестве удобрений. Прежде чем использовать отработанный хитозан в сельском хозяйстве, необходимо исследовать его фитотоксичность, то есть возможное влияние на растения [3].

Цель исследования заключается в анализе фитотоксичности отработанного хитозана после очистки природных вод от цианобактерий и сравнение его с фитотоксичностью чистого хитозана [4].

В ходе проведения эксперимента были изучены образцы двух видов чистого хитозана и тех же самых двух видов отработанного хитозана. Для определения токсичности были использованы: №1 – хитозан извлечённый из модулей внесённых 07.07.2024; №2 – хитозан извлечённый из модулей с хитозаном внесённых 31.07.2024.

Отработанный хитозан – это хитозан после использования его для очистки природных вод Москва-реки от цианобактерий. Хитозан выдерживали в виде сорбционной загрузки в течении двух месяцев. Затем его извлекали из Москва-реки и проводили оценку токсичности.

Для проведения оценки была использована методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* [5].

В ходе эксперимента была приготовлена водная вытяжка хитозана (№1 и №2). К 50 г хитозана добавляли 500 мл дистиллированной воды. Затем перемешивали смесь в течении 1,5 ч. После выпадения осадка фильтровали вытяжку через фильтр «белая лента». Получившийся фильтрат также разбавляли дистиллированной водой перед добавлением его в качестве удобрения.

Для оценки фитотоксичности проводились эксперименты на семенах кресс-салата сорта «Данский». Семена высевались в среду с различными концентрациями вытяжки хитозана: без разбавления, 1:2, 1:4 и 1:8. Контрольная группа не содержала хитозан.

В таблице 1 указаны экспериментальные данные средней длины проростка семян кресс-салата сорта «Данский» в зависимости от кратности разбавления вытяжкой хитозана.

Таблица 1 – Средняя длина проростка семян кресс-салата сорта «Данский»

Кратность разбавления	Повторность	Вид хитозана			
		Отработанный		Чистый	
		№1	№2	№1	№2
		Средняя длина проростка, мм			
Неразбавленная проба	1	8,3	8,0	8,1	8,7
	2	8,9	7,9	9,5	8,2
	3	7,6	8,4	8,9	9,8
1:2	1	8,5	9,7	8,6	8,9
	2	9,4	8,7	8,2	9,6
	3	9,1	8,2	9,8	10,0
1:4	1	10,6	9,4	9,2	9,6
	2	9,8	10,4	10,9	10,3
	3	10,0	9,6	10,3	10,4
1:8	1	12,9	11,9	10,9	12,6
	2	11,6	11,7	9,9	11,3
	3	12,4	12,6	11,0	12,7
Контроль	1	7,9		8,6	
	2	8,5		9,1	
	3	8,9		8,3	

В таблице 2 указаны экспериментальные данные среднего веса проростков семян кресс-салата сорта «Данский» в зависимости от кратности разбавления получившейся вытяжкой хитозана.

Таблица 2 – Средний вес проростков семян кресс-салата сорта «Данский»

Кратность разбавления	Повторность	Вид хитозана			
		Отработанный		Чистый	
		№1	№2	№1	№2
		Средний сухой вес проростка, мг			
Неразбавленная проба	1	392,0	365,7	402,6	464,3
	2	284,1	388,3	439,1	421,5
	3	365,9	297,7	420,9	459,5
1:2	1	399,7	420,7	480,6	501,3
	2	456,3	399,0	499,7	498,2
	3	429,1	336,1	523,4	472,1
1:4	1	536,9	569,4	601,8	556,2
	2	521,4	521,7	549,6	512,3
	3	547,0	496,2	590,0	596,5
1:8	1	557,5	682,5	659,1	655,7
	2	647,6	622,2	620,9	600,2
	3	591,8	536,6	598,6	552,0
Контроль	1	333,2		315,6	
	2	363,0		364,2	
	3	347,8		391,7	

Фитотоксичность рассчитывается по формуле (1):

$$\Phi = \frac{L(\text{эталон})}{L(\text{эксперимент})}, \quad (1)$$

где Φ – фитотоксичность; $L(\text{эталон})$ – показатели роста и развития растений в экологически благоприятных условиях (контрольная проба – дистиллированная вода); $L(\text{эксперимент})$ – показатели роста и развития растений в исследуемом хитозане (проба без разбавления) [5].

Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты фитотоксичности отработанного и чистого хитозана

Исследуемый субстрат	Средняя длина растения (неразбавленная проба), см	Средняя длина растения (контроль), см	Общая биомасса (неразбавленная проба), г	Общая биомасса (контроль), г	Фитотоксичность	
					по средней длине растения	по общей биомассе
Отработанный хитозан №1	8,3	8,4	347,3	348,0	1,01	1,00
Отработанный хитозан №2	8,1		350,6		1,04	0,99
Чистый хитозан №1	8,8	8,7	420,9	357,2	0,99	0,85
Чистый хитозан №2	8,9		448,4		0,98	0,80

Проводится оценка качества территории в соответствии со значением фитотоксичности:

– <1,1 – удовлетворительная экологическая ситуация;

- 1,1–1,4 – критическая экологическая ситуация;
- 1,4–2,0 – чрезвычайная экологическая ситуация;
- >2,0 – экологическое бедствие.

Выводы. В ходе проведенного эксперимента было доказано, что средняя фитотоксичность отработанного/чистого хитозана, определенная по средней длине растения (1,025/0,985) и по общей биомассе (0,995/0,825) является удовлетворительной и не критично отличающейся друг от друга. А качество территории соответствует удовлетворительной экологической ситуации. Это позволяет сделать вывод об отсутствии токсичности отработанного хитозана и возможности использования отработанного сорбента повторно в качестве удобрений в сельском хозяйстве [6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сухаревич В.И. Глобальное распространение цианобактерий: причины и последствия (Обзор) / В.И. Сухаревич, Ю.М. Поляк // Биология внутренних вод. – 2020. – № 6. – С. 562–572.
2. Щукина Т.В. Разработка технологии очистки водоемов от сине-зеленых водорослей и вредных веществ с экологически безопасной утилизацией биомассы / Т.В. Щукина, А.В. Миляева // Теория и практика проектного образования. – 2020. – № 1(13). – С. 52–56.
3. Ибатуллина, Д.Э. Применение хитозана и гидролизата хитозана в предпосевной подготовке семян / Д.Э. Ибатуллина, А.М. Зиновьева, М.Н. Котляр // Экологические проблемы промышленных городов: Сборник научных трудов 11-ой Международной научно-практической конференции, Саратов, 26–28 апреля 2023 года. – Саратов: ООО "Амирит", 2023. – С. 131–134.
4. Ловкис З.В. Использование хитозана для очистки природных и сточных вод / З.В. Ловкис, О.В. Павлова, Е.А. Белова, М.М. Трусова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2023. – Т. 16, № 1 (59). – С. 53–61.
5. ПНД Ф Т 14.1:2.4.19-2013. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum*. Стерлитамак, 2013. – 28 с.
6. Тарановская Е.А. Очистка сточных вод с применением хитозана / Е.А. Тарановская, Н.А. Собгайда, И.Н. Алферов, П.В. Морев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 322–325.

УДК 625.84:504.06

А.Д. Мрастева¹, Л.М. Молодкина¹, Н.В. Майданова²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

² НИЦ АО «АБЗ-1»

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРОИЗВОДСТВА ДВУХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ – ТЕПЛОЙ И С РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ

В ответ на растущую потребность в более устойчивых инфраструктурных решениях асфальтобетонная промышленность активно изучает инновационные материалы и технологии для снижения воздействия на окружающую среду. Технологии теплого асфальтобетона обеспечивают снижение производственных температур и температур укладки, что приводит к снижению энергопотребления и выбросов. В то же время в ряде стран ведутся исследования по возможности использования резиновой крошки, полученной из шин с истекшим сроком службы, в качестве модификатора в асфальтовых смесях.

Цель работы состоит в разработке программы для определения прямых выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла двух различных асфальтобетонных смесей. Анализ основан на определении цели, функциональной единицы и системной границы исследования, оценки воздействия на окружающую среду и интерпретации результатов.

В рамках оценки жизненного цикла были определены границы системы для производства двух асфальтовых смесей на предприятии АО «АБЗ-1». Функциональной единицей в данной работе принята 1 тонна теплового асфальтобетонного покрытия (ТАБ). На рисунке 1 представлена схема, включающая все этапы жизненного цикла производства асфальтобетона предприятием АО «АБЗ-1», с определением границы исследования. Из границы исследования был исключен этап утилизации дорожного покрытия из-за недостатка расчетных данных и невозможности оценки данного процесса на месте во временных рамках исследования. Данные по выбросам от дорожностроительных и обслуживающих работ ожидается получить после начала работ по устройству покрытия на участке дороги 41К-078 от Мурманского шоссе до поселка им. Свердлова.

В расчете не будут учитываться источники загрязнения и процессы, вклад которых составляет менее 5% от суммарных выбросов парниковых газов, то есть хранение и нагрев битума в хранилищах, загрузка и выгрузка всех материалов на АБЗ. Также при расчете углеродного следа не учитываются выбросы от добычи и транспортировки нефти для производства битума из-за высоких показателей неопределенности и недостатка литературных данных [1].

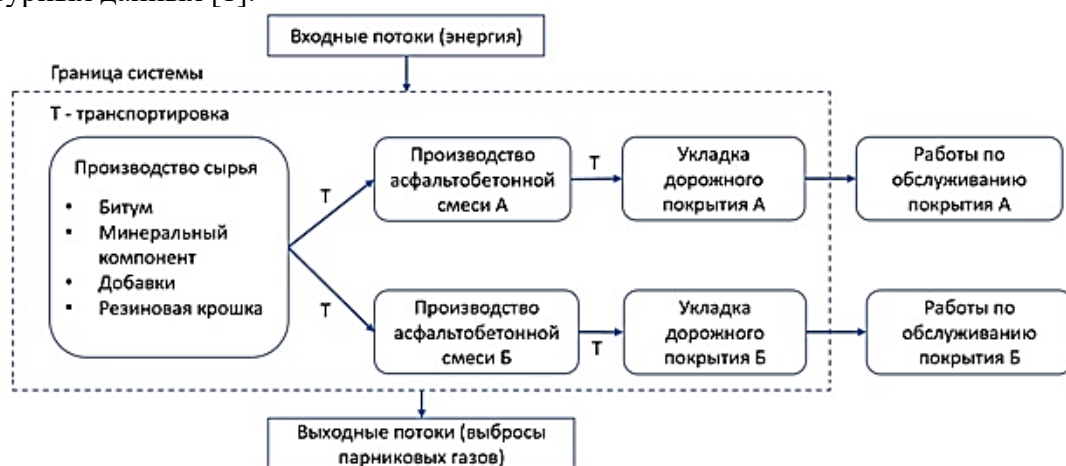


Рис. 1. Системная граница жизненного цикла тепловой асфальтобетонной смеси в данном исследовании (А – классический ТАБ; Б – ТАБ с резиновой крошкой)

Важным этапом для оценки жизненного цикла является инвентаризационный анализ, который включает процедуры сбора данных и расчета для количественного определения входных и выходных потоков продукционной системы [2]. Ниже приведена таблица 1, в которой отражены все входные параметры системы. Точные цифры для расчета входных потоков были предоставлены АО «АБЗ-1».

Таблица 1 – Входные параметры системы

Категория ввода	Входной поток	Единица измерения
Сырье	Крупная фракция заполнителя	кг/т ТАБ
	Мелкая фракция заполнителя	кг/т ТАБ
	Минеральный порошок	кг/т ТАБ
	Асфальтовое вяжущее	кг/т ТАБ
	Поверхностно-активная добавка	кг/т ТАБ
	Резиновая крошка	кг/т ТАБ
Энергия	Природный газ	м³/т ТАБ
	Электричество	кВт·ч/т ТАБ

Выходные данные включают продукт (ТБА) и выбросы в окружающую среду парниковых газов (ПГ), которые будут измеряться в СО₂е на тонну произведенного асфальта (табл. 2). В выходных потоках не будут учитываться такие эмиссии, как сброс промышленной

воды, твердые отходы, шумовое загрязнение от работы предприятия [3]. Данные показатели планируется получить непосредственно после процесса запуска производства и дополнительно оценить их влияние на окружающую среду и здоровье человека.

Таблица 2 – Выходные параметры системы

Категория вывода	Выходной поток	Единица измерения
Продукт	Теплый асфальтобетон (ТБА)	1 тонна
Выбросы в атмосферу	Парниковые газы	кг CO ₂ е/т ТАБ

Одной из основных задач исследования является расчет выбросов парниковых газов в рамках определенной границы системы. Для оценки углеродного следа был произведен всесторонний сбор данных с производства (АО «АБЗ-1») и литературный обзор, который включал в себя поиск коэффициентов выбросов: при сжигании топлива (кг CO₂е/м³), при производстве асфальтового вяжущего (кг CO₂е/т), при производстве и переработке нерудных материалов (кг CO₂е/т), при транспортировке материалов (кг CO₂е/т-км) [4, 5].

Расчет углеродного следа проводится для каждого этапа жизненного цикла по приведенным формулам:

1. Выбросы от производства сырья можно определить по формуле 1 [6]:

$$ПГ_i = \sum m_i K_i, \quad (1)$$

где i – вид сырья (каменный заполнитель, минеральный порошок или битум); m_i – масса сырья, т; K_i – коэффициент выбросов при производстве сырья, кг CO₂е/т.

2. Энергопотребление на асфальтобетонном заводе (сжигание природного газа при сушке каменного материала), рассчитывается по формуле 2 [6]:

$$ПГ_g = V_g K_g, \quad (2)$$

где V_g – объем природного газа, м³; K_g – коэффициент выбросов при сжигании природного газа, кг CO₂е/м³.

3. Выбросы от транспортировки сырья и готового асфальтового покрытия рассчитываются по формуле 3 [6]:

$$ПГ_i = \sum L_k m_k K_k \quad (3)$$

где L_k – расстояние транспортировки, км; m_k – масса груза, кг; K_k – коэффициент выбросов для транспорта k , кг CO₂е/км.

В дальнейшем все выбросы с каждого этапа будут суммироваться, чтобы получить общий углеродный след производства двух асфальтобетонных смесей [4]. Ожидается, что выбросы при производстве резиноасфальтобетона будут незначительно выше, чем выбросы от изготовления теплого асфальтобетона, из-за добавления резиновой крошки в цикл производства. Однако общий углеродный след в течение всего жизненного цикла для резиноасфальтобетона ожидается получить значительно меньше за счёт увеличения межремонтного пробега покрытия, связанного со значительным улучшением износостойкости покрытия.

Выводы. В работе проанализированы выбросы парниковых газов в течение жизненного цикла двух асфальтобетонных смесей от производства сырья до обслуживания дорожного покрытия. Из границы системы исключен этап утилизации дорожных покрытий из-за больших показателей неопределенности. Для двух смесей будут рассчитаны и проанализированы выбросы на каждом элементарном этапе, показатели неопределенности и обоснована необходимость расчета точных коэффициентов эмиссии для получения достоверных результатов. В дальнейшем планируется провести прочностные испытания образцов двух асфальтовых покрытий для определения выбросов от воздействия на дорожное полотно транспорта и абиотических факторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р ИСО 14040-2022. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2022 г. № 1475-ст / взамен ГОСТ Р ИСО 14040-2010. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/793/79318.pdf?ysclid=m7p5bp41pk338876562> (дата обращения: 02.02.2025). – Текст: электронный.
2. ГОСТ Р 56267-2014/ISO/TR 14069:2013. Газы парниковые. Определение количества выбросов парниковых газов в организациях и отчетность. Руководство по применению стандарта ИСО 14064-1: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2014 г. N 1853-ст. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118638?ysclid=m7qapxqaem28165818> (дата обращения: 15.01.2025). – Текст: электронный.
3. Васильев Д.М. Жизненный цикл дорожных покрытий: экологический аспект // Экологические проблемы строительства и транспорта / Под ред. Г.И. Иванова. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2021. – Гл. 7. – С. 210–235.
4. Петров В.С., Сидорова И.П. Сравнение экологических показателей традиционного и теплого асфальтобетона: анализ жизненного цикла // Материалы Международной научно-технической конференции “Современные проблемы строительства и архитектуры”. – Москва, 2022. – С. 120–125.
5. Калинина А.В., Петроченко М.В. Комплексный подход к оценке жизненного цикла строительства на стадии проектирования с применением программных комплексов // Строительство: наука и образование. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 88–100.
6. Методы расчета углеродного следа объектов дорожно-строительного комплекса / Н.И. Шестаков, Д.К. Таргонский, Н.С. Аргат, Б.А. Моргоев // Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. – 2024. – №1. – С. 76–81.

УДК 004.896

А.А. Константинова, А.В. Чередник, Т.Л. Симанкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ (IOT) КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УМНЫХ И ЭКОЛОГИЧНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Цель работы: анализ роли Интернета вещей (IoT) в цифровой трансформации строительства и эксплуатации умных и экологичных жилых зданий.

Интернет вещей (Internet of Things) – это концепция технологий, основанная на передаче данных между физическими объектами по одной сети без участия человека [1].

Данный термин официально появился в 1999 году благодаря исследователю RFID-технологий Кевину Эштоном, но развитие самого IoT началось только в 2010-х [2]. Интернет вещей имеет множество применений (рис. 1) [3].

Рассмотрим применение Интернета вещей в современном строительстве, ориентирующимся на создание умных и экологичных зданий, которые обеспечивают высокий уровень комфорта для жителей, эффективно используют ресурсы и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду. Такие здания строятся с учетом принципов устойчивого развития, а их функционирование часто основано на применении Интернета вещей (IoT). Эти технологии позволяют сделать здания адаптивными, реагирующими на изменения окружающей среды и потребности жильцов, способствуя снижению энергозатрат, сокращению выбросов CO₂ и повышению уровня комфорта [4].

Концепция интернета вещей имеет огромные перспективы развития в устойчивом строительстве. Это возможности создания интеллектуальных цифровых двойников здания, использование искусственного интеллекта в управлении жилыми зданиями, создание системы умного города и др. [5].

Области применения интернета вещей



Рис. 1. Области применения Интернета вещей (IoT) [3]

Возможные роли концепции Интернета вещей для создания умных и экологических жилых зданий:

- Мониторинг и управление энергопотреблением.

К примеру, интеллектуальная система отопления с IoT-датчиками может автоматически регулировать температуру в помещении, анализируя присутствие людей, погоду и тарифы на электроэнергию, что приводит к снижению расходов на 15–30% и уменьшению нагрузки на энергосистему [6].

Управлять энергопотреблением помогают также такие системы, как интеллектуальное освещение (сенсоры движения включают свет только при наличии человека в помещении), умные розетки и выключатели (отслеживают потребление энергии и отключают устройства, когда они не используются) и другие подобные устройства.

- Оптимизация водопотребления.

К данной категории относятся умные счетчики воды, которые отслеживают расход воды, обнаруживают утечки и уведомляют о повышенном потреблении, предотвращая перерасход воды. В благоустройстве территории вокруг дома возможно использование системы умного полива: датчики учитывают погоду и влажность почвы и позволяют снизить расход воды за счет оптимизированного полива.

- Автоматизация и управление зданием.

Интеллектуальные системы вентиляции и очистки воздуха контролируют уровень CO₂, влажность и температуру в помещении, включают вентиляцию, если воздух становится загрязненным. Например, в современных домах имеется возможность установки бризеров – устройств приточной вентиляции, которые принудительно подают воздух с улицы в помещение, а также могут выполнять роль кондиционера, термометра и увлажнителя воздуха [7].

Системы безопасности и контроля доступа разрешают доступ в здание по биометрии или смартфону, уведомляют владельца о подозрительных перемещениях у входа. В новостройках

можно встретить умные домофоны от компании Ростелеком, позволяющие управлять входными дверьми через специальное приложение на смартфоне.

Выводы. Интернет вещей играет большую роль в трансформации строительства и эксплуатации умных и экологичных жилых зданий. Главными преимуществами использования IoT являются: экономия ресурсов, снижение затрат, удобство использования и экологичность. Однако, при использовании данной концепции имеются свои недостатки: внедрение комплексных IoT-систем требует значительных инвестиций, что делает их доступными только для премиального сегмента жилья, однако снижение стоимости технологий постепенно расширяет их применение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ядровская М.В., Поркшеян М.В., Синельников А.А. Перспективы технологии интернета вещей // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. №2.
2. Лесников, А.С. Особенности технологии интернет вещей / А.С. Лесников, А.П. Суворов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2020. – № 2(33). – С. 24–27.
3. Гордиенко Е.П. Интернет вещей: история появления и перспективы применения //Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России («ТрансПромЭк-2023»). – 2023. – С. 40.
4. Ли П. Архитектура интернета вещей. – Litres, 2022.
5. Городнова Н.В. Индустриальный интернет вещей в России: сущность и перспективы / Н.В. Городнова // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 1503–1522.
6. С помощью умных термостатов легко и просто сократить расходы на отопление. Вся информация о работе термостата и мобильного приложения в одном месте. Инструкция / KALORIMETA GmbH – Hamburg. – 2024. – 44 с.
7. Алдаков М.О. Аналитический обзор вентиляционных систем, используемых в гражданском строительстве / М.О. Алдаков // Качество в производственных и социально-экономических системах: Сборник научных трудов 9-й Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Курск, Том 1. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 28–31.

УДК 504.054

Ф.А. Шувалова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ И БИОФИЛЬТРАЦИИ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ КОМБИНАТЕ

Согласно исследованию Международной финансовой корпорации (IFC) [1], целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК) являются одними из крупнейших источников промышленных выбросов, содержащих сероводород и летучие органические соединения (ЛОС).

Основные стадии получения целлюлозы состоят в проведении процесса варки материалов, содержащих целлюлозу и последующую обработку целлюлозной массы при помощи отбелки [2]. На рассматриваемом ЦБК целлюлоза получается сульфатным способом, который обладает преимуществом в том, что может использовать любой вид древесины, включая отходы лесопиления и деревообработки, низкосортную древесину. Сульфатный способ получения древесины характеризуется образованием щелочи и серосодержащих загрязняющих веществ [3, 4]. К ним относятся: сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид, диметилдисульфид, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду и создают дискомфорт для населения.

По данным Европейской комиссии [5], современные технологии очистки выбросов, такие как термодеструкция и биофильтрация, позволяют значительно снизить концентрации загрязняющих веществ и соответствуют требованиям наилучших доступных технологий

(НДТ). В связи с этим актуальной задачей является разработка и внедрение эффективных методов очистки выбросов от вакуум-промывных установок ЦБК.

Целью данной работы является исследование эффективности внедрения комбинированных технологий термодеструкции и биофильтрации на вакуум-промывной установке (ИЗАВ 0049) с точки зрения снижения выбросов диметилдисульфида, сероводорода, метантиола и других загрязняющих веществ, а также повышения энергоэффективности за счет рекуперации тепла. Оценка проводится на основе инструментальных замеров выбросов до и после внедрения технологий, анализа их экологических и экономических преимуществ, а также моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Для оценки эффективности использовались методы инструментального контроля загрязняющих веществ и математического моделирования рассеивания в приземном слое атмосферы. Вакуум-промывная установка, используемая для удаления примесей из целлюлозной массы, является основным источником выбросов сернистых соединений и летучих органических веществ. Проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ до и после внедрения технологий с учетом метеорологических условий, параметров источников выбросов и характеристик загрязняющих веществ. Исследованы параметры работы термодеструктора, в том числе температурный режим, коэффициент сжигания загрязняющих веществ и процент улавливания газообразных соединений. Проведен сравнительный анализ различных типов загрузки биофильтров, включая кокосовое волокно, древесную щепу и торфяные смеси, для определения наиболее эффективного субстрата в условиях работы предприятия.

Исследование показало, что вакуум-промывная установка является основным источником выбросов диметилдисульфида, сероводорода и метантиола. Применение термодеструкции позволило снизить их концентрации на 90–95%.

Высокотемпературное разложение загрязняющих веществ (диметилдисульфида, сероводорода и метантиола) при 750–800 °С обеспечило их эффективную нейтрализацию, а внедренный теплообменник позволил использовать полученную тепловую энергию в технологических процессах. Это привело к сокращению эксплуатационных затрат и снижению потребления природного газа.

Дополнительная очистка выбросов посредством биофильтрации оказалась эффективной на 98%, значительно уменьшая остаточные концентрации летучих органических соединений. Применение кокосового волокна в качестве субстрата позволило повысить эффективность биофильтрации, а автоматизированная система регулирования влажности и микробной активности улучшила стабильность работы оборудования.

Расчеты рассеивания загрязняющих веществ показали, что после внедрения технологий биофильтрации концентрации сероводорода и метантиола в приземном слое атмосферы соответствуют санитарным нормам, что свидетельствует о высокой эффективности мероприятий. Например, содержание сероводорода (H_2S) снизилось с 49,6 до 7,8 мг/м³, метантиола (CH_3SH) – с 4,4 до 0,87 мг/м³, а диметилдисульфида ($\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$) – с 0,21 до 0,04 мг/м³. Общий уровень снижения загрязняющих веществ составил от 57,5% до 84,2%, в зависимости от их химического состава.

Стоимость внедрения комбинированных технологий термодеструкции и биофильтрации оценивается в пределах 55–60 млн руб., включая затраты на оборудование, монтаж и интеграцию в существующую инфраструктуру. Эксплуатационные расходы включают затраты на энергоносители, обслуживание биофильтров и периодическую замену фильтрующих субстратов. Несмотря на высокие первоначальные вложения, расчеты показывают, что экономия за счет сокращения штрафов за превышение выбросов, уменьшения энергозатрат и повышения экологической репутации предприятия позволит окупить проект в течение 6–7 лет.

Технология доступна для внедрения на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности с аналогичными источниками выбросов, при этом возможна адаптация оборудования под специфические условия производства.

Внедрение комбинированных технологий термодеструкции и биофильтрации на вакуум-промывной установке (ИЗАВ 0049) продемонстрировало высокую эффективность в снижении выбросов диметилдисульфида, сероводорода и метантиола, что позволило минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и устранить запахи в санитарно-защитной зоне. Расчеты рассеивания подтвердили снижение концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы до нормативных значений. Дополнительные мероприятия по рекуперации тепла способствовали повышению энергоэффективности предприятия. Экономическая оценка показала, что проект окупается в течение 6–7 лет, что делает его выгодным для предприятий с аналогичными проблемами выбросов. Дальнейшая оптимизация процессов и масштабирование решений на другие промышленные объекты представляются перспективным направлением для дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. IFC. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для целлюлозно-бумажной промышленности / [Электронный ресурс] // www.ifc.org: [сайт]. – URL: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-pulp-and-paper-mills-ehs-guidelines-ru.pdf> (дата обращения: 12.02.2025).
2. Труберг А.А. Пути решения экологических проблем целлюлознобумажных предприятий / А.А. Труберг, О.В. Кабанов, О.В. Кацерева [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24. – № 2(107). – С. 40–44.
3. Environmental aspects of the pulp and paper industry (an overview) // UNEP, Industry Programme Paris. 1977 / [Электронный ресурс] // wedocs.unep.org: [сайт]. – URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28756/EvPP.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 21.02.2025).
4. Gavrilescu D., Puitel A.C., Dutuc G., Craciun G. Environmental impact of pulp and paper mills // Environmental Engineering and Management Journal. 2012. Vol. 11, No. 1. P. 81–86 / [Электронный ресурс] // <https://doi.org>: [сайт]. – URL: <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.012> (дата обращения: 23.02.2025).
5. Европейская комиссия. Исполнительное решение по НДТ для ЦБП / [Электронный ресурс] // <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu>: [сайт]. – URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/inline-files/PP%202014_687%20Russian%20ENV-2021-00264-01-00-RU-TRA-00.pdf (дата обращения: 18.02.2025).

УДК 355.237.1

О.Ю. Сергеев, И.Г. Русскова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОЛЬ ВИЗУАЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Целью исследования является анализ роли визуально-информационных моделей (ВИМ) в упрощении процесса внедрения системы экологического менеджмента (СЭМ) на предприятиях. В современных условиях развития промышленности и возрастающей экологической ответственности бизнеса особую актуальность приобретает поиск эффективных методов внедрения экологических стандартов в повседневную деятельность организаций.

Обеспечение экологической безопасности на опасных производственных объектах (ОПО) является одним из ключевых направлений промышленной политики, где ведущую роль играет человеческий фактор и профессиональная подготовка персонала. Согласно Указу Президента РФ от 6 мая 2018 г. N 198, промышленная безопасность определяется не только техническими параметрами, но и способностью персонала предотвращать аварии и

минимизировать их последствия для окружающей среды. Это приобретает особую значимость в условиях, когда в РФ функционирует более 170 тысяч опасных производственных объектов различных классов опасности, каждый из которых требует высококвалифицированного персонала, способного обеспечивать безопасную эксплуатацию и предотвращать возможные экологические риски [1].

Действительно, несмотря на добровольный характер, внедрение СЭМ становится всё более распространённым явлением в промышленной сфере. Однако реализация данной инициативы сопряжена с целым рядом трудностей, среди которых особо выделяется проблема интерпретации и практического применения комплексных требований стандартов серии ISO 14000. Стандарт ISO 14001, являясь основополагающим документом для построения СЭМ, содержит значительный объем требований и рекомендаций, осмысление и адаптация которых к конкретным условиям предприятия зачастую вызывает затруднения у специалистов.

Эффективное внедрение СЭМ на ОПО требует не только соблюдения стандартов, но и формирования культуры экологической безопасности, которая включает осознание персоналом рисков и их связи с производственной деятельностью. Одна из ключевых задач – сделать требования стандартов не формальностью, а осмысленной частью профессиональной деятельности. ВИМ могут помочь в этом, упрощая восприятие взаимосвязей и способствуя выработке устойчивых навыков безопасного поведения [2, 3].

В рамках данного исследования предполагается рассмотреть потенциал ВИМ. Для эффективной реализации превентивного подхода и развития экологического мышления персонала опасных производственных объектов необходимо использовать современные образовательные технологии. Визуальное представление информации об экологических угрозах, причинно-следственных связях развития аварийных ситуаций, алгоритмах действий в чрезвычайных ситуациях значительно облегчает восприятие и взаимодействие специалиста с документацией и другими аспектами управления, включая оперативность принятия решений, построение эффективной системы реагирования на потенциальные экологические риски, а также повышение общей культуры экологической безопасности персонала. [4, 5].

Анализ практики внедрения системы экологического менеджмента на российских предприятиях позволяет выделить ряд ключевых проблем, затрудняющих данный процесс:

1. Многие положения стандарта ISO 14001 сформулированы в обобщенной форме, требующей адаптации к конкретным условиям предприятия, что создает трудности для специалистов без соответствующего опыта.

2. Формальный подход к документированию процедур, приводящий к созданию обширных, но малоприменимых на практике регламентов и инструкций.

3. Отсутствие эффективных инструментов для поддержки принятия решений в области экологического менеджмента и обеспечения их обоснованности.

Решение указанных проблем видится в применении принципов визуализации и создании ВИМ, обеспечивающих наглядное представление ключевых процессов, требований и алгоритмов принятия решений в рамках СЭМ. На основе анализа практики внедрения СЭМ, можно выделить несколько типов ВИМ, применимых для упрощения процесса внедрения ISO 14001. К ним относятся концептуальные модели; процессные модели в виде блок-схем; карты принятия решений; матричные и интерактивные модели.

Особого внимания заслуживают карты принятия решений, поскольку они особенно ценны в ситуациях, требующих многофакторного анализа и оценки альтернатив, что делает их полезным инструментом при выполнении таких ключевых процедур СЭМ, как определение значимости экологических аспектов, оценка рисков и возможностей, планирование мер по управлению значимыми аспектами деятельности предприятия (выбросы, сбросы, образование и обращение с отходами производства и потребления различных классов опасности, потребление ресурсов) и оперативное реагирование на аварийные ситуации.

Важно отметить, что карты принятия решений могут быть усложнены в зависимости от специфики предприятия и характера решаемых задач. Степень детализации и сложность алгоритма могут варьироваться от базовых моделей, учитывающих минимальный набор критериев, до комплексных многоуровневых структур, позволяющих учесть многочисленные факторы, их взаимосвязи и вероятностные характеристики. Возможность масштабирования сложности – одно из ключевых преимуществ данного типа моделей. Чем сложнее и детальнее карта принятия решений, тем выше вероятность принятия решения, максимально соответствующего специфике конкретной проблемы или ситуации, однако хоть усложнение карт принятия решений повышает точность оценок, есть риск избыточной детализации [6].

Одним из ключевых элементов СЭМ в соответствии с ISO 14001 является процедура идентификации и оценки значимости экологических аспектов деятельности организации. Данная процедура часто вызывает затруднения у специалистов предприятий в связи с необходимостью учета многочисленных факторов и критериев, влияющих на определение значимости того или иного аспекта.

Для упрощения данного процесса разработана ВИМ в виде карты принятия решений, представленная на рисунке 1.

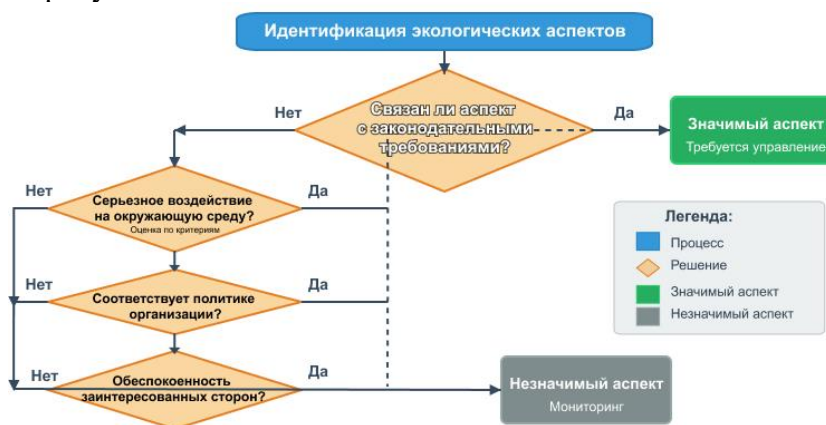


Рис. 1. Алгоритм определения значимых экологических аспектов

Данная модель иллюстрирует алгоритм определения значимости экологических аспектов. Она позволяет специалисту, ответственному за оценку экологических аспектов, последовательно рассмотреть каждый аспект и принять обоснованное решение о его значимости, что в дальнейшем определяет необходимость разработки соответствующих мер по управлению данным аспектом. Более того, подобный подход играет ключевую роль в проведении диагностического аудита на предприятии, где уже функционируют отдельные элементы СЭМ, такие как нормативы образования отходов и лимитов на их размещение (НООЛР), производственный экологический контроль (ПЭК) и другие, позволяя комплексно оценить существующую экологическую политику и наметить направления ее совершенствования.

Следует отметить, что представленный пример демонстрирует базовый вариант карты принятия решений, который может быть существенно усложнен. Так, в расширенной версии карты могут учитываться дополнительные критерии, такие как частота и вероятность возникновения экологического аспекта, возможность контроля и управления, наличие технических и экономических возможностей для снижения воздействия, взаимосвязь с другими аспектами и т.д. Также может быть внедрена количественная оценка по каждому критерию с последующим расчетом интегрального показателя значимости.

Выводы. Проведенный анализ показывает, что предложенный авторами подход имеет теоретическое обоснование и потенциал для практического применения. Принимая во внимание, что внедрение СЭМ является сложной, длительной и затратной процедурой, ВИМ могут действительно упростить процесс внедрения СЭМ, сделать его более понятным для

специалистов и повысить эффективность функционирования системы в целом. Однако для полного подтверждения эффективности предлагаемого подхода необходимы дополнительные эмпирические исследования. Несмотря на указанные ограничения, предложенные в статье визуально-информационные модели представляют значительный интерес для практического применения и могут быть использованы в процессе внедрения СЭМ на предприятиях различных отраслей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Указ Президента Российской Федерации «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» от 06.05.2018 № 198 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2018 г. – № 20.
2. Лыскова И.Е. Современная модель культуры производственной безопасности в аспекте устойчивого развития промышленного производства Российской Федерации / И.Е. Лыскова // Проблемы рыночной экономики. – 2023. – № 1. – С. 118–132. – DOI 10.33051/2500-2325-2023-1-118-132. – EDN MRJLVP.
3. Bidniak M.R., Mateichyk I. Построение модели системы экологического менеджмента предприятия // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Zarządzanie i marketing. – 2012: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2012. – С. 8–13.
4. Зайцева В.П. Подготовка и использование мультимедийных презентаций в учебном процессе вуза / В.П. Зайцева // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2008. – № 4(60). – С. 84–89. – EDN LPWTHF.
5. Garzón J., Acevedo J. Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains // Educational Research Review. – 2019. – Т. 27. – С. 244–260.
6. Баяндурова А.А. Информационные модели в экологических исследованиях // Перспективы Науки и Образования – Международный электронный научный журнал. – 2015. – №6 (18). – С. 31–37.

УДК 628.16.

Е.В. Юдин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ В Г. АРХАНГЕЛЬСКЕ

Архангельская область обладает густой и развитой речной сетью, общее количество рек – 71776, основная часть из которых (94 %) обладает протяженностью менее 10 км, а доля рек протяженностью свыше 100 км составляет только 0,2 % [1]. В области также много озер (59404), но все, кроме двух, имеют площадь зеркала воды по 10 км² и менее [1]. Вместе с тем, в области остро стоит проблема с чистой и безопасной питьевой водой. Так в публикациях последних лет ее называют грязнейшей в России, а саму Архангельскую область относят к числу трех областей России худших по качеству источников питьевой воды [2]. Некачественная питьевая вода приводит к острым кишечным инфекциям, например, в работе [3] отмечается высокая интенсивность эпидемиологического процесса, вызванного питьевой водой, и особенно в городах и районах, в которых источником водоснабжения является р. Северная Двина. При этом инфекции имеют не только бактериальную, но и вирусную природу.

В докладе центра природопользования за 2023 г. [1] приведены цифры, показывающие основную причину загрязнения поверхностных водных объектов Архангельской области: сброс сточных вод в 2023 г. составил 612, 46 млн м³, из них загрязненных без очистки – 12,49 млн м³, загрязненных недостаточно очищенных – 234,66 млн м³, нормативно чистых (без очистки) – 278,73 млн м³. Сброс биогенных примесей с одновременными климатическими изменениями привел к развитию в водных объектах цианобактерий, выделяющих цианотоксины, еще больше загрязняющих потенциальные источники водоснабжения.

Другой важной причиной низкого качества питьевой воды в Архангельской области является изношенность водоочистных сооружений и распределительных сетей [4]. Очистные

сооружения и сети требуют не просто восстановления, а реконструкции с использованием новых эффективных и экономически доступных технологий и оборудования для очистки загрязненных природных вод, позволяющих также снизить эксплуатационные затраты.

Цель работы состояла в обосновании варианта реконструкции станции водоподготовки в Архангельске для получения питьевой воды, отвечающей требованиям СанПиН 1.2.3685-21 [5].

В задачи работы входил анализ показателей качества источника водоснабжения; изучение специфики водоподготовки в Архангельской области; изучение состояния выбранной станции водоподготовки; анализ современных методов водоподготовки и соответствующего оборудования, доступного на Российском рынке; обоснование предложений по реконструкции станции.

Анализируемая станция водоподготовки г. Архангельска, введенная в эксплуатацию в 1987 г., обслуживает 85 тыс. человек, включая микрорайоны Талаги и Катунино.

Источник водоснабжения – р. Северная Двина, характеризующаяся превышением над нормативными значениями концентраций ряда веществ. Так измеренная в работе [6] средневзвешенная концентрация растворенного органического углерода (РОУ) составляла $17,7 \pm 5$ мг/л, $Fe_{\text{раств.}} - 340 \pm 100$ мкг/л что выше глобального среднего, соответственно, в 3 и 5 раз. Причина таких высоких значений – природная, поскольку особенность водосборного бассейна Северной Двины заключается в широком распространении болот и поступлении подземных вод. Кроме того, для РОУ характерна низкая биодоступность. РОУ и железо, до 80–95% которых находится в виде железоорганических коллоидов, являются носителями многих микроэлементов, регистрируемых в воде реки. В летне-осенний период содержание коллоидной формы падает на 20–40%. К элементам, положительно коррелирующим с РОУ, относится многие тяжелые металлы (ТМ) и элементы-гидролизаты.

В отчете 2021 г. о гидрохимических исследованиях Северной Двины, в том числе, в различных точках г. Архангельска [7], отмечена повышенная минерализация вод (обусловлена сульфатами и гидрокарбонатами), превышение ПДК соединениями железа, меди, цинка, ХПК, марганца и алюминия, легко- и трудно окисляемым органическим веществом, эпизодически фенолами. Сброс в Северную Двину неочищенных поверхностных и дренажных вод, а также хозяйственно-бытовых от деревянного жилищного фонда, приводит к микробиологическому и вирусному загрязнению реки [1, 3, 4].

Технологическая схема очистки анализируемой станции водоподготовки г. Архангельска включает стандартные для Северо-западного региона России этапы: 1) процеживание воды (на решетках и сетках) для удаления крупноразмерных примесей; 2) введение реагентов (преаммонизация, прехлорирование); 3) введение коагулянта (сульфата алюминия) и флокулянта; 4) осаждение образующихся флокулов в отстойниках; 5) фильтрация частично очищенной воды на медленных фильтрах с загрузкой из кварцевого песка; 6) обеззараживание (гипохлоритом натрия).

Технические параметры станции водоочистки (2023 г.) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические параметры станции по состоянию на 2023 г.

№	Параметр	Значение на 2023 г.	Требуемое значение
1	Производительность, м ³ /сут	25 000	
2	Износ оборудования, %	78	≤ 40
3	Эффективность фильтрации на гравийно-песчаных фильтрах, %	40	≥ 70
4	Энергопотребление, кВт·ч/м ³	2,8	1,5-2,0
5	Потери воды в сетях, %	22	≤ 10

Кроме отмеченных в таблице 1 недостатков, были выявлены экономические потери от утечек в сетях (ежегодные убытки 48 млн руб. при тарифе 24 руб./м³), затраты на экстренный ремонт насосов – 7 млн руб./год (износ подшипников Grundfos 1987 г.).

На основании проведенного анализа качества воды в Северной Двине, технологии водоподготовки, выявленных недостатков в работе станции, а также анализа современных методов очистки вод и оборудования, было предложено:

- 1) заменить устаревшее насосное оборудование;
- 2) провести реконструкцию отстойника за счет тонкослойных вставок;
- 3) провести монтаж озонаторной установки;
- 4) внедрить мембранные (ультрафильтрационные) фильтры
- 5) внедрить стадию УФ-обеззараживания;
- 6) внедрить автоматизированную систему дозирования реагентов.

По п. 1: затраты составят 120 млн руб.;

по п. 3: замена хлорирования на озонирование позволит снизить содержание железа в питьевой воде до 0,1 мг/л; Капитальные затраты: 180 млн руб.;

по п. 2: эффективность удаления взвешенных примесей повысится на 20%;

по п. 4: предложены ультрафильтрационные модули с площадью фильтрации 2 000 м², которые обеспечат задержку частиц $\geq 0,01$ мкм (устранение цист лямблий), эффективность 99,9%; затраты 280 млн руб.;

по п. 5: предложены лотковые УФ-модули; УФ-доза 45 мДж/см² гарантирует обеззараживание по спорам клостридий, энтеро- и другим вирусам;

по п. 6: система обеспечит точность дозирования $\pm 0,5\%$ по $Al_2(SO_4)_3$, $\pm 1\%$ по гипохлориту натрия.

В настоящее время уточняются марки и поставщики доступного на отечественном рынке оборудования, вместе с тем, предварительный расчет показал, что реконструкция станции по пп. 1–6 приведет к снижению годовых эксплуатационных затрат на 35%, к снижению энергопотребления на ~500 МВт·ч/год, срок окупаемости составит порядка 6 лет.

При этом будут достигнуты заметные технологические, экономические, экологические и социальные результаты.

Выводы. В работе проведен анализ показателей качества воды в Северной Двине, выявлены природные и антропогенные причины превышения ряда показателей над нормативными значениями, изучено состояние выбранной станции водоподготовки, проанализированы современные передовые методы водоподготовки, предложены мероприятия по реконструкции станции, проведена предварительная оценка экономических показателей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2023 год. Доклад. / отв. ред. Э.В. Шашин; ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». Текст электронный. – Архангельск: 2024. – 505 с.
2. Анализ результативности принятых мер по экологической реабилитации водных объектов в 2012–2019 гг. и истекшем периоде 2020 г., а также оценка достижения показателей, предусмотренных документами стратегического планирования, касающихся экологического состояния водных объектов. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия [Электронный ресурс] URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/957/9572511e33202b74a7abc2199bc58da9.pdf> (дата обращения 06.02.2025).
3. Качество питьевого водоснабжения и степень эпидемической опасности возникновения кишечных инфекций в городах Архангельской области / Е.В. Байдакова, Т.Н. Унгурану, К.В. Крутская, И.А. Миненко // Экология человека. – 2019. – № 5. – С. 15–20.
4. Определение степени микробного риска для здоровья населения, обеспеченного централизованным водоснабжением / А.А. Ковшов, Ю.А. Новикова, В.Н. Федоров, Н.А. Тихонова, И.О. Мясников, Р.В. Бузинов // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102. – № 8. – С. 768–774.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс] URL: https://www.rosпотребнадзор.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf (дата обращения 15.02.25).
6. Концентрации химических элементов в воде и взвеси реки Северная Двина и их годовой валовый сток в Белое море / В.В. Гордеев, В.П. Шевченко, В.Б. Коробов и др. // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 500. – № 1. – С. 95–102.
7. Отчет о гидрохимических и экологических исследованиях, включая исследования на содержание микропластика, в устьевых участках рек Северная Двина и Онега и прибрежной территории Двинского залива Белого моря, проведенных в рамках проекта «Климатическая экспедиция». М., 2021.

УДК 628.1

Мусса Кебе, Л.М. Молодкина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СТОЛИЦЫ ГВИНЕИ КОНАКРИ

Гвинея обладает обильными водными ресурсами, ее даже называют «Водонапорной башей Западной Африки» [1]. Водообеспеченность республики составляет 17,7 тыс. м³ на человека в год [2], однако, как и во многих африканских странах, Гвинея испытывает недостаток питьевой воды.

Столица Гвинеи Конакри также сталкивается с трудностями в водоснабжении, и они зависят от ряда причин. Одной из них является рост численности населения, причем темпы роста также растут. Население Конакри увеличивается благодаря статусу экономического города, в столицу переезжает все больше и больше жителей страны, в то же время площадь города ограничена (он расположен вдоль Атлантического океана на соединенных дамбой острове Томбо и полуострове Калум), она составляет 420 км², на которой уже проживает 2,6 млн человек – с увеличением урбанизации растет спрос на воду [3].

Цель данной работы состояла в анализе источников водоснабжения г. Конакри.

В 2012 г. система водоснабжения Конакри включала несколько источников (табл.1) [4].

Таблица 1 – Основные источники водоснабжения г. Конакри

Источник воды	Производство воды в 2012 г., м ³ /сут
Плотина Грандес-Шутес(Grandes Chutes Dam) (Станция очистки воды Йессулу)	123 000
Озеро Сонфония (Станция очистки воды Сонфония)	10 000
Источник Какулима	5 700
Подземные воды	25 300
(1) Максимальное производство воды	164 000
(2) Требуемое количество воды	286 000
(3) Дефицит (1) – (2)	122 000

Авторами были проверены данные по объему требуемой воды с учетом норм водопотребления в Конакри ($q = 70$ л/(сут·чел) = 0,07 м³/(сут·чел) [4]). В 2023 г. население Конакри составляло $N = 2111$ тыс.человек. Если руководствоваться этой цифрой, то требуемое к 2023 г. суточное производство воды Q должно составлять:

$$Q = qN = 0,07 \cdot 2111000 = 147700 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Такой же расчет показывает, что для текущего значения $N = 2,6$ млн чел. суточное производство при той же норме водопотребления должно составить 182000 м³/сут. А заявленное в работе [4] требуемое суточное производство воды (при $q = 0,07$ м³/(сут·чел)) будет достигнуто при численности населения:

$$N_{\text{треб}} = \frac{286000}{0,07} = 4085714 \text{ чел.}$$

Возможно, при расчете в работе [4] были использованы нормы водопотребления, планируемые в будущем. При численности населения 2,6 млн чел. $q = 110 \text{ л/}(сут \cdot \text{чел})$.

Анализ данных по состоянию основных источников водоснабжения г. Конакри позволил выявить следующие факты. Для плотины Грандес-Шутес концентрации колиформных бактерий в воде, поступившей на станцию водоочистки, составляли до 81 MPN/100 мл (MPN – Most Probable Number – наиболее вероятное число), что позволяет отнести водоем плотины к третьей категории качества (от 51 до 400 MPN/100 мл), т.е. удовлетворительное качество. При этом на выходе из очистных сооружений показатель был нулевым.

В озере Сонфония обнаружен ряд загрязнений. Например, по растворенным твердым веществам (TDS) измеренные концентрации доходили до 887 и 994 мг/л [5]. Высокий уровень TDS коррелирует с высокими значениями электропроводности (до 1680 мкСм/см при электропроводности в пресной воде не более 100). А высокая электропроводность может свидетельствовать о наличии тяжелых металлов, вредных химикатов и прочих растворенных веществ, диссоциирующих на ионы. Концентрации взвешенных веществ измерялись и в мг/л, и в единицах мутности (NTU). Было показано, что в пробах воды озера Сонфония мутность превышала норматив ВОЗ от двух до десяти раз. Высокая мутность была объяснена сбросами вокруг озера и естественной фильтрацией из свалок. В таблице 2 приведены средние показатели ряда загрязнителей и их допустимые концентрации для поверхностных вод.

Таблица 2 – Показатели загрязнения озера Сонфония и допустимые значения для поверхностных вод, мг/л [5]

	Фосфаты	Нитраты	Нитриты	Сульфаты	Общее железо	Растворенный кислород	ХПК
Среднее в озере	29,76	45,1	0,05	14	0,63	6	52,16
Допустимые значения	$\leq 0,5$	≤ 50	$\leq 0,1$	–	–	≥ 10	≤ 20

В озере обнаружены фекальные колиформные бактерии и стрептококки, концентрации которых превышают допустимые значения ВОЗ. В целом уровень загрязнения воды в озере Сонфония характеризуется как высокий, поэтому Гвинейская водная компания перестала его использовать в качестве источника водоснабжения.

Какулима является старейшим гидротехническим комплексом в Конакри. В него входят три водосборных пункта (Китема, Сомахоре и Ламикхори), станция очистки и сеть водораспределения.

В таблице 3 приведены результаты анализа воды на водосборах в Ламикхори и Сомахоре (Китема сейчас не функционирует).

Таблица 3 – Показатели качества воды в Ламикхори и Сомахоре [6]

	pH	Эл. пров., мкСм/см	TDS, ppm	Мутн., NTU	Fe _{общ.} , ppm	NO ₃ ⁻ , ppm	NO ₂ ⁻ , ppm	NH ₄ ⁺ , ppm	Коли, КОЕ/100мл
Ламикхори	6,38	121,5	60,75	1,73	0,1	3,67	0,032	0,02	17
Сомахоре	6,57	136,4	68,2	1,68	0,11	2,78	0,025	0,04	14

Авторы отмечают сравнительно высокое качество воды на данных водосборах, в то же время, рост показателей мутности, цветности, взвешенных примесей по сравнению с их предыдущими измерениями.

Из публикаций, посвященных проблемам питьевой воды в г. Конакри, следует, что непосредственно до населения не доходит довольно большая доля очищаемой на станциях водоочистки питьевой воды из-за утечек, связанных с плачевным состоянием трубопроводов, длина которых составляет километры и десятки километров.

Нехватка организованно поставляемой очищенной на станциях питьевой воды приводит к тому, что население г. Конакри использует воду из колодцев и скважин. Однако качество такой воды является невысоким. Так, согласно данным работы [7], в которой было исследовано 30 колодцев, 30 скважин и 30 точек потребления водопроводной воды, поставляемой населению государственной компания водоснабжения Гвинеи, даже санитарное состояние этих источников было крайне неудовлетворительным (50 % источников находились ниже стока уборных, и только 3 % были заключены в трубы).

Физико-химический, химический и бактериологический анализ показал, что вода скважин, колодцев и водопроводная вода не соответствовали ПДК. Превышение было отмечено для солей мышьяка, pH, мутности, жесткости, окислительно-восстановительных свойств. Воды были загрязнены бактериями фекального происхождения. Так, в воде 26 % колодцев были обнаружены *Salmonella sp.* и *Vibrio cholerae*, а в воде 30 % проб из скважин и 22 % водопроводной воды – *Salmonella sp.*

Выводы. На основании проведенного анализа можно заключить, что водные объекты, которые используются для обеспечения населения Конакри питьевой водой, нуждаются в защите от антропогенного загрязнения. Другие пресные источники водоснабжения (глубокие скважины, дождевая вода с крыш) в процессе эксплуатации также могут быть подвергнуты загрязнению. Использование морской воды по примеру стран Средиземноморья требует больших капиталовложений и высокого технического уровня персонала при строительстве и эксплуатации очистных станций на основе обратноосмотической мембранной технологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Международный арбитраж и Гвинейская Республика (15/12/2024 по Международный арбитраж) [Электронный ресурс] // Информация о международном арбитраже от Aceris Law LLC. URL: <https://www.international-arbitration-attorney.com/ru/international-arbitration-and-the-republic-of-guinea/> (дата обращения: 10.12.24).
2. Гвинея [Электронный ресурс] // URL: <https://bigenc.ru/c/gvineia-816e89> (дата обращения: 10.12.24).
3. Bernard Lassimo Diawara, Gerald D.S. Quoie Jr, Zhuo Li, Justin Junior Loua Water Scarcity in Conakry, Guinea: Challenges and Proposed Strategies for a Way Forward. [Электронный ресурс // Journal of Water Resource and Protection. 2024 (April), Vol. 16. No.4. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=132457> (дата обращения 11.12.24).
4. Republic of Guinea. Project of Improvement of Drinking Water Supply in Conakry. [Электронный ресурс]. URL: https://www2.jica.go.jp/en/evaluation/pdf/2012_0710000_4_f.pdf (дата обращения 16.02.25).
5. Mohamed Lamine Komara and Kandé Bangoura. Determination of the Physicochemical and Bacteriological Parameters of the Waters of Lake Sonfonia Commune of Ratoma (Republic of Guinea) //Inland Waters – Ecology, Limnology, and Environmental Protection, 30 October 2024. DOI: 10.5772/intechopen.1005400 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/1175837#> (дата обращения 02.02.25).
6. Etude d'Impact Environnemental et Social du Volet «Réhabilitation des captages de Kakoulima », relative au renforcement de la production d'eau potable pour la ville de Conakry – Composante 1 du PUEG. [Электронный ресурс]. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/172901624948777690/pdf/Etude-d-Impact-Environnemental-et-Social-du-Volet-R%C3%A9habilitation-des-Captages-de-Kakoulima-pour-la-Ville-de-Conakry-Composante-1.pdf> (дата обращения 15.02.25).
7. Физико-химические и бактериологические характеристики питьевой воды различных источников водоснабжения г. Конакри (Гвинейская Республика) / М.И. Буаро., Т. Камара, О.К. Константинов С. Бумбали // Материалы VII Национального конгресса бактериологов, Санкт-Петербург, 28–30 сентября 2022 г. Издательство «Династия», 2022. С. 23.

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

В современном мире вопрос переработки пластиковых отходов самая актуальная тема, на сегодняшний день. Несмотря на технологический прогресс, в области переработки материалов, примерно 85–90% производимого пластика не утилизируется должным образом, это приводит к накоплению отходов на свалках. В России переработка пластика находится на стадии развития и есть значительные перспективы в технологическом и в экономическом плане [1]. Одно из наиболее перспективных направлений в этой области – производство вторичных пластиковых гранул. Переработка пластика в гранулы способствует сокращению отходов и создает основу для устойчивого экономического развития.

Общий объем потребляемых ресурсов в мире продолжает неуклонно расти. Circle Economy Foundation 2024 [2] в своём отчёте заявляет, что в последние шесть лет человечество использовало более 500 миллиардов тонн материалов, столько же сколько за весь XX век.

По данным Федерального агентства статистической отчетности (Росстат), В России только 9% пластиковых отходов перерабатывается [3], остальная часть идет на свалку или сжигается. Неэффективная переработка происходит по ряду причин, одна из самых основных – недостаточно развитая система сортировки. Отсутствие необходимых технологий и инфраструктуры для эффективной переработки пластика делает невозможным полное использование вторичных ресурсов.

Цель работы – анализ методов переработки пластиковых отходов и их оценка в решении проблемы пластиковых отходов

Методика исследования. Для решения поставленной задачи рассмотрены различные методы переработки пластиковых отходов, включая химическую, термическую и механическую переработку. Описаны этапы производства вторичных пластиковых гранул, включая сбор, сортировку, измельчение, мойку, сушку и экструзию. Приведен анализ технологических процессов и их перспективы в России.

Пластик, являясь искусственно созданным материалом на основе полимеров, требует различных подходов к переработке, включая термические, химические и физические методы.

Термические методы переработки, включая пиролиз и газификацию, позволяют перерабатывать даже сильно загрязненные пластиковые отходы, превращая их в топливо или синтетический газ. Эти методы обеспечивают полное расщепление токсичных веществ, что делает их экологически безопасными, но при этом требуются значительные энергозатраты [4].

Химическая переработка включает в себя несколько методов: пиролиз, газификация, сольволиз и деполимеризация, которые расщепляют пластиковые отходы до более простых химических соединений [5]. Например, гликолиз позволяет превратить пластик в полимеры, пригодные для изготовления новых пластиковых изделий. По сравнению с механической переработкой мусора, технологии химической и термической переработки требуют значительных инвестиций, высоких энергозатрат и сложного оборудования, это делает их экономически менее выгодными. Низкий уровень технологической зрелости и недостаточная развитая инфраструктура – ограничивает масштабное применение. Высокая стоимость инфраструктуры, технического обслуживания и химических реагентов делает производство первичного пластика дешевле химической переработки.

Механическая переработка – самый распространенный метод. Одно из его главных преимуществ – экономичность, поскольку он требует меньших капитальных вложений по сравнению с химическими и термическими методами. Механическая переработка потребляет

значительно меньше энергии, чем химическая и термическая, поскольку работает при более низких температурах. Механическая переработка широко применяется во многих странах, для данного метода хорошо налаженная инфраструктура с существующими объектами и разработанными технологиями, это облегчает ее масштабирование и интеграцию в системы управления отходами. Механическая переработка играет важную роль в поддержке циркулярной экономики и позволяет получать вторичные пластиковые гранулы, которые могут быть использованы в производстве новых пластиковых изделий.

Наиболее распространённым результатом механической переработки пластиковых отходов является производство вторичных пластиковых гранул.

Процесс производства вторичных пластиковых гранул состоит из нескольких этапов: сбор отходов, сортировка, измельчение, промывка, сушка, термическая обработка и экструзия. Одним из ключевых аспектов является качество сырья – более чистые отходы ведут к более эффективному процессу переработки.

Вторичные пластиковые гранулы являются первичным материалом для производства новых пластиковых изделий, например, упаковка, строительные материалы, автомобильные детали и даже одежда. Использование этих гранул снижает зависимость от первичных ресурсов и значительно уменьшает объем пластиковых отходов.

В России переработка пластика находится на стадии развития, при этом существует значительный потенциал для улучшения ситуации, особенно в области производства вторичных гранул. Использование вторичных гранул помогает сократить зависимость от первичных ресурсов и значительно уменьшить объем пластиковых отходов. Применение современных технологий переработки пластика может привести к созданию устойчивых экономических и экологических систем [6]. Успешное использование вторичных гранул способствует ускорению процесса переработки пластиковых отходов. Производство вторичных пластиковых гранул имеет огромный потенциал. Это не только важный шаг к улучшению экологической ситуации, но и способ снизить нагрузку на экономику, предлагая дешевое и экологически безопасное сырье.

Выводы

Продвижение механической переработки в более широких масштабах необходимо для решения проблемы накопления пластиковых отходов. Очень важно информировать потребителей пластика о потенциальном будущем его переработки, а также о его ценной роли в производственных процессах. Повышая осведомленность и поощряя правильное обращение с отходами, можно гарантировать, что пластиковые отходы не будут смешиваться с другими материалами. Создание четких и эффективных систем сортировки отходов позволит отделить пригодный пластик для вторичной переработки от других видов отходов.

Вторичные пластиковые гранулы, которые производятся из переработанного материала, больше не рассматриваются как отходы. Вместо этого, они представляют ценный ресурс, который может быть использован в производстве так же, как и первичное сырье. Такое изменение точки зрения подчеркивает важность понимания всего жизненного цикла пластика, от отходов до создания вторичных гранул и их роли в циркулярной экономике. Использование вторичных материалов снижает воздействие на окружающую среду за счет экономии ресурсов и уменьшения потребности в новом сырье.

Внедрение этих принципов в российскую экономику обеспечивает не только экологические преимущества, но и стимулирует создание новых рабочих мест, а также способствует развитию инноваций в секторе переработки отходов. Развивая и расширяя отрасли, связанные с переработкой вторичного пластика, Россия может обеспечить более циклическую экономику, улучшая экологический след промышленных процессов. Кроме того, подобные инициативы помогут укрепить российское производство и сделать его ключевым игроком в глобальном движении за устойчивое развитие.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Указ Президента РФ от 21.07.2020 года № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».
2. Министерство экономического развития РФ «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов». – 2023.
3. Circle Economy. The Circularity Gap Report 2024. Amsterdam: Circle Economy. – 2024.
4. Чухланов В.Ю., Ермолаева Е.В., Чинова Л.А. Современные методы исследования эксплуатационных свойств полимерных материалов: учеб. пособие к лаб. и практ. занятиям / В.Ю. Чухланов, Е.В. Ермолаева, Л.А. Чинова ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019. – 104 с.
5. Ситникова В.Е., Пономарева А.А., Успенская М.В. Методы термического анализа: практикум. – Университет ИТМО. – 2021. – 155 с.
6. Соколова Н.А., Ерошкина Л.А. Переработка пластика: его особенности и доходы. Оценка инвестиций. – 2020. – № 4 (18). – №. 4 (18). – С. 47–54.

УДК 504.4.054:504.06

А.А. Шумова, Л.М. Молодкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОДЕПО «МОСКОВСКОЕ» ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН» НА Р. ВОЛКОВКУ

Петербургский метрополитен – крупнейшее транспортное предприятие города, и как любое предприятие, в процессе своей деятельности вызывает загрязнение окружающей среды (ОС) через выбросы в атмосферу, сбросы в водотоки города, размещение отходов. В области экологической безопасности деятельность ГУП «Петербургский метрополитен» направлена на устранение и предотвращение последствий для окружающей среды от своей работы.

Одной из крупных составных частей метрополитена, оказывающих негативное воздействие (НВ) на объекты ОС, является электродепо. Согласно [1], электродепо предусмотрено для отстоя, технического обслуживания, ремонта (электро-)подвижного состава метрополитена. В состав каждого электродепо (кроме основных технических узлов и помещений) входят также камеры мойки подвижного состава, очистные сооружения, снегоплавильная установка, помещения для мойки внутридеповского автотранспорта, уборочной техники, мобильной снегоплавильной установки, камеры санитарной обработки состава, пункт мойки контейнеров для отходов [1]. Таким образом, электродепо метрополитена является источником производственных сточных вод, которые подвергаются очистке на собственных очистных сооружениях, после чего сбрасываются в канализационную сеть, либо в близлежащий водный объект. Кроме того, на территории электродепо образуются поверхностные сточные воды (дождевые и талые стоки), которые после очистки должны отводиться в соответствующий водоток.

Объектом изучения в данной работе является электродепо «Московское», относящееся к ГУП «Петербургский метрополитен».

Цель работы состоит в анализе воздействия производственных и поверхностных сточных вод электродепо «Московское» на близлежащий водный объект – реку Волковку.

Река Волковка, протекающая на юге Санкт-Петербурга, является левым притоком Невы, ее исток находится в районе Пулковских высот, река впадает в Обводный канал. В 1972–73 гг. часть русла Волковки была засыпана, но прорыт прямой Волковский канал от ж/д станции Купчино до пр. Салова (рис.1). В низовьях река Волковка имеет ширину от 7–8 до 20 м, глубину 0,6–1 м; средний расход вод в среднем течении ~ 0,5 м³/с, скорость течения реки в поверхностном слое 0,05–0,10 м/с, общая протяженность 17 км [2]. Водосборный бассейн реки включает сельскохозяйственные угодья, зоны промпредприятий, районы жилой застройки,

пустыри, территории зелёных насаждений. Река Волковка относится к водным объектам рыбохозяйственного значения первой категории.

Как следует из Декларации электродепо [3], в ближайшие 10 лет производственные сточные воды будут сбрасываться в общесплавную централизованную систему водоотведения с показателями, приведенными в декларации. Средний расход $80 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Поверхностные сточные воды (дождевые, талые, поливомоечные), а также дренажные воды с территории площадки электродепо, отводятся на очистные сооружения ОС-В-2, ОС-В-3 и ОС-В-5. После очистки воды сбрасываются через три выпуска (№ 2, № 3 и № 5) в р. Волковку. Места сбросов отмечены на рис. 1 красными точками. Выпуски береговые, сосредоточенные. Расход сточных вод для выпуска № 2 составляет $144 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,04 \text{ м}^3/\text{с}$), $6080 \text{ м}^3/\text{мес}$; для выпуска № 3— $72 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,02 \text{ м}^3/\text{с}$), $1048 \text{ м}^3/\text{мес}$; для выпуска № 5— $72 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0,02 \text{ м}^3/\text{с}$); $1887 \text{ м}^3/\text{мес}$. Таким образом, суммарный секундный сброс составляет до $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$.



Рис.1. Карта юга Санкт-Петербурга с указанием выпусков на р. Волковке

Каждое очистное сооружение выполнено в подземном варианте и представлено емкостью с тремя блоками – тонкослойным отстойником (1), коалесцентным модулем (2), сорбционным фильтром (3).

Очищенные сточные воды должны сбрасываться в выпуски с концентрациями, соответствующими их ПДК в водном объекте рыбохозяйственного значения.

В табл. 1 представлены значения двух показателей качества поверхностных (и дренажных) сточных вод, поступающих на очистные сооружения (максимальные и средние значения), а также средние значения этих же показателей после очистки вод.

Таблица 1 – Концентрации загрязняющих веществ в сточной воде, поступающей на очистные сооружения и после очистки

№	Показатель	Максимальное значение до очистки		Среднее значение до очистки		Среднее значение после очистки	
		мг/дм ³	доли ПДК	мг/дм ³	доли ПДК	мг/дм ³	доли ПДК
1	Взвешенные вещества (ВВ)	31,000	6,46	11,692	2,44	10,367	2,16
2	Нефтепродукты	1,25	25,00	0,163	3,26	0,057	1,14
3	Взвешенные вещества	32,00	6,67	9,100	1,90	5,917	1,23
4	Нефтепродукты	0,98	19,60	0,285	5,70	0,116	2,32
5	Взвешенные вещества	22,00	4,58	7,425	1,55	4,250	0,89
6	Нефтепродукты	0,7	14,00	0,173	3,46	0,079	1,58

Примечания к таблице 1:

1. №№ 1, 2 – очистные сооружения ОС-В-2, №№ 3,4 – ОС-В-3; №№ 5,6 – ОС-В-5;
2. Фоновая концентрация по взвешенным веществам составляет для р. Волковки 4,55 мг/дм³ (в створе ГНС – Обводный канал 0,025 км выше устья).
3. Данные получены во время прохождения учебной/учебно-технологической практики на предприятии.

Согласно документу [4], превышение концентрации взвешенных веществ, при сбросе в водные объекты рыбохозяйственного значения, должно быть не более чем 0,25/0,75 мг/дм³ (для высшей и первой/второй категории объекта), допустимая концентрация нефтепродуктов (нефти) – 0,05 мг/дм³.

Что касается бактериологических показателей, то по обобщенным колиформным бактериям при ПДК не более 500 КОЕ/100 см³ средние значения после ОС-В-2 составляли 1375, после ОС-В-3 – 1113, после ОС-В-5 – 1988, т.е. превышение ПДК составляет 2,75; 2,23 и 3,97, соответственно.

По средним значениям табл. 1 был проведен расчет эффективности очистки поверхностных сточных вод для всех очистных сооружений. Так для ОС-В-2 эффективность составила 11,3% по ВВ и 65,0% по нефтепродуктам; для ОС-В-3 – 35,0% по ВВ и 59,3% по нефтепродуктам; для ОС-В-5 – 42,8% по ВВ, 54,3% по нефтепродуктам. Невысокие показатели очистки могут быть связаны, скорее всего, с недостаточной степенью регенерации адсорбента в третьем модуле очистных сооружений. Завышенные значения концентрации колиформным бактерий в очищенной воде могут быть следствием отсутствия модуля УФ-обеззараживания, которыми, как правило, комплектуют сооружения очистки поверхностных сточных вод.

Следует отметить, что выпуск очищенных стоков с показателями примесей, превышающими ПДК, не приводит к ухудшению качества воды в р. Волковке. Это связано с тем, что фоновые концентрации различных загрязняющих веществ превышают ПДК в 2–4 раза [5]. В приказе Минприроды России № 1118 [6] отмечена важность учета фоновых концентраций при расчете НДС. Так, если природные фоновые концентрации химических веществ превышают гигиенические нормативы, то нормативы качества следует устанавливать на уровне значений фоновых концентраций. Вместе с тем, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» при оценке эффективности очистки поверхностных стоков на локальных ОС проводит сравнение показателей качества очищенных вод именно с ПДК.

Выводы. Анализ воздействия сточных вод электродепо «Московское» на реку Волковку привел к неоднозначному результату. С одной стороны, очистные сооружения электродепо демонстрируют недостаточную эффективность по ряду показателей (приведенных выше и некоторых других). С другой стороны, сброс очищенных стоков с превышением нормативов ПДК не приводит к ухудшению общего качества воды в реке. Это обусловлено тем, что фоновые концентрации загрязняющих веществ в реке Волковке уже значительно превышают установленные ПДК. Тем не менее, необходимо учитывать важность соблюдения экологических норм и стремиться к улучшению работы очистных сооружений. Внедрение модуля УФ-обеззараживания и оптимизация процесса регенерации адсорбента, а также контроль за работой тонкослойного отстойника и коалесцентного модуля, могли бы существенно повысить качество очистки сточных вод и снизить негативное воздействие на реку Волковку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СП 120.13330.2022 Метрополитены (с изменениями № 1,2) [Электронный ресурс]. URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=101&RegNum=54&DocOnPageCount=100&page=1&id=250179> (дата обращения 09.02.2025).
2. Энциклопедический справочник Санкт-Петербурга. Волковка [Электронный ресурс]. URL: <https://sankt-peterburg.academic.ru/389/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0> (дата обращения 10.02.2025).

3. Декларация о воздействии на окружающую среду 40-0178-002430-П электродепо «Московское» СПб ГУП «Петербургский метрополитен», 2024.
4. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с дополнениями от 13.06.2024 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения 12.02.2025).
5. Клубов С.М. Оценка пространственного распределения загрязнения реки Волковки / С.М. Клубов, В.Ю. Третьяков // Метеорологический вестник. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 12–30. – EDN YVJVZY.
6. Приказ Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 (ред. от 08.05.2024) «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373522/ (дата обращения 07.02.2025).

УДК 502.3

И.И. Матвеев, С.В. Селиванова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ УКЛАДКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С ДОБАВКОЙ VESTENAMER

Целью работы является оценка вариантов модернизации автомобильного покрытия, путём применения инновационного материала Vestenamer от компании Evonik из переработанных автомобильных шин.

В современном мире огромное значение играет сокращение количества отходов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Одним из способов минимизации количества отходов служит переработка бывших в употреблении автомобильных шин. По данным публично-правовой компании Российский Экологический Оператор (РЭО) на 2023 г. около 1 млн т покрышек становятся отходами, при этом утилизируется только 40–50 %, что равняется 500 тыс. т ежегодно [1]. Предположим что, применяя технологию Vestenamer происходит переработка 500 тыс. т, в следствии чего предотвращается выброс сажи в объеме 125 т и токсичных газов 225 т, так как при сжигании одной тонны использованных шин выделяется больше 250 кг сажи и 450 кг токсичных газов.

При помощи технологии Vetenamer от компании Evonik можно перерабатывать шины путем добавления модифицированной резиновой крошки в битумные вяжущие, что позволяет снизить уровень шума на несколько децибел [2–6]. Например, максимальное влияние дорожного покрытия на общий уровень шума автомобильной дороги составляет 6 децибел, в свою очередь добавка Vestenamer позволяет снизить уровень шума на 2 два децибела, что способствует улучшению экологической ситуации вокруг.

Добавка Vestenamer позволяет смешивать несовместимые по разным причинам полимеры, включающие разновидности каучука, который в свою очередь необходим для модификации дорожным битумов. Процесс размягчения или разрушения молекулярных цепей каучука, известный как мастикация, оказывает решающее влияние на технологичность натурального каучука. С применением Vestenamer это разложение снижается, а при более высоких концентрациях вовсе предотвращается [2–7].

Климат Петербурга умеренный и характеризуется сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла. Из-за небольшого количества солнечного тепла влага испаряется медленно. Для решения поставленных задач был разработан проект проезда, находящегося по адресу Санкт-Петербург, Московское шоссе вдоль домов №№ 15–23 с применением инновационной добавки Vestenamer.

Граница красных линий

Проектируемый протопус

2.25

L

4.00

3.50

2.50

3.50

4.00

L

2.25

Граница красных линий

БР 100 20.8 15%

КБрп П1

30%

40%

0.40

Проезжая часть

Дренажная подложка ПВХ ϕ 110 в обертке геотекстильным материалом

30%

40%

0.40

Тротуар

298

По способу использования предлагается применить добавку Vestenamer в битумное вяжущее БНД 60/90, которое используется при укладке следующих слоев дорожной одежды:

- Верхний слой покрытия из горячей мелкозернистой плотной а/б смеси типа А марки I на вязком битуме БНД 60/90 по ГОСТ 9128-2013, $E = 2900$ МПа, $h = 0,05$ м.
- Нижний слой покрытия из горячей крупнозернистой плотной а/б смеси типа А марки I на вязком битуме БНД 60/90 по ГОСТ 9128-2013, $E = 2900$ МПа, $h = 0,07$ м.
- Верхний слой основания из горячей крупнозернистой плотной а/б смеси типа Б марки I на вязком битуме БНД 60/90 по ГОСТ 9128-2013, $E = 2900$ МПа, $h = 0,07$ м.

Выводы. Разработан проект модернизации дорожного покрытия с применением добавки Vestenamer. Предлагаемая технология по переработке изношенных автомобильных шин помогает снизить выбросы в атмосферу в объеме 125 т сажи и 225 т токсичных газов и эффективно использовать жизненный цикл материала, а полученное увеличение срока службы снижает периодичность ремонта и затраты на эти работы в будущем. Предлагаемая технология позволяет эксплуатировать автомобильную дорогу при резких перепадах температур. Добавка Vestenamer увеличивает срок службы автомобильной дороги, и способствует улучшению экологической ситуации данной территории.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Официальный интернет-портал компании Российский Экологический Оператор (РЭО) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://reo.ru/>
2. Официальный интернет-портал компании Evonik [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vestenamer.com>
3. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
4. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги.
5. Акчурин Н.А. Технология производства модифицированного битума Научному прогрессу. – Творчество молодых : научная статья / Акчурин Н.А. – 2024. № 1. С. 605–607.
6. Губа К.Р., Гуляк Д.В., Стукалов А.А., Жеванов В.В., Прудников М.Г., Литвинов Ю.Г., Козлова Т.В. Полимерная добавка для модификации битума/ Губа К.Р., Гуляк Д.В., Стукалов А.А., Жеванов В.В., Прудников М.Г., Литвинов Ю.Г., Козлова Т. В. – Горловка. ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2023 – С. 60–66.
7. Бабков В.В., Недосеко И.В., Глазачев А.О., Сеницин Д.А., Парфенова А.А., Каюмова Э.И. Композиционные материалы для дорожного строительства на основе отходов химической и металлургической промышленности/ Бабков В.В., Недосеко И.В., Глазачев А.О., Сеницин Д.А., Парфенова А.А., Каюмова Э.И. Строительные материалы. – 2023. № 1-2. С. 88–94.

УДК 628.35

Д.С. Глебова, В.Ю. Белоусова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОПЛЕНОЧНОГО РЕАКТОРА МЕТОДОМ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается усиление экологических требований, направленных на улучшение системы контроля за состоянием сточных вод. Это связано с необходимостью минимизировать воздействие на окружающую среду и соответствовать современным экологическим стандартам. Основой для данных изменений послужил Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении», предусматривающий постепенное снижение предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в сточных водах. В рамках нового регулирования усилены требования к предприятиям, сбрасывающим сточные воды, и предусмотрена необходимость их предварительной очистки до установленного уровня, соответствующего экологическим стандартам [1].

Технология очистки сточных вод с помощью биопленочного реактора с подвижным слоем носителя, или технология Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), привлекает в последние годы все большее внимание в данном секторе. Система эффективна как для нитрификации, так и для денитрификации. Она также успешно применяется для удаления взвешенных веществ и осадка, а также может быть интегрирована в анаэробные процессы, такие как анаммокс (анаэробное окисление аммония) [2–6]. Процесс MBBR был разработан на основе сочетания традиционного процесса активного ила и процесса биофильтрации. В нем используются специально разработанные носители из полимерных материалов, таких как полиэтилен и полипропилен, с большой удельной площадью, называемые носителями биопленки, на которые прикрепляется биологическая пленка [7–9].

Однако, несмотря на её распространённость, в среде специалистов и инженеров существуют заблуждения относительно её эффективности, устойчивости к токсическим шокам и эксплуатационных характеристик.

Целью исследования является на основе экспериментальной оценки эффективности классических MBBR с анализом их устойчивости к различным условиям эксплуатации сформировать в дальнейшем методику расчета российского аналога нагрузки биопленочного реактора с подвижным слоем. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести лабораторные испытания работы трех видов MBBR с разными параметрами нагрузки;
2. Оценить устойчивость системы к токсическому шоку;
3. Исследовать влияние геометрии и материала носителей на эффективность очистки;
4. Определить факторы, влияющие на образование и рост биоплёнки.

Методы исследования. В работе использованы методы лабораторного моделирования процессов биологической очистки сточных вод с применением реакторов MBBR, метод спектрофотометрического анализа содержания органических загрязнителей, а также статистическая обработка экспериментальных данных для оценки влияния различных факторов на эффективность процесса.

В рамках первоначальных исследований установлено, что система MBBR демонстрирует высокую устойчивость к резким изменениям нагрузки, это было продемонстрировано во всех трех видах MBBR: при увеличении концентрации органических веществ на 30% эффективность очистки снижалась незначительно (менее чем на 5%). При токсическом шоке, вызванном добавлением хлорорганических соединений, наблюдалось временное снижение активности биоплёнки, но в течение 48 часов система полностью восстанавливала свою работоспособность.

Для более быстрого формирования биопленки требуется использовать пористые носители, так как максимальная эффективность очистки происходила через 6 суток. Гладкие же пластиковые носители замедляли процесс формирования биопленки, увеличивая период выхода системы на рабочие параметры.

Дополнительно были проведены исследования влияния различных типов носителей на рост и активность биоплёнки. Результаты отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность очистки при использовании разных носителей

Тип носителя	Шероховатость, мкм	Время формирования биоплёнки, сут.	Эффективность очистки, %
Пластиковые гранулы	5–10	10	85
Пористый керамический носитель	50–100	6	92
Биополимерный носитель	20–40	8	88

Исследование показало, что носители с высокой шероховатостью поверхности обеспечивают более быстрое заселение микроорганизмов и повышенную эффективность очистки. Также подтверждена важность правильного подбора сетчатых фильтров для предотвращения потерь носителей.

Выводы. Экспериментальные исследования показали, что биопленочные реакторы MBBR демонстрируют высокую эффективность очистки сточных вод и обладают способностью адаптироваться к изменяющимся нагрузкам и токсическим воздействиям. Для повышения эффективности MBBR необходимо учитывать шероховатость и пористость носителей, а также оптимизировать параметры аэрации и скорость перемешивания. Полученные результаты подтверждают перспективность технологии MBBR и её высокую адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации. На основе полученных данных далее будет предложена методика расчета российской вида биопленочного реактора с подвижным слоем и оценена его эффективность в сравнении с уже исследованными видами MBBR.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" от 07.12.2011 N 416-ФЗ (последняя редакция) – Текст: электронный. // КонсультантПлюс: [электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ (дата обращения: 19.02.2025).
2. Гзар Хага, Джасим Н.А., Ксир К.М. Электрокоагуляция и химическая коагуляция для очистки сточных вод текстильной промышленности Аль-Кут: сравнительное исследование // Периодические издания по инженерным и естественным наукам (PEN). – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 1580–1590.
3. Биопленочный реактор с подвижным слоем (MBBR). – Текст: электронный. // Экологджиксистемс [электронный ресурс]. – URL: <https://www.ecologixsystems.com/system-mbbr/> (дата обращения: 19.02.2025)
4. Ихань Ш., Васильев Е. Разработка информационной модели расчета процессов биологической очистки сточных вод как способ повышения экологической безопасности // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики. – Екатеринбург, 2023. – 2023. – С. 70–73.
5. Лария М.С. и др. Применение биопленочного реактора с подвижным слоем (МББР) и интегрированного фиксированного активного ила (ИФАС) для биологической системы очистки речной воды: краткий обзор // Серия конференций ИОП: Науки об окружающей среде и Земле. – Издательство ИОП, 2016. – Т. 32. – №. 1. – С. 012005.
6. Ян С. и др. Очистка сточных вод текстильных предприятий методами CAS, MBR и MBBR: сравнительное исследование с технической, экономической и экологической точек зрения // Вода. – 2020. – Т. 12. – №. 5. – С. 1306.
7. Федорова Л.С., Ильякова А.В. Сравнительная оценка эффективности воздействия дезинфицирующих веществ на микроорганизмы в биоплёнке // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2023. – Т. 100. – №. 5. – С. 302–309.
8. Кермани М. и др. Применение процесса биопленки с подвижным слоем для биологического удаления органических и питательных веществ из городских сточных вод // Журнал наук об окружающей среде. – 2008. – Т. 4. – №. 6. – С. 675.
9. Борисова О.Н., Волкова Е.С. Очистка нефтесодержащих сточных вод: обзор традиционных и современных методов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2022). – 2022. – С. 240–245.

УДК 620.9

В.С. Третьяков
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА В РОССИИ

Последнее время перед человечеством особенно остро возникают проблемы истощения ископаемых (традиционных) видов топлива, таких как природный газ, нефть и уголь, а также глобальное изменение климата, вызванное увеличением выбросов парниковых газов от использования ископаемого топлива.

Транспортная отрасль является одним из основных источников парниковых газов, генерируя около четверти всех выбросов [1]. Это огромная цифра, которая демонстрирует критическую роль транспорта в изменении климата. Более того, с 1970 г. объемы выбросов

парниковых газов от транспорта удвоились, причем «львиная доля» – порядка 80% – приходится на автомобильный транспорт (легковые и грузовые автомобили, автобусы и мотоциклы). В данной ситуации масштабное производство биотоплива, как альтернативного источника энергии, приобретает всё большую актуальность.

В связи с недостаточным исследованием экономических аспектов производства биотоплива в России возникает необходимость детального изучения этой темы. Важность исследования экономических аспектов производства биотоплива становится очевидной, поскольку оно может не только способствовать снижению зависимости от ископаемых источников энергии, но и оказать положительное влияние на состояние окружающей среды [2].

Цель работы – провести анализ экономических и экологических аспектов производства биотоплива в России, чтобы выявить ключевые преимущества и барьеры развития этого сектора.

Биотопливо – это вид топлива, производимый из возобновляемых биологических материалов, таких как растительные масла, отходы животноводства и сельского хозяйства, а также микроорганизмы. По агрегатному состоянию биотопливо может быть разделено на три основные категории: жидкое, твердое и газообразное [3]. Жидкое биотопливо, например биоэтанол и биодизель, является альтернативой привычному нам бензину и дизельному топливу. Именно эти виды топлива станут объектом сравнительного анализа в таблице 1 [4–6].

Таблица 1 – Сравнение традиционных и альтернативных видов топлива

Критерий	Традиционное топливо (бензин, дизель)	Биотопливо (биоэтанол, биодизель)
Энергоемкость	Высокая	Ниже, чем у традиционного топлива
Экологичность	Низкая (высокие выбросы CO ₂)	Выше (меньше выбросов CO ₂)
Стоимость	Зависит от цен на нефть	Зависит от стоимости сырья
Возобновляемость	Невозобновляемое	Возобновляемое
Инфраструктура	Хорошо развита	Развита слабо
Влияние на природу	Загрязнение, риск разливов	Риск истощения почв и водных ресурсов

Согласно данным международных организаций, биотопливо, несмотря на повышенные производственные затраты, становится конкурентноспособным с традиционными видами топлива в условиях государственной поддержки и широкого внедрения экологически чистых технологий. Сравнительный анализ данных за 2023 г. представлен в таблице 2 [6, 7].

Таблица 2 – Сравнения себестоимости традиционного топлива и биотоплива

Параметр	Бензин	Дизель	Биоэтанол	Биодизель
Себестоимость, USD/литр	0,4–0,6	0,35–0,55	0,5–0,8	0,6–1,0
Основные затраты	Добыча нефти, НПЗ, логистика	Добыча нефти, переработка	Сырье (кукуруза, сахарный тростник)	Сырье (растительные масла, отходы)
Зависимость от сырья	Цена на нефть	Цена на нефть	Цена на сельхозкультуры	Цена на масла (рапс, соя)
Экологические затраты	Высокие (выбросы CO ₂)	Высокие	Умеренные (вырубка лесов под посеvy)	Низкие (использование отходов)
Господдержка	Низкая (налоги)	Низкая	Высокая (субсидии, льготы)	Высокая (субсидии)
Энергоемкость, МДж/л	32–34	35–38	24–27	33–35
Рентабельность	Высокая	Высокая	Низкая (без субсидий)	Средняя (зависит от сырья)

Основные затраты на производство биотоплива связаны с сырьем, оборудованием и логистикой. Растительные масла, такие как рапсовое, соевое и пальмовое, являются наиболее доступными источниками сырья, но их цены зависят от сезонных и рыночных колебаний [8]. Оборудование для производства, например смесители и фильтры для биодизеля, требует значительных капиталовложений [9]. Операционные расходы, включая зарплаты персонала и затраты на электроэнергию, также играют важную роль [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что производство биотоплива имеет потенциал для развития в России, однако для его успешной реализации необходимо преодолеть ряд экономических и экологических барьеров. Важно, чтобы государственные органы, научные учреждения и бизнес-сообщество объединили усилия для создания благоприятной среды для инвестиций в этот сектор, а также для разработки эффективных и устойчивых технологий производства. Только в этом случае биотопливо сможет занять достойное место в энергетическом балансе страны и внести вклад в решение глобальных проблем, связанных с изменением климата и истощением природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Global Fuel Economy [Электронный ресурс] / International Energy Agency (IEA). – 2023. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>
2. Рябкова Н.С. Экономические перспективы развития биотоплива // Оценка инвестиций. 2017. №2-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-perspektivy-razvitiya-biotopliva>
3. Виды биотоплива: сравнение твердого, жидкого, газообразного [Электронный ресурс] // sovet-ingenera.com – Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/bio-fuel/vidy-biotopliva.html>, свободный.
4. Биотопливо: виды поколений, преимущества и недостатки. [Электронный ресурс] // www.renwex.ru – Режим доступа: <https://www.renwex.ru/ru/ii/biotoplivo/>
5. Экологическая и экономическая целесообразность использования биотоплива [Электронный ресурс] // fundamental-research.ru – Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29953>
6. Производство биотоплива: поиск решений из возобновляемых источников // Biotechnology for Biofuels. [Электронный ресурс]. URL: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-024-02571-9>
7. United States Department of Agriculture (USDA). Bioenergy Reports [Электронный ресурс]. – [Б.г.]. – URL: <https://www.usda.gov/topics/energy/bioenergy>
8. Как открыть свой бизнес по производству биотоплива // Equipnet. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.equipnet.ru/org-biz/proizvodstvennyiy-biznes/proizvodstvennyiy-biznes_56.html
9. Биотопливо, часть 2. Стоит ли заниматься производством? // Дзен. [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/x-guquxnvqwyao7>

УДК 502/504:620.3

В.И. Хлебко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ НА ПОЖАРНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации одной из угроз экологической безопасности нашей страны названы лесные пожары. В период с 2013 по 2023 гг. лесные пожары уничтожили около 213 тыс. га лесных насаждений, что составило почти 70% от общей площади уничтоженных лесных ресурсов, таким образом лесные пожары – основная причина уничтожения леса в нашей стране [1].

Существуют различные методы тушения лесных пожаров, начиная от тушения вручную силами пожарных бригад, заканчивая применением авиации для тушения верховых пожаров или вызывание искусственного дождя. Такие методы позволяют остановить огонь, но часть лесных насаждений всё же сгорает, поэтому целесообразнее проводить профилактические мероприятия.

Самым распространённым методом профилактики лесных пожаров является создание противопожарных лесных барьеров, однако при засухе и высоких скоростях ветра лесозащитные барьеры оказываются не всегда эффективными. Таким образом актуальность работы заключается в необходимости повышения качества противопожарных лесных барьеров [2].

В лесной пирологии известны методы применения наночастиц для тушения лесных пожаров, которые описаны в статьях «Торфяные пожары и способы их тушения» и «Нано- и микродисперсные вещества в пожаротушении». Данные этих статей определили *цель исследования*, которая заключается в исследовании влияния наночастиц на пожарные свойства растений для повышения качества противопожарных лесных барьеров» [3, 4].

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Вырастить образцы бамбука с добавлением наночастиц (астрален) в разной концентрации;
2. С помощью дериватографа Termoscan-2 провести дифференциально-термический анализ образцов;
3. Проанализировать кривые ДТА и сделать выводы о влиянии астрален на пожарные свойства древесины.

Исследования проводились экспериментальным методом. В начале было выращены бамбуки вида *Pleiblastus fortunei*, которые в течение 4 месяцев поливались водой с добавленными наночастицами в разной концентрации. В качестве наночастиц были выбраны астралены, так как они показали хорошую эффективность в исследованиях влияния астрален на скорость тушения модельных очагов пожара.

Астралены были получены путём испарения графитовых анодов в электродуговом разряде. По структуре они представляют собой графитовые слои изогнутой формы на расстоянии 0,336 нм между собой. Диаметр от 10 до 150 нм. Средний размер пор от 20 до 60 нм. Астралены обладают высокой термической устойчивостью. В виде порошка представляют собой агломераты размером от 0,5 до 3 мкм.

Суспензия приготавливалась путём диспергирования углеродных наноструктур с объёмной концентрацией 0,01–0,5 об. % в суспензии дистиллированной воды при воздействии источника ультразвука мощностью 1,2 кВт с частотой 50–60 Гц. Время обработки – 0,5 часа [5, 6].

Концентрации составов для полива растений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Концентрации составов для поливов растений

Условные обозначения	Тип состава
ДВ	Дистиллированная вода
ДВ+Astr. 0,01 об. %	Суспензия из ДВ с астраленами в концентрации 0,01 об. %
ДВ+Astr. 0,05 об. %	Суспензия из ДВ с астраленами в концентрации 0,05 об. %
ДВ+Astr. 0,1 об. %	Суспензия из ДВ с астраленами в концентрации 0,1 об. %
ДВ+Astr. 0,5 об. %	Суспензия из ДВ с астраленами в концентрации 0,5 об. %

По истечении 4 месяцев результаты эксперименты были изучены методом дифференциально-термического анализа (ДТА) при помощи дериватографа Termoscan-2. Кривые ДТА представлены на рисунке 1.

На графиках видна разница в экзотермических и эндотермических пиках, изменения температурного разложения и изменения в тепловых эффектах между образцом, обработанным дистиллированной водой и образцами с наночастицами.

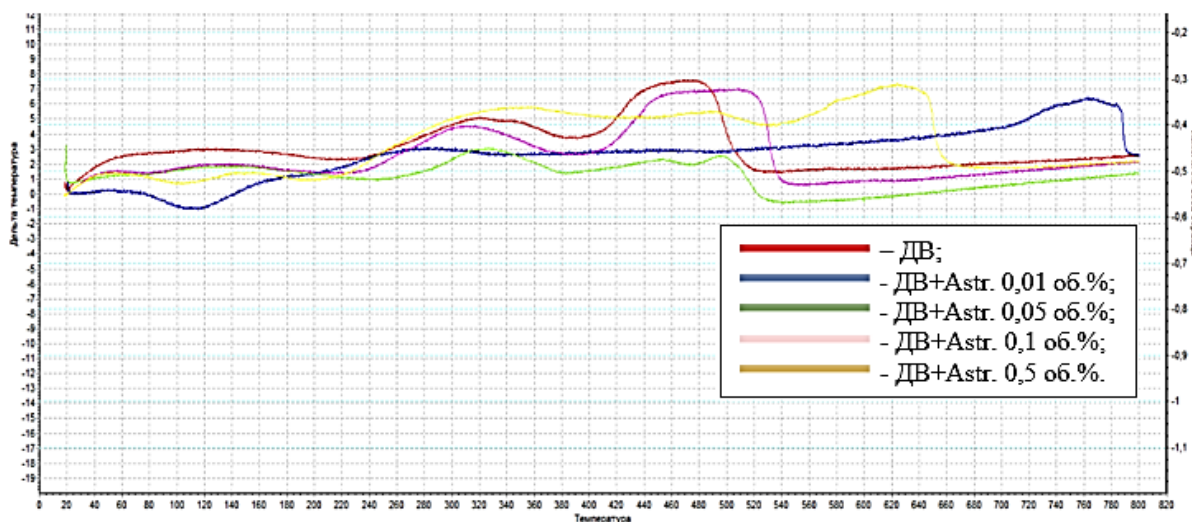


Рис. 1. Кривые ДТА

На графиках для древесины с наночастицами наблюдаются более широкие термические максимумы ввиду более равномерного и постепенного хода термического разложения из-за присутствия астралена.

На кривых ДТА количество отчетливых пиков разложения меньше у образцов с астраленами за счет того, что наночастицы могут стабилизировать разложение компонентов, сглаживая реакции, которые иначе были бы более дискретными. Особенно заметна разница между образцом ДВ и ДВ+Astr. 0,01 об.%.

У образца с наночастицами ДВ+Astr. 0,5 об.% увеличилась начальная температура разложения: это связано с высокой термической устойчивостью наночастиц и их эффектом на древесину.

Все образцы с наночастицами проявляют меньший экзотермический эффект: астралены, действуя как теплопроводники, уменьшают локальное тепловыделение и тем самым снижают интенсивность экзотермических пиков.

Вывод. Проведенные эксперименты показали, что применение наночастиц позволяет повышать огнестойкость растительных материалов. Наночастицы возможно использовать не только для улучшения огнестойкости материалов, но и для тушения и профилактики лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2017.
2. Санников С.Н., Санникова Н.С., Терехов Г.Г. Принципы создания противопожарных лесных полос с барьером из лиственных видов для защиты от верховых пожаров [Текст] / С. Н. Санников, Н. С. Санникова, Г.Г. Терехов // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 5. – С. 76–83.
3. Хорошавин Л.Б., Медведев О.А., Беляков В.А., Беззапонная О.В. Торфяные пожары и способы их тушения [Текст] / Л.Б. Хорошавин, О.А. Медведев, В.А. Беляков, О.В. Беззапонная // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 11 (21). – С. 85–89.
4. Деревянк, В.С., Лебедева Н.Ш., Таратанов Н.А. Нано- и микродисперсные вещества в пожаротушении [Текст] / В.С. Деревянко, Н.Ш. Лебедева, Н.А. Таратанов // Пожарная и аварийная безопасность. – 2018. – № 1 (2). – С. 31–33.
5. Пустовалов И.А. Экспериментальное исследование огнетушащей способности модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой, модифицированной астраленами // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. №5. С. 84–97. DOI: 10.2227/0869-7493.2021.30.05.84-97
6. Ponomarev A., Iudovich M. Multi-layered carbon nanoparticles of the fulleroid type. United States patent US No. 9.090.752. 2015 Jul. 28.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Микропластик представляет собой частицы пластмасс размером менее 5 мм, которые являются серьёзной экологической проблемой. Из-за своей устойчивости и способности адсорбировать токсичные вещества микропластик наносит вред водным экосистемам и здоровью человека [1].

Современные системы очистки воды не всегда эффективно удаляют микропластик, что требует поиска новых методов фильтрации. Одним из перспективных решений является использование хитозана – природного биополимера, обладающего высокой адсорбционной способностью и биологической разлагаемостью [2].

Цель работы: исследование перспектив использования хитозана в качестве биополимерного сорбента для очистки воды от микропластика, а также анализ эффективности и его возможных модификаций для повышения адсорбционных свойств.

Для достижения поставленных целей были использованы следующие методы научного исследования: анализ научной литературы, касающийся проблем микропластика и методов его удаления из воды, экспериментальные исследования сорбционных свойств хитозана в различных формах (порошковый, гранулированный, химически модифицированный), исследование влияния pH и концентраций хитозана на эффективность связывания микропластика.

Микропластик накапливается в окружающей среде, в том числе в водных экосистемах, его присутствие в природных и питьевых водах вызывает беспокойство из-за потенциального вреда для живых организмов и человека. Для изучения содержания микропластика в пробах воды необходимо провести тщательную пробоподготовку, которая включает его выделение, очистку от примесей и идентификацию [3].

В данном исследовании использовалась методика, разработанная Институтом озероведения РАН, состоящая из четырех ключевых этапов:

1. Плотностное разделение микропластика.

Первым шагом является отделение частиц микропластика от минеральных примесей с помощью разделения по плотности. Пластиковые частицы имеют меньшую плотность по сравнению с большинством природных минералов, поэтому их можно выделить с помощью специального раствора.

Для этого готовят 55%-ный раствор хлорида цинка (ZnCl_2) плотностью около 1,6 г/см³. Раствор готовится следующим образом: В лабораторных условиях на аналитических весах отмеряют 165 г ZnCl_2 . Соль растворяют в 300 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивая. Полученный раствор фильтруют через металлический фильтр с ячейками 100 мкм, чтобы удалить крупные примеси.

После подготовки раствора пробы воды смешивают с ним и интенсивно перемешивают для равномерного распределения частиц. Затем образец оставляют в покое на 1 час. За это время тяжёлые минеральные примеси оседают на дно, а более лёгкие частицы микропластика остаются во взвешенном состоянии.

После отстаивания верхний слой жидкости с микропластиком фильтруют через металлический фильтр. Осевшие на фильтре частицы смывают дистиллированной водой в стеклянный стакан объёмом 25 мл для дальнейшей обработки.

2. Удаление органических примесей.

В пробах воды микропластик может содержать органические загрязнения, такие как остатки растительного или животного происхождения. Их необходимо удалить перед анализом, чтобы не исказить результаты исследования.

Для этого используется метод химического окисления с применением пероксида водорода (H_2O_2). В пробу добавляют равное количество 30%-го раствора H_2O_2 (например, 25 мл воды с микропластиком и 25 мл пероксида).

Затем пробу помещают в термостат с водяной баней при температуре 75 °С. Реакция продолжается 45 минут, в течение которых органические соединения разлагаются, а микропластик остаётся неизменным.

После завершения окислительной обработки смесь снова фильтруют через металлический фильтр с размером ячеек 100 мкм. Крупные частицы, оставшиеся на фильтре, аккуратно удаляют с помощью пинцета, а остальные смывают дистиллированной водой в чашки Петри для дальнейшего анализа [4].

3. Высушивание проб.

На следующем этапе образцы, содержащие очищенные частицы микропластика, оставляют для высушивания при комнатной температуре. Процесс занимает 2–3 дня, в течение которых влага полностью испаряется.

Высушивание необходимо для сохранения формы и структуры частиц, а также для предотвращения их слипания. Это значительно облегчает дальнейший анализ под микроскопом [5].

4. Оптическая идентификация микропластика.

Заключительный этап исследования – визуальный анализ выделенных частиц с помощью оптического микроскопа.

Для анализа использовался микроскоп Микмед-5, работающий в режиме проходящего света при увеличении 400× (объектив 40×, окуляры 10×). Для документирования микрофотографий использовался видеоокуляр ToprCam с разрешением 2592×1944 пикселей, что позволяет получать детальные изображения микрочастиц [4].

На этом этапе проводится классификация микропластика по форме и цвету. Чаще всего встречаются: волокна (около 60% от общего количества частиц) – нити, напоминающие текстильные волокна, пленки (25%) – тонкие и прозрачные кусочки пластика, гранулы (15%) – мелкие округлые частицы. Размер выделенного микропластика варьировался от 100 до 500 мкм, что соответствует типичным размерам загрязняющих частиц, которые обнаруживаются в водоёмах [6].

В отдельном эксперименте изучалась способность хитозана, природного полисахарида, связывать микропластик и осаждать его из воды.

Для эксперимента использовали три типа хитозана: порошковый, гранулированный и химически модифицированный. Каждый образец высушивался при температуре 60 °С в течение суток, затем взвешивался и добавлялся в пробу воды с микропластиком. Концентрация хитозана в воде варьировалась: 0,1 г/л, 0,5 г/л и 1 г/л.

Пробу интенсивно перемешивали в течение 10 минут, затем оставляли на 2 часа, чтобы хитозан вступил в реакцию с микропластиком. Дополнительно изучалось влияние pH воды (4, 7 и 9) на эффективность процесса.

Эффективность очистки воды от микропластика зависела от типа и концентрации хитозана:

- Гранулированный хитозан показал лучшие результаты, удаляя до 80% частиц при концентрации 0,5 г/л.
- Порошковый хитозан связывал 70% микропластика.
- Химически модифицированный хитозан, благодаря улучшенной сорбционной способности, достигал 85% эффективности.

Оптимальный уровень pH для очистки установлен в значении 7 – в нейтральной среде процесс протекал наиболее эффективно. В кислых (pH 4) и щелочных (pH 9) условиях эффективность снижалась до 65–70%, что связано с изменением зарядов частиц и их взаимодействием с сорбентом [7–9].

Проведенные исследования подтвердили, что хитозан является эффективным средством для удаления микропластика из воды. Наиболее успешной оказалась комбинация гранулированного хитозана в концентрации 0,5 г/л при нейтральном pH.

Эти результаты могут быть использованы для разработки новых технологий очистки природных и питьевых вод от микропластика, что особенно актуально в условиях растущего загрязнения окружающей среды.

Результаты экспериментов подтверждают, что хитозан является эффективным средством для удаления микропластика из воды. Оптимальными условиями очистки являются применение гранулированного хитозана в концентрации 0,5 г/л при pH 7. Эти данные могут быть полезны при разработке экологически безопасных водоочистных технологий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема Мирового океана // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – Вып. 10, № 1. – С. 159–162.
2. Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В. и др. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива // Водные ресурсы. – 2020. – Вып. 47, № 4. – С. 411–420.
3. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. К вопросу о проблеме микропластика в континентальных водоемах // Российский журн. прикладной экологии. – 2019. – № 2. – С. 60–64.
4. Ильина О.В., Колобов М.Ю., Ильинский В.В. Пластиковое загрязнение прибрежных поверхностных вод среднего и южного Байкала // Водные ресурсы. – 2021. – Вып. 48. – С. 42–51.
5. Ефимова И., Багаева М., Багаев А. и др. Генерация вторичных микропластиков в зоне разбушевавшихся вод моря с грубыми донными отложениями: лабораторные эксперименты // *Frontiers in Marine Sci.* – 2018. – № 5. – С. 313.
6. Казмирук В.Д. Микропластик в окружающей среде. Нарастающая проблема планетарного масштаба. – М.: Ленанд, 2020. – 320 с.
7. Трубецков Р., Браунбек Т., Грумт Т. и др. Роль нано- и микропластиков в пресноводных экосистемах. Критический обзор // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2019. – Vol. 110. – P. 375–392.
8. Taranovskaya E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Technology for obtaining and using granulated absorbents based on chitosan // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2016. – V. 52. – №. 5. – P. 357–361.
9. Очистка сточных вод с применением хитозана Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Алферов И.Н., Морев П.В. Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 322–325.

УДК 628.334.51

Ф.Г. Тарасевский, В.Л. Баденко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УСТРОЙСТВО ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА

Цель работы разработать устройство, обеспечивающее формирование нефтяных плёнок в открытом турбулентном потоке.

В рамках настоящей работы решены задачи:

- определение требуемых скоростей внутри устройства;
- разработка цифрового двойника устройства;
- формирование граничных условий и решение задачи в программе гидродинамического моделирования.

Актуальность работы заключается в разработке устройства, обеспечивающего возможность контроля утечек нефтепродуктов в турбулентных открытых потоках при помощи устройств детектирования нефтяных плёнок [1, 2].

Методы исследования: в настоящей работе авторами применялся метод математического моделирования гидродинамических процессов.

Зачастую, суть конструкции, обеспечивающей гашение энергии потока, заключается в изменении вектора скорости жидкости и направления его вдоль профиля водовода, тем самым устраняя вихревое движение, обычно такие конструкции используются в закрытых трубопроводах. Также, известны конструкции, осуществляющие гашение напора, в открытых водоемах. Их существенным недостатком является разрушение структуры поверхности жидкости, что недопустимо в случае задачи осуществления экологического мониторинга, при котором необходимо локально обеспечить условия для формирования нефтяного пятна из эмульгированных частичек нефтепродукта, находящихся в потоке с возможностью их регистрирования прибором, осуществляющим лазерное зондирование поверхности жидкости внутри разрабатываемой конструкции. Основным принципом, заложенным в разработанную конструкцию – является всплытие эмульгированных частичек масла, находящихся вблизи поверхности потока за счет разницы плотностей между нефтепродуктом и водой.

Время, необходимое для всплытия эмульгированных частичек нефтепродукта, находящихся в потоке анализируемого стока, зависит от скорости их всплытия на поверхность жидкости за счет разности плотностей сточной воды и нефтепродукта [3].

Для эффективности расчета, выбран сегмент устройства гашения энергии потока, высотой 300 мм. Сегмент выбран таким образом, чтобы обеспечить геометрическую целостность перфорационных отверстий тела. Сегмент изображен на рисунке 1.

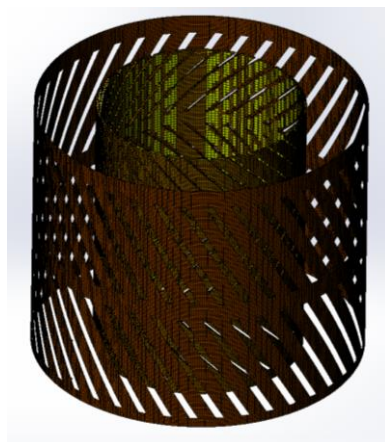


Рис. 1. Сегмент устройства с сеткой

Моделирование работы устройства гашения энергии потока осуществлялось в программном комплексе FlowSimulation на базе SolidWorks [4–7].

Созданная сетка содержит в себе 689 000 элементов, что обеспечивает высокую точность расчета.

Расчет создан со следующими условиями:

- текучая среда: вода;
- скорость потока: 0,4–1,0 м/с (с шагом 0,2 м/с);
- температура потока 10–30 С°.

Результаты: на рисунке 2 наглядно видна эффективность работы успокоителя – за его пределами скорость 1 м/с, при том, как внутри конструкции удалось достигнуть скорость <0,05 м/с.

Для наглядности, отдельно выделено распределение скорости во внутренней части устройства. График распределения скорости внутри конструкции представлен на рисунке 2.

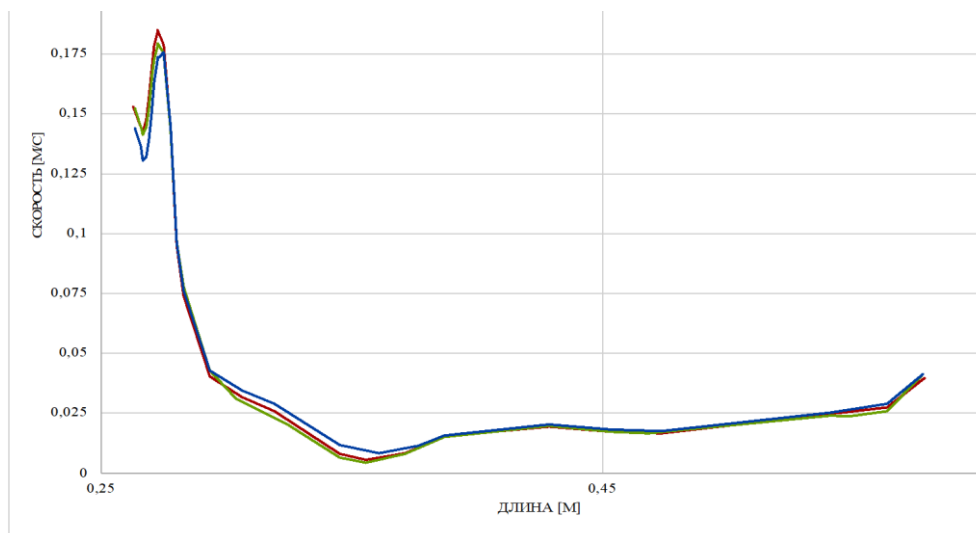


Рис. 2. График скорости внутри конструкции

При заданной скорости перемещений потока внутри конструкции гасителя энергии, проведен расчет возможной глубины всплытия для частичек нефтепродуктов размером от 0,01 до 0,1 см. Результаты представлены в таблице 1.

По результату расчетов наглядно видно динамику изменения скорости всплытия частичек нефтепродуктов в зависимости от температуры потока жидкости. Анализируя результаты, можно сделать вывод о том, что представленная конструкция эффективно обеспечит всплытие частичек нефтепродуктов до глубины 86 см и формирование тонких нефтяных плёнок, доступных для детектирования. Данный метод позволит проводить мониторинговые исследования водных объектов по нефтепродуктам и оценить качество очистки вод [8].

Таблица 1 – Результаты расчета возможной глубины всплытия

d_n , см	t , °C	v , см/с	$h_{вспл}$, см
0,01	5	0,033	0,40
	10	0,040	0,48
	20	0,055	0,66
	30	0,072	0,87
0,1	5	3,349	40,18
	10	4,005	48,07
	20	5,501	66,01
	30	7,224	86,69

Выводы: в рамках работы авторами представлены результаты разработки устройства гашения энергии потока, обеспечивающего формирование нефтяных плёнок на поверхности жидкости для их дальнейшего детектирования методом лазерного зондирования водной поверхности. Устройство рассчитывалось для частичек нефтепродуктов размером от 0,01 до 0,1 см.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабенко О.Ю. Исследование негативного воздействия на состояние окружающей среды в Российской Федерации // Сервис в России и за рубежом. – 2015. – №2. – С. 58.
2. Тарасевский Ф.Г., Баденко В.Л. Метод непрерывного контроля наличия и определения концентрации нефтепродуктов в стоках промышленных предприятий // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 3(22). – С. 94–103.
3. Karelin, Ya.A. Ochistka stochnykh vod neftyanykh promyslov i zavodov [Wastewater treatment of oil fields and factories]. Moscow: Stroyizdat. – 1982. – 184 p.
4. Yuan, S., Zou, Z., Zou, L. Uncertainty quantification of hydrodynamic forces on the DTC model in shallow water waves using CFD and non-intrusive polynomial chaos method. – Ocean Engineering. – V. 198. – 2020.
5. Harnsihacacha, A., Piyapaneeekoon, A., Kowitwarangkul, P. Physical water model and CFD studies of fluid flow in a single strand tundish. – Materials Today: Proceedings. – 2018. – V. 5(2). – Pp. 9220–9228.
6. Rauen, W.B., Binliang, L., Falconer, R. CFD and experimental model studies for water disinfection tanks with low Reynolds number flows. – Chemical Engineering Journal. – 2008. – V. 137. – Pp. 550–560.
7. Chengqian, W., Shaowei, L., Wuhua, D., Shuo, C. CFD Simulations of the Air/Water Two-phase Flow in an Annular Centrifugal Contactor. – Energy Procedia. – 2013. – V. 39. – Pp. 467–473.
8. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью сорбентов -отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной отраслей промышленности. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 9. С. 43

УДК 628.515

Ф.Г. Тарасевский, В.Л. Баденко
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОТОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Цель исследования: рассмотреть эффективность применения безреагентных флуоресцентных датчиков в качестве инструмента непрерывного контроля концентрации растворенных нефтепродуктов в потоке.

В рамках настоящей работы решены задачи:

- выбор средства осуществления измерения;
- разработка метода осуществления поточного измерения массовой концентрации нефтепродуктов;
- апробация предлагаемого метода.

Актуальность данной работы заключается в том, что на сегодняшний день контроль массовой концентрации нефтепродуктов осуществляется преимущественно методом ручного пробоотбора. Данный метод не позволяет оперативно детектировать сверхнормативную концентрации нефтепродуктов в потоке жидкости [1].

Методы исследования: измерение массовой концентрации ПАУ флуоресцентным методом, сравнение с измерениями массовой концентрации нефтепродуктов согласно ПНД Ф 12.15.1-08.

В качестве прибора измерения массовой концентрации нефтепродуктов выбран потоковый измеритель массовой концентрации полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) EnviroFlu от компании TriOS. Данный прибор является флуориметром, так как EnviroFlu проводит измерения массовой концентрации ПАУ [мкг/дм³] посредством измерения интенсивности флуоресценции потока [2]. ПАУ представляют собой органические соединения, с характерным наличием в химической структуре трех и более конденсированных бензольных колец. При помощи данного показателя возможно определить массовую концентрацию нефтепродуктов в анализируемом потоке [3]. Регулярность проведения измерения EnviroFlu один раз в 10 с. Датчик enviroFlu и контроллер занесены в реестр средств измерений как приборы измерения массовой концентрации нефтепродуктов (номер регистрации № 77328-20).

В рамках настоящей работы авторами определены факторы, влияющие на проведение потокового измерения массовой концентрации нефтепродуктов при помощи измерения массовой концентрации ПАУ. Ввиду того, что измерения концентрации нефтепродуктов проводятся зачастую в природных водах, то в них имеется фоновая концентрация ПАУ [4–6], изменяющаяся от сезона к сезону. Также, изменение концентрации ПАУ имеет зависимость от изменения температуры анализируемого потока. Интенсивность затухания флуоресценции имеет прямую зависимость от температуры измеряемой жидкости [6, 7].

Для решения задачи учета влияния температуры и фоновой концентрации ПАУ авторами создан математический алгоритм, обеспечивающий пересчет массовой концентрации ПАУ, на массовую концентрацию нефтепродукта. Данный алгоритм позволяет осуществлять непрерывный контроль за состоянием потока, по концентрации растворенных нефтепродуктов минуя изменение фоновой концентрации ПАУ и температурных изменений потока. Данный алгоритм имеет следующие особенности:

- алгоритм предусматривает сравнение двух массивов измерений (с одинаковым количеством измерений в 18 шт.);
- сравнение массивов измерений происходит регулярно (10 с), за счёт чего минимизируется влияние как фоновой концентрации, так и влияние изменения температуры анализируемого потока.

Графически, массивы измеряемых данных изображены на рисунке 1.

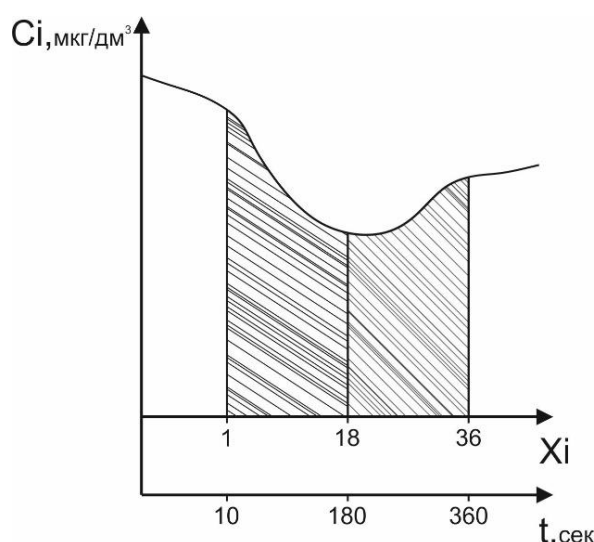


Рис. 1. Визуальное отображение сравниваемых массивов измерений

Определение массовой концентрации нефтепродуктов (мг/дм³) происходит по формуле (1).

$$C_i = \left(\int_1^{18} f(x) dx - \int_{19}^{36} f(x) dx \right) k / 18000, \quad (1)$$

где k – коэффициент, обеспечивающий пересчет массовой концентрации ПАУ, мкг/дм³, в массовую концентрацию нефтепродукта, мг/дм³.

Коэффициент k , определен эмпирически для подконтрольного нефтепродукта или их смеси.

Результаты: в рамках определения работоспособности предлагаемого метода авторами осуществлена сверка между показаниями аккредитованной химической лаборатории и разработанной системы, работающей по представленному алгоритму. Результаты сверки сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты сверки

№ п/п	Результат лаборатории, мг/дм ³	Результат программы, мг/дм ³
1	0,169±0,059	0,2±0,08
2	0,082±0,029	0,065±0,026
3	0,059±0,021	0,039±0,016
4	0,068±0,024	0,069±0,028
5	0,057±0,020	0,076±0,031
6	0,069±0,021	0,048±0,02
7	0,077±0,027	0,061±0,025
8	0,078±0,027	0,1±0,04
9	0,094±0,029	0,121±0,049
10	0,060±0,021	0,075±0,03
11	0,057±0,020	0,063±0,026
12	0,061±0,021	0,054±0,022
13	0,055±0,019	0,063±0,026
14	0,056±0,019	0,053±0,022
15	0,055±0,019	0,065±0,026

Показания химической лаборатории получены в результате проведения пробоотбора по методике ПНД Ф 12.15.1-08.

Показания лаборатории сравнивались с показанием разработанной системы экологического мониторинга, работающей по представленному алгоритму. В случае превышения ПДК (0,05 мг/дм³), в программе анализировался предварительный временной промежуток, поскольку нефтепродукты в нерастворенной форме могли быть детектированы системой ранее и остаться на оптической части датчиков, вызывая неточности измерений.

По результатам сверки, сходимость в части фиксирования сверхнормативной концентрации нефтепродуктов – 100%.

Выводы: в рамках работы авторами представлены результаты применения безреагентных флуоресцентных датчиков для измерения массовой концентрации нефтепродуктов в потоке. Определены факторы, влияющие на проведение потокового измерения концентрации нефтепродуктов. Представлен алгоритм, обеспечивающий потоковое определение массовой концентрации нефтепродуктов с учётом изменения фоновых концентраций ПАУ и изменением температуры измеряемого потока. Представлены результаты сверки показаний разработанной системы и аккредитованной химической лаборатории, сходимость составила 100%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабенко О.Ю. Исследование негативного воздействия на состояние окружающей среды в Российской Федерации // Сервис в России и за рубежом. – 2015. – №2. – С. 58.
2. Ожегов Э.А. Изучение возможности использования полиароматических углеводородов нефти для идентификации нефтяных загрязнений // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2013. – №2.
3. Тарасевский Ф.Г., Баденко В.Л. Метод непрерывного контроля наличия и определения концентрации нефтепродуктов в стоках промышленных предприятий // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 3(22). – С. 94–103.
4. Копыльцова А.Б., Тарасов Б.П. Проблемы поточного контроля нефтепродуктов в воде // Контроль качества продукции. – 2020. – № 2.
5. Копыльцова А.Б., Тарасов Б.П. Лабораторный контроль нефтепродуктов в воде: условность или истина? // Контроль качества продукции. – 2020. – № 1. – С. 55–63.

6. Чайковская О.Н., Нечаев Л.В. Взаимодействие полициклических ароматических углеводородов с органическим веществом почв и водных осадков // Издательский Дом Томского государственного университета. – 2017. – С. 124.
7. Шамирзаев В.Т. Люминесцентный контроль загрязнения воды тяжелыми фракциями нефтепродуктов // Известия Российской академии наук. – Серия физическая. – 2015. – № 2. – С. 186.

УДК 502.55

П.Н. Кинчин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОРЯДОК ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ВО ВНУТРЕННИХ МОРСКИХ ВОДАХ И В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ МОРЕ

Крупные инциденты на воде: кораблекрушения, аварии на объектах судоходства, разливы в результате проколов или прорывов трубопроводов – несмотря на всевозможные предосторожности, до сих пор актуальная проблема как для Российской Федерации, так и для всего остального мира.

Каждый такой случай, независимо от того, что стало его причиной, влечёт за собой тяжёлый вред: экономический ущерб, связанный с локализацией и ликвидацией аварии, ущерб, понесённый владельцами объекта в период простоя, вред для экологии – отложение мазутной плёнки на дне, урон по местным представителям флоры и фауны, долгосрочные последствия, проявляющие себя в зависимости от индивидуальных особенностей региона.

Для оптимизации процессов локализации и ликвидации аварий на воде производится разработка мероприятий, позволяющих максимально эффективно распорядиться силами и средствами, привлекаемыми к устранению инцидента на всех этапах его возникновения. Целью данной работы является изучения данных мероприятий, создание аналитической базы для отдельно взятого региона исследования, внедрение современных методов просчёта распространения нефтепродуктов в процесс разработки данных мероприятий по локализации и ликвидации аварии.

Задачами, поставленными в ходе её достижения, являются:

1. Изучение (исследование) гидрометеорологических условий региона.
2. Прогнозирование возможных инцидентов в рассматриваемой акватории.
3. Изучение химических свойств веществ на основе определения наиболее распространённых фракций, применяемых в рассматриваемых видах деятельности.

Объектом исследования, в рамках данной работы, является акватория Балтийского моря и относящийся к нему Финский залив. Рассмотрим, в качестве примера, один из инцидентов, произошедших в данной акватории, и его последствия для экологической ситуации региона. Им является диверсия на объектах «Северный поток» и «Северный поток-2»: по оценкам программы ООН по окружающей среде, основанным на многочисленных симуляциях аварии, а также по итогам наблюдений Немецкого центра авиации и космонавтики, результатом данных взрывов стал выброс метана, составляющий от 23 до 75 килотонн. По оценкам специалистов, объём выброшенного метана не станет причиной долговременных негативных последствий – показатели концентрации метана в воде, на сегодняшний день, не превышают нормы.

Однако, произошедший подводный взрыв будет иметь другие, менее явные последствия: по оценкам учёных Орхусского университета в Дании, опубликованных в журнале Research Square [1], он может нанести серьёзный ущерб популяции вымирающих видов морских животных, обитающих в зоне аварии. Также, ударная волна спровоцировала поднятие в верхние слои придонных отложений толщиной до пяти сантиметров. Ситуация усугубляется также фактом активной транспортной эксплуатации региона, что подразумевает, в том числе,

оживлённое судоходство, разносящее данную взвесь. Свою лепту также вносит отсутствие сильных течений, что не способствует снижению её концентрации на поверхности воды.

Также, из менее значимых инцидентов, можно рассмотреть сразу два разлива, произошедших в 2024 году. Один из них произошёл при заправке судна дизельным топливом, данный инцидент имел место в морском порту Санкт-Петербурга. Второй имел место в Кронштадте – в ходе разборки наполовину затопленного судна, расположенного в порту Бронка, тогда в воду излилось некоторое количество нефтепродуктов.

Однако, истории рассматриваемого сегодня региона – Балтийского моря, известны и куда более крупные техногенные катастрофы, связанные с эксплуатацией судов: к примеру, нефтяное загрязнение в Балтийском море, в 2003 году. Данная авария имеет много общего с экологической катастрофой, произошедшей в конце 2024 года, из-за разлома корпусов двух нефтяных танкеров, «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239». На начальном этапе возникновения аварийной ситуации установление её происхождения также вызывало вопросы: рассматривали различные варианты, от выброса мазута в результате затопления китайского судна «Фу Шанхай», до разлива нефтепродуктов в ходе добычи на платформы Д-6 в Балтийском море, принадлежавшей компании «Лукойл». Так или иначе, последствием данного разлива стало загрязнение более чем 200 км побережья Балтийского моря, а также выброс в воду 40 т нефтепродуктов. Отсутствие конкретной информации об инциденте, как понятно из описанного выше, также являлось затрудняющим фактором для расследования, локализации и ликвидации аварии.

Одной из обозначенных задач исследования является изучение (исследование) гидрометеорологических условий региона. В рамках данной задачи формируется массив данных, основанный на многолетних исследованиях данной акватории. Производится исследование гидрометеорологических условий шельфовой зоны Балтийского моря [2], учитываются особенности водного ресурса, в том числе на основе данных Невско-Ладожского Бассейнового Водного Управления. Для достижения целей исследования поставлена задача сформировать массив данных, касающихся особенностей движения воздушных масс и ветрового волнения в регионе, производится его моделирование на основе прямоугольных и неструктурных сеток, согласно реанализу NCEP/CFSR [3]. Данная система прогнозирования климата включает информацию, собранную на протяжении более 30 лет, для прогнозирования изменений климата, она выстроена, в том числе, на основе взаимодействия сушим, водных поверхностей и ледовых полей.

Для формирования массива данных, необходимых для достижения целей данной работы, также используются открытые многолетние данные, которые собираются силами Финского метеорологического института: температура, направление ветра, влажность – факторы, способные повлиять на формирование и распространение нефтяного пятна в случае возникновения аварии. Помимо отечественных источников информации, массив данных формируется также на основе информации, собираемой иностранными источниками – такими как European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) [4-7].

На основе собранных данных, в последующем, решается вторая задача исследования: прогнозирование инцидентов. Они ложатся в основу моделирования, которое позволяет спрогнозировать возможные направления распространения нефтяного пятна, а следовательно – районы, которые, потенциально могут быть затронуты аварией в рассматриваемой зоне. Анализ возможных инцидентов на воде производится на основе данных судоходной лоции [8] по территории Балтийского моря и Финского залива. Лоция внутренних судоходных путей формирует безопасные навигационные курсы, предупреждает экипаж судов о зонах опасности, позволяет ориентироваться на незнакомых участках пути и быстрее преодолевать их. Настолько комплексный подход к многолетнему сбору данных, и их регулярному обновлению, позволяет свести к минимуму шанс непреднамеренных инцидентов на воде, а следовательно – и возникновения ситуаций, которые могут привести к разливам нефти и нефтепродуктов.

Наконец, третьим этапом исследования является анализ химических соединений, наиболее вероятно подверженных попаданию в окружающую среду. В основу данного исследования закладываются химические и физические свойства наиболее распространённых фракций химических веществ, разлив которых вероятен при возникновении инцидентов на воде [9]. Это необходимо для анализа возможного поведения нефтепродуктов при возникновении разлива с учётом климатических и метеорологических условий региона. Собранные данные, в последующем, закладываются в существующую методологию ликвидации разливов нефти. Одним из документов, устанавливающих её, является Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 апреля 2018 г. №169 «Об утверждении Руководства по безопасности «Инструкция по ликвидации возможных аварий на подводных переходах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» [10].

Согласно данному документу, порядок работ по локализации и ликвидации аварий на объектах нефтяного перегона закладывается на этапе введения его в эксплуатацию, в порядке разработки Проекта ликвидации разлива нефтепродуктов, разрабатываемых экспертными организациями. Обозначенные документы содержат информацию о возможных источниках утечки, максимально возможных объёмах выбросов нефтепродуктов, данные о единой системе управления объектом и её действиях для устранения разлива. Однако, в первую очередь данные планы направлены на устранение первичных последствий, не затрагивая долгосрочных: продолжительный разлив нефти при повреждении судна, трубопровода, скважины, воздействие погодных условий. Цели, достигаемые в рамках данной работы направлены на внедрение подобной методологии в разработку планов ликвидации, для более точного прогнозирования и оперативного реагирования на возникновение аварии, в масштабах исследуемой акватории Балтийского моря.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Environmental impact of sabotage of the Nord Stream pipelines [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-2564820/v1>; (дата обращения: 24.02.2025).
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3: Балтийское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 72 с.
3. Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFSR. Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Медведев И.П., Архипкин В.С., Кречик В.А., Добролюбов С.А. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, № 362, с. 37-54.
4. Разработка геоинформационной системы для хранения, обработки и представления данных экологических исследований: дис. д-ра философии. Бостанбеков К.А. Международный университет информационных технологий, Алматы, 2018.
5. Финский метеорологический институт. URL: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/>
6. Архив фактической погоды – Москва. URL: <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda> (дата обращения 02.02.2024). – Текст: электронный.
7. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5 Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>; (дата обращения: 02.02.2024).
8. Судходная лоция. Балтийское море. Финский залив. От пролива Бьёркёзунд до острова Высоцкий с бухтой Ключевская: морская навигационная карта / сост. и подгот. к печати издательством «Управление навигации и океанографии МО РФ»; М 1:25 000 – 1 л. (1 карта): многокрас;
9. Химическая энциклопедия: в 5 т. / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. – М. : Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1 : Абл-Дар. – 623 с.
10. Об утверждении Руководства по безопасности «Инструкция по ликвидации возможных аварий на подводных переходах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору №169 [утверждён 12 апреля 2018 года]. – Доступ из справ.-правовой системы Гарант. – Текст: электронный.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЯНОГО ГИАЦИНТА
ПРОТИВ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Ежегодно в водоемах Северо-Запада России наблюдается «цветение» воды, сопровождающееся интенсивным развитием сине-зелёных микроводорослей (цианобактерий), в том числе образующих токсины. Присутствующие в водоемах Северо-Западного региона цианобактерии синтезируют в основном цианотоксины двух типов – нейротоксины и гепатотоксины, названные по соответствующим клиническим синдромам отравления [1]. Массовому развитию цианобактерий способствует эвтрофирование водоемов, а само цветение воды является мощным стрессором для водных экосистем и влечет за собой негативные последствия при рекреационном, хозяйственном и питьевом использовании водоемов [2]. Применяемые в настоящее время механические, физические и химические меры по предотвращению цветений являются малоэффективными. Перспективным является применение фиторемедиационных методов, широко применяемого для очистки вод от различных поллютантов [3, 4]. К фиторемедиационному методу можно отнести использование растения эйхорния (водяной гиацинт). Поэтому целью работы является анализ литературных данных по использованию эйхорнии для предотвращения развития цианобактерий и определение перспектив по применению водного гиацинта против цианобактериального цветения водоемов.

Использование растений получило широкое распространение в первую очередь в очистке сточных вод. Для этого создают фитоочистные системы (ФОС). Для функционирования ФОС используют многолетние макрофиты. Самыми распространенными видами макрофитов для ФОС являются рогозы, камыши, айры, ирисы, тростник, калужница болотная, лютик водяной, рдест курчавый и др. Все они способны наращивать большое количество биомассы и, следовательно, нуждаются для ее накопления в большом количестве биогенных элементов [5].

Водяной гиацинт или эйхорния (*Eichornia crassipes*) – теплолюбивое водное растение семейства Понтедериевые, родиной которого считается Бразилия. Эйхорнию активно используют в системах биологической очистки сточных вод. В таких системах создаются специальные пруды или каналы, где высаживаются растения. Проходя через них, сточная вода подвергается естественной фильтрации, а эйхорния удаляет из неё значительную часть вредных примесей. Эйхорния способна очищать воду от хлоридов, сульфатов, аммонийной соли, нитратов, фосфатов, нефтепродуктов, ХПК, СПАВ, взвешенных веществ. Корни эйхорнии, глубоко погруженные в воду, играют ключевую роль в процессе очистки. Они активно поглощают из воды биогенные элементы, которые обычно вызывают эвтрофикацию водоемов. Кроме того, эйхорния способна аккумулировать в своих тканях тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий и ртуть. Это свойство делает её ценным инструментом в борьбе с промышленными загрязнениями, когда требуется удаление опасных химических соединений из водоемов [6, 7]. Несмотря на способность к аккумуляции загрязнений, повсеместное использование эйхорнии вызывает опасения специалистов, поскольку эйхорния является сорняком, чрезвычайно быстро размножается и эффективно подавляет другие водные растения. Огромные проблемы в ограничении распространения эйхорнии уже возникли в странах Западной Африки и Юго-Восточной Азии [8, 9]. Тема по применению эйхорнии против цианобактериального цветения водоемов, в литературе раскрыта недостаточно подробно. Известно, что макрофиты и микроводоросли имеют антагонистические отношения в водных экосистемах. Конкурируя за доступ к запасам питательных веществ, макрофиты способны выделять вещества, способные подавлять рост микроводорослей и цианобактерий [10]. В исследовании [11] было показано, что соединения,

содержащиеся в экстракте эйхорнии, оказывают противоводорослевую активность по отношению к микроводорослям *Chlorella vulgaris* и *Dictyochloropsis splendida*, а также цианобактериям *Spirulina platensis* и *Nostoc piscinale*. Таким соединением, представляющим собой природный алыгид, оказывающий ингибирующее действие на микроводоросли и цианобактерии, является N-фенил-2-нафтиламин ($C_{16}H_{13}N$). В своём исследовании [12] авторы показали, что N-фенил-2-нафтиламин способен подавлять рост цианобактерий *Microcystis aeruginosa* и зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*. Получаемый искусственным путём N-фенил-2-нафтиламин, может содержаться и в местах обильного произрастания эйхорнии, и тем самым ингибировать рост цианобактерий.

Принимая во внимание такие характеристики эйхорнии как высокая скорость роста, высокая эффективность поглощения и биоаккумуляции токсикантов и биогенов, выделение в воду биологически активных веществ, ингибирующих рост цианобактерий, авторами данной работы предлагаются следующие этапы по использованию эйхорнии против цианобактериального цветения водоемов:

1. Культивирование эйхорнии в искусственных условиях для последующей высадки в водоём. Авторами настоящего исследования подобраны оптимальные условия культивирования для сохранения эйхорнии в зимний период. Подобранные условия включают в себя размещение растений в аквариумах объёмом 50 л, аэрацию с интенсивностью 1,5 л/мин, освещение светодиодными лампами сине-красного спектра, мощностью 8 Вт, со световым режимом 16 ч день/ 8 ч ночь, поддержка постоянной температуры воды на уровне 20°C с помощью терморегуляторов, использование питательной среды с содержанием в %: железа 0,15; калия 1,2; магния 0,08; марганца 0,05; цинка 0,002; меди 0,002; бора 0,006; молибдена 0,003.

2. Культивирование эйхорнии в воде исследуемого водоёма в искусственных условиях и оценка скорости роста. В ходе лабораторных исследований требуется изучить влияние растений, на содержание в воде ионов PO_4^{3-} , NO_2^- и NH_4^+ . Оценку скорости роста следует проводить по следующим показателям: количество листьев, длина черешка листа, длина и ширина листовой пластинки, длина основного и дочерних побегов (розеток), средняя и максимальная длина корней, биомасса.

3. Определение оптимальной площади покрытия поверхности водоема растениями и их требуемое количество. При проведении подобных расчётов могут возникнуть трудности, поскольку участки цианобактериального цветения могут быть локальны, или наоборот иметь большой масштаб. Поэтому первоначально стоит определить площадь участка с цианобактериальным цветением. Количество эйхорнии которое требуется вселить, предлагается рассчитывать по формуле (1):

$$N = \frac{A}{S}, \quad (1)$$

где N – необходимое количество растений, шт.; A – площадь участка цветения m^2 ; S – площадь покрытия одного растения (около 0,25–0,50 m^2).

4. Вселение эйхорнии в водоем на участках цианобактериального цветения. Площадки внесения должны быть огороженными. После вселения необходимо осуществлять мониторинг за состоянием растений и водоёма. Вселение эйхорнии рекомендуется проводить в периоды до активного цветения водоёмов, для предупреждения массового развития цианобактерий, либо, в периоды цветения непосредственно на локализуемый участок.

5. Механический сбор и дальнейшее использование эйхорнии. Во избежание чрезмерного распространения эйхорнии по акватории водного объекта, требуется проводить механический сбор растений. После такого рода использования, эйхорния представляет интерес для применения в сельском хозяйстве или биотехнологии. Собранную биомассу растений можно использовать для силосования или экстракции ценных компонентов (полисахаридов)

Проведя анализ литературных данных по использованию эйхорнии для предотвращения развития цианобактерий, можно сделать вывод о том, что данное направление является перспективным и представляет научный интерес, а эйхорния является потенциальным средством против цианобактериального цветения водоемов. Однако для подтверждения данных заключений, требуется проведение серии экспериментов согласно вышеизложенным этапам, в природных и климатических условиях Северо-Западного региона.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Русских Я.В. и др. Определение цианотоксинов в водной матрице методом высокоэффективной жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии высокого разрешения // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2012. – № 17. – С. 061–066.
2. Дрозденко Т.В., Александрова С.М., Антал. Т.К., Тихомирова Е.И. Структурные показатели и токсичные виды цианобактерий Псковского озера // Поволжский экологический журнал. 2022. № 4. С. 388–399.
3. Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Валиев Р.Ш. Извлечение тяжелых металлов из загрязненных стоков с использованием адсорбентов и фитосорбентов. Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 11. С. 18–23.
4. Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Тарушкина Ю.А., Стоянов А.В. Влияние магнитного поля на процессы извлечения тяжелых металлов из сточных вод ряской. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2008. № 8. С. 41–43.
5. Иванова Л.А. и др. Пора очищать Арктику. Создание фитоочистной системы для доочистки сточных вод горнорудных предприятий от минеральных соединений азота. – Апатиты: Издательство Кольского научного центра. – 2021. – 88 с.
6. Абуова Г.Б., Харламова А.Э., Сардина А.С. Эффективность применения водного гиацинта (*Eichornia crassipes*) при доочистке сточных вод. – Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. – № 1 (39). – С. 33–37.
7. Холодова С.Н., Рудиков Д.А. О возможности применения водного гиацинта для очистки загрязненных вод // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №3 (79).
8. Данилов К.П. и др. Проблемы, связанные с интродукцией новых видов растений в нативный фитоценоз // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 6. – С. 51–52.
9. Beznosov V.N., Suzdaleva A.L. Invasions of thermophilic aquatic vegetation as a threat of an emergency situation at nuclear power facilities. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena. – 2023. – V. 5. – № 3. – pp. 264–277.
10. Hasler A.D., Jones E. Demonstration of the antagonistic action of large aquatic plants on algae and rotifers // Ecology. – 1949. – V. 30. – № 3. – С. 359–364.

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 621.316

Е.Ю. Терехов, В.В. Елистратов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСАХ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Цель работы – оценить потенциал применения интеллектуальных технологий для проектирования и эксплуатации автономных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии.

Согласно данным Центра по эффективному использованию энергии [1], 65% территории России относятся к зоне децентрализованного энергоснабжения. При этом не менее 700 тыс. человек, преимущественно в Дальнем востоке и Арктической зоне, используют автономную генерацию, суммарной мощностью 840 МВт при установленной мощности отдельных объектов от 0,5 до 60 МВт [2].

Электроснабжение таких потребителей происходит за счет дизельных электростанций (ДЭС). Ежегодное потребление дизельного топлива на ДЭС с учетом затрат жидкого топлива составляет приблизительно 1 млн т [1]. Углеродный след от использования ДЭС на удалённых и изолированных территориях (с учетом удельного значения выбросов парниковых газов для дизельного топлива, равного 3 кг CO₂ экв/кг) составляет не менее 3 млн т CO₂ экв в год.

Альтернативными энергоресурсами для удаленных и изолированных энергообъектов являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Международный опыт эксплуатации гибридных энергокомплексов (ДЭС и ВИЭ) показывает, что стоимость электроэнергии в таких системах составляет от 8,5 до 22,5 руб./кВт·ч (по курсу 2022 года) [1], что на 55-85% ниже средней стоимости электроэнергии ДЭС в удаленных и изолированных районах России.

Однако, для эффективного использования ВИЭ необходимо обеспечить:

- 1) согласование генерации электроэнергии объектов на основе ВИЭ с электрической нагрузкой;
- 2) выбор оптимального состава оборудования автономных энергокомплексов на основе ВИЭ.

Ключевую роль для достижения высоких показателей эффективности и надежности в работе энергокомплексов на основе ВИЭ выполняют системы управления энергокомплексами.

Развитие энергетики тесно связано с цифровизацией и применением интеллектуальных технологий (ИТ) [3]: машинное обучение и интеллектуальные алгоритмы, интернет вещей (Internet of Things), цифровые двойники (Digital Twin) и прочие.

Применительно к автономным энергокомплексам на базе ВИЭ возможными перспективными направлениями использования ИТ могут быть следующие (таблица 1).

Данные технологии могут стать решением современных вызовов возобновляемой энергетики.

Во-первых, они могут быть использованы на этапе проектирования для оптимизации параметров оборудования и режимов работы энергокомплексов, тем самым снижая капитальные затраты и стоимость производства электроэнергии [4].

Во-вторых, интеллектуальные технологии могут использоваться на этапе эксплуатации энергокомплексов для прогнозирования генерации ВИЭ и нагрузки, «управления спросом» и контроля состояния оборудования, тем самым повышая эффективность работы и надежность таких систем.

Таблица 1 – Интеллектуальные технологии для возобновляемой энергетики

Область применения	Используемые ИТ	Эффект от реализации
Оптимизация размещения объектов ВИЭ	Машинное зрение	Снижение стоимости электроэнергии и срока окупаемости
Оптимизация состава оборудования и режимов работы энергокомплекса	Нейронные сети, Деревья решений	Максимизация доли использования ВИЭ, повышение надёжности, снижение стоимости электроэнергии
Прогнозирование генерации ВИЭ	Нейронные сети, Управление спросом	Оптимизация режимов работы, максимизация использования ВИЭ
Прогнозирование нагрузки		
Контроль и распознавание погодных условий (при помощи датчиков, в том числе фото и видео)	Машинное зрение, Интернет вещей	Уточненное прогнозирование погодных условий
Контроль состояния оборудования (электрических параметров и физического состояния)	Цифровые двойники, Интернет вещей, Машинное зрение	Увеличение срока службы и прогнозирование возможных неисправностей

Примеры отечественных ИТ-проектов в области возобновляемой энергетики единичны и в основном представляют субсидируемые пилотные проекты. Результаты эксплуатации данных проектов показывают: высокую точность краткосрочного прогнозирования генерации ВИЭ (до 96%) [5]; снижение себестоимости производства электроэнергии на 20–30% и возможность полного замещения традиционной генерации за счёт ВИЭ [6]; выявление дефектов солнечных панелей на этапе изготовления с точностью 95% [7]. Следовательно, использование ИТ в возобновляемой энергетике является перспективным направлением, требует дальнейших исследований и широкого внедрения данных технологий.

В качестве примера использования ИТ в энергетике рассмотрена система автономного электроснабжения с интеллектуальным управлением (рисунок 1).

Система автономного электроснабжения включает в себя:

- генерирующее оборудование (солнечная установка, ветроагрегаты и дизель-генератор);
- распределительное устройство (преобразовательное, коммутационное и защитное оборудование);
- систему интеллектуального управления (СИУ);
- электрическую нагрузку;
- накопители.

Принцип работы системы автономного электроснабжения заключается в следующем:

- При достаточном количестве ресурсов ВИЭ электроснабжение нагрузки происходит за счёт ветроагрегатов и солнечной установки, а излишки генерируемой энергии поступают в накопитель;
- При недостатке электроэнергии ВИЭ электроснабжение нагрузки обеспечивается за счёт дизель-генератора или накопителя.

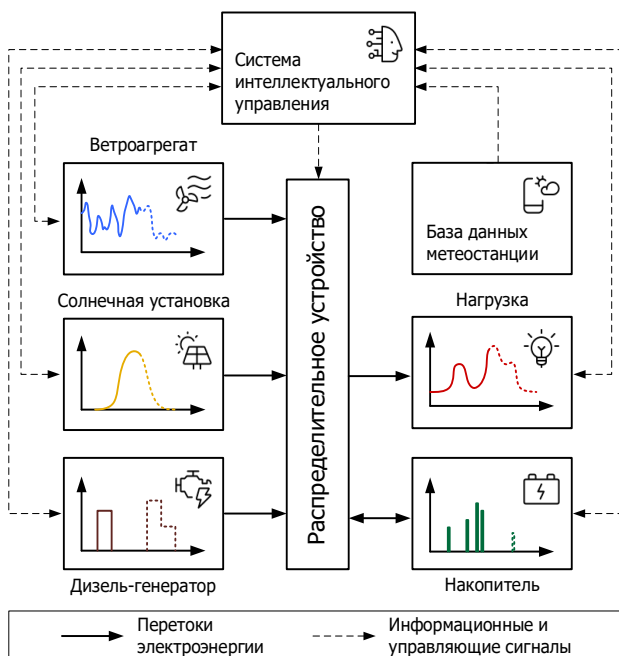


Рис. 1. Структурная схема автономного энергокомплекса на основе ВИЭ с системой интеллектуального управления

В алгоритм работы СИУ заложены следующие принципы:

1. Использование технологии интернет вещей для сбора данных от внешних источников (архивные данные метеостанций и текущие погодные условия) и датчиков (динамика изменения нагрузки и генерации, уровень заряда накопителя, состояние оборудования и погодные условия в районе расположения энергокомплекса за счет машинного зрения);
2. Прогнозирование генерации ВИЭ за счет нейронных сетей, оптимизация нагрузки при помощи технологии управления спросом и определение оптимального режима работы энергокомплекса на основе его цифрового двойника с использованием дерева решений;
3. Передача управляющих сигналов, таких как: включение дизель-генератора, заряд накопителя, изменение угла поворота лопастей и гондолы ветроагрегаты и пр.

Таким образом, ИТ могут быть интегрированы в работу автономных энергокомплексов, тем самым способствуя повышению эффективности и надежности их работы.

Выводы:

1) в России суммарная мощность потребителей, использующих автономную генерацию за счет ДЭС, составляет 840 МВт, что накладывает значительную нагрузку на экологическую обстановку (не менее 3 млн т CO₂ экв в год);

2) наиболее перспективным решением для удаленных и изолированных территорий является использование энергии ВИЭ, но для обеспечения высоких показателей эффективности и надежности в работе данных источников необходимо применять системы управления;

3) использование ИТ (нейронные сети, интернет вещей и цифровые двойники) в работе энергокомплексов на основе ВИЭ позволяет достичь высокой точности прогнозирования генерации ВИЭ, снизить себестоимость производства электроэнергии и максимизировать долю генерации ВИЭ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Низкоуглеродные решения для изолированных регионов России с высокими затратами на энергию [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/Low-Carbon_rus.pdf (Дата обращения: 24.02.2025).
2. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/optimizacziya-sistem-energосnabzheniya-udalennyh-i-izolirovannyh-territorij-za-schet-upravleniya-energeticheskoy-gibkostyu/energetika/2023/17/25/> (Дата обращения: 24.02.2025).
3. Wang Q., Li Y., Li R. Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review. *Energy Strategy Reviews*. 2025; 57: 101600, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101600>.
4. Терехов Е.Ю., Елистратов В.В. Сравнительный анализ систем моделирования и расчета параметров гибридных энергокомплексов / Неделя науки ИСИ: Сб. мат-лов всеросс. конф., Санкт-Петербург: СПбПУ, 2024. С. 120–122.
5. Системный оператор ЕЭС: Нейросети помогают Системному оператору достичь 96-процентной точности прогнозирования выработки ВИЭ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sops.ru/news/press-release/press-release-view/news/24306/?utm_source=perplexity (Дата обращения: 07.03.2025).
6. Инжиниринговый центр "Арктическая автономная энергетика" [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ai.mipt.ru/centers/arctic_autonomous_energy (Дата обращения: 07.03.2025).
7. Наши батареи улучшит нейросеть [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.grani21.ru/pub/nashi-batarei-uluchshit-nejroset> (Дата обращения: 07.03.2025).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА
В КАНАЛЕ С АККУМУЛЯТОРАМИ ХОЛОДА

Цель работы: разработка устройства для измерения и фиксации значений температуры при моделировании процессов тепло- и массопереноса в канале с аккумуляторами холода на специализированном стенде.

Аккумулятор холода представляет собой систему охлаждения, предназначенную для сохранения и накопления энергии при температуре ниже, чем у охлаждаемого объекта. Холод может накапливаться как за счёт естественных источников, так и посредством искусственного охлаждения. В зависимости от требуемого температурного режима, в качестве рабочего тела могут использоваться вещества в твёрдом, жидком или газообразном состоянии [1]. Исследования показывают, что использование систем с аккумулятированием холода, существенно снижает расходы на электроэнергию [2]. Определение температур на разных участках воздушного канала позволяет выявить влияние на эффективность охлаждения воздуха аккумуляторов холода, длительности процессов их заряда и разряда [3].

Первые проведённые эксперименты оказали работоспособность стенда, но выявилось неудобство работы с панелью приборов (рисунок 1). Было принято решение подключить автоматическую систему для передачи получаемых данных непосредственно в компьютер.

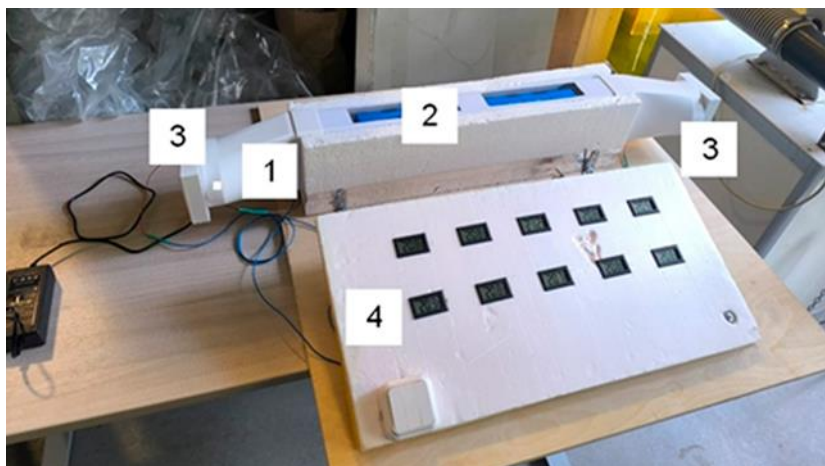


Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда для исследования процессов тепломассопереноса в охлаждаемом воздушном канале с элементами аккумулятирования:
1 – воздушный канал; 2 – ячейка аккумулятора холода; 3 – вентилятор; 4 – панель приборов

В дальнейшем исследовании для снятия показаний с датчиков температуры использовалась плата Arduino Uno, схема работы представлена на рисунке 2. Для достоверности данных показания считывались одновременно с нескольких датчиков.

В разработанном устройстве также используется модуль часов реального времени с возможностью автономной работы от внешнего источника (элемента электропитания). Для удобства визуализации текущих данных при проведении эксперимента и мониторинга установлен четырёхстрочный LCD дисплей. Время проведения эксперимента зависит от многих факторов, таких как емкость аккумуляторов холода, скорости проходящего по каналу воздуха, температуры окружающей среды и т. д.

Для снижения влияния процесса теплообмена воздуха в канале и окружающей среды в установке используется короб из пенопласта. На концах воздушного канала размещены осевые вентиляторы, работающие от напряжения 12 В. Внутри канала расположены аккумуляторы холода. Пять цифровых датчиков температуры DS18B20 размещены следующим образом: на входе в воздушный канал, на первом аккумуляторе, в пространстве канала между аккумуляторами, на втором аккумуляторе, на выходе из воздушного канала. Размещение датчиков и пример работы устройства представлены на рисунке 3, где датчики температуры обозначены T_n .

Устройство считывает показания датчиков с заданным интервалом времени. Фактически можно задавать любой интервал, в нашем случае задавалась одна минута. От значения интервала зависит количество измерений и, следовательно, общий объем полученных данных. Для записи данных был использован модуль SD-карты. Схема подключения модулей представлена на рисунке 4. Полученные данные измерений записываются на съемный носитель в формате Excel. Пример результатов представлен в таблице 1. Такой формат данных позволяет быстро и удобно проводить расчеты показаний и строить графики.

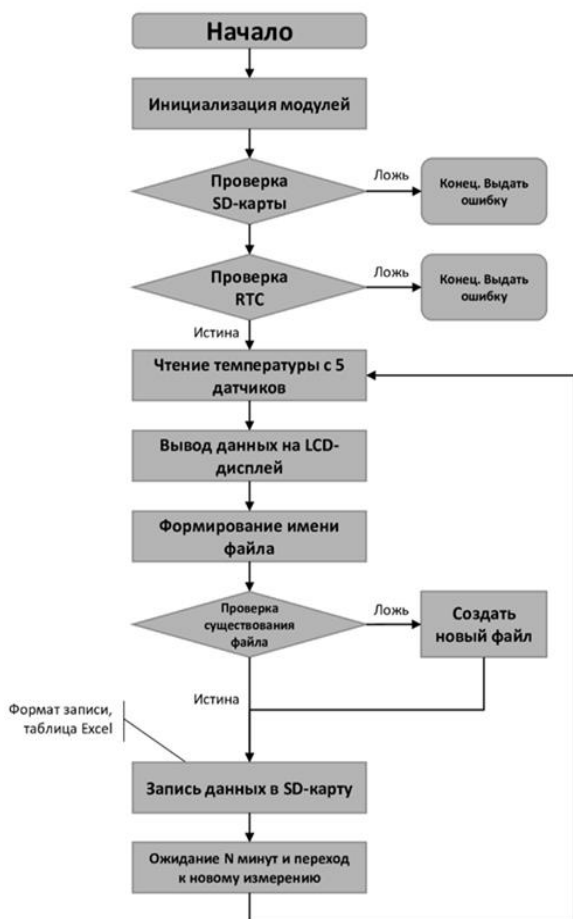


Рис. 2. Блок-схема работы устройства

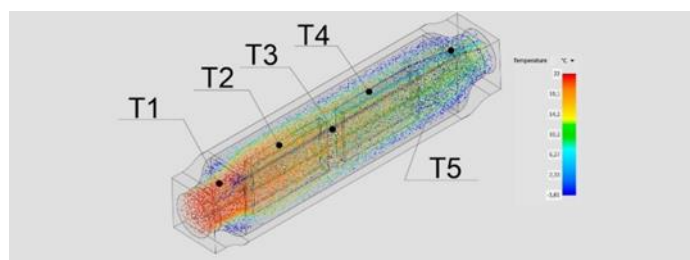


Рис. 3. Компьютерная модель канала с размещением датчиков температуры

Таблица 1 – Запись показаний

Время	T1	T2	T3	T4	T5
15:34:58	19,8	2,4	16,6	8,1	19,9
15:35:58	20,0	-2,3	12,2	-0,4	17,9
15:36:58	20,2	-2,8	11,3	-1,9	17,2
15:37:58	20,1	-2,1	11,4	-1,4	16,9
15:38:58	20,1	-1,2	11,9	-0,4	16,9

В таблице результатов исследования указано время измерения и показания каждого датчика по порядку в соответствии с номером. По указанным данным можно построить зависимость температуры от времени.

Устройство для записи значений температуры при моделировании процессов тепло- и массопереноса в канале с аккумуляторами холода успешно испытано на специализированном стенде. Были получены данные для построения графиков характеристик протекающих в воздушном канале процессов тепло- и массопереноса. Так, в частности, исследование позволило получить количественные характеристики длительности фазового перехода в аккумуляторах холода, среднюю температуру воздуха в канале [4].

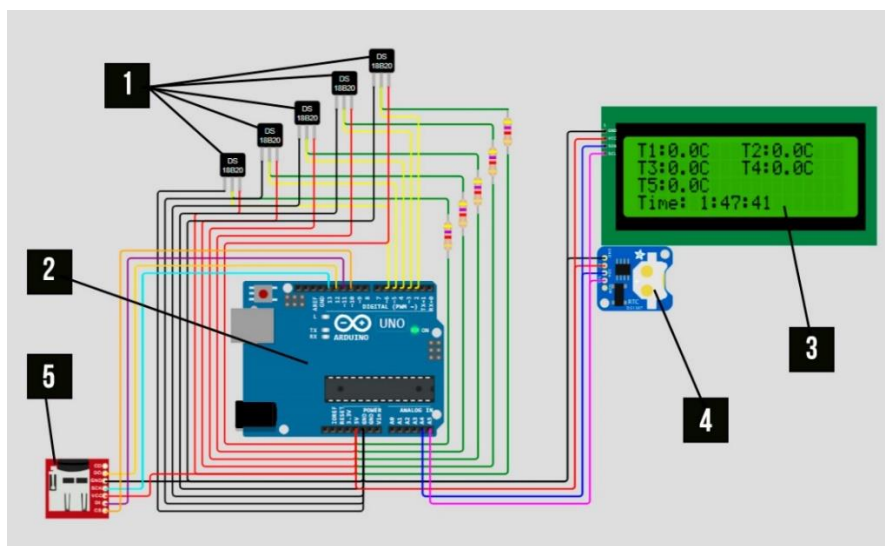


Рис. 4. Схема подключения модулей к плате Arduino Uno: 1 – датчик температуры DS18B20; 2 – плата Arduino Uno; 3 – LCD дисплей; 4 – модуль часов; 5 – модуль SD-карты

Полученные результаты могут быть использованы в решении задачи по разработке и внедрению эффективной системы обеспечения микроклимата в центрах обработки данных с использованием накопителей холода, которые позволят повысить энергетическую эффективность системы и снизить эксплуатационные затраты.

Последующие работы будут включать исследования различных фазопереходных материалов и использование других технологий передачи теплоты. К примеру, применение тепловых труб позволит сглаживать неравномерность тепловой нагрузки на холодильное и технологическое оборудование, уменьшить холодильную мощность установленного оборудования [5].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зимин О.В. Системы аккумуляции холода с использованием бинарного льда / Вісник Одеської національної академії харчових технологій. 2015. № 2(47). С. 98–102.
2. Тамаров В.В., Короленко М.В. Применимость сферических пластиковых контейнеров для аккумуляции холода с водой в качестве вещества с фазовым переходом / Сб. тезисов докладов Конгресса молодых ученых. СПб.: Ун-т ИТМО, 2024. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/13724>
3. Куколев М.И. Модели тепловых процессов в накопителях энергии для обоснования проектных решений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2006. 40 с.
4. Захарова В.Ю., Файзуллин Р.О. Методика расчета аккумуляторов холода с веществами с фазовым переходом // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 16. С. 16–20.
5. Щамаров М.В. Моделирование аккумулятора холода на базе тепловых труб: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2010.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕКЕРОВ
ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Целью работы является оценка изменения выработки электроэнергии солнечной электростанции малой мощности в зависимости от различных вариантов установки фотоэлектрических модулей (ФЭМ) с солнечными трекерами с учетом проектных ограничений в северных климатических условиях.

Рассматриваемая фотоэлектрическая электростанция находится в составе гибридного энергокомплекса, расположенного на территории Мирнинского улуса Республики Саха (Якутия). Комплекс расположен на промышленной площадке, представляющей собой открытый квадратный участок, площадью 250 м^2 , окруженный густым лесным массивом, средняя высота которого равна 12 м. Площадка повернута на 9° относительно юга по часовой стрелке.

Основная часть оборудования гибридного энергокомплекса (дизель-генераторная установка (ДГУ) и система накопления энергии (СНЭ)) расположена в 40-футовом контейнере. Из-за удаленности объекта обслуживание производится редко, примерно 1 раз в сезон.

Установленная мощность объекта потребления может достигать 20 кВт в определенное время, суммарное годовое потребление не превышает 79 МВт·ч. При использовании ДГУ суммарной мощностью 22 кВт годовое потребление топлива составляет около 30000 литров топлива.

Основу солнечных энергетических ресурсов, используемых для выбора конфигурации СФЭС, на заданной территории составляет продолжительность солнечного сияния и количество прямой и суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность [1]. Суммарное солнечное излучение за год с учетом облачности составляет $1038 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$, средняя продолжительность светового дня составляет около 13 ч [2].

Выработка солнечной фотоэлектрической электростанции (СФЭС) не способна покрыть полностью потребность в электроэнергии со стороны объекта из-за ограниченной площади. Если использовать фотоэлектрические панели мощностью 390 Вт с КПД, равным 19,98%, и площадью $1,96 \text{ м}^2$, то для полного покрытия нагрузки будет необходимо более 200 ФЭМ (около 400 м^2 площади).

Выбранным вариантом СФЭС является установка двух цепочек по 12 модулей, расположенных на верхней части контейнера. Установка ФЭМ наверху контейнера в дальнейшем позволит избежать части затенения и дополнительной снеговой нагрузки. ФЭМ расположены на высоте 1,4 м относительно границы соприкасающихся рамок 2 соседних панелей из разных цепочек. Суммарная установленная мощность СФЭС составляет 9,4 кВт.

Одним из важнейших показателей, влияющих на выработку электроэнергии ФЭМ является угол наклона поверхности панели. Производство электроэнергии изменяется из-за создания оптимального угла падения солнечных лучей, уменьшения отражения света и частичного самоочищения от пыли и снега [3].

Солнечные трекеры (системы слежения за солнцем) увеличивают выработку электроэнергии фотоэлектрическими панелями за счет того, что они постоянно ориентируют панели в направлении солнца, максимизируя количество поглощаемого солнечного света. Это особенно важно в утренние и вечерние часы, когда солнце находится низко над горизонтом.

Но при этом трекеры имеют такой недостаток, как необходимость довольно частого технического обслуживания из-за наличия механической части, которая может изнашиваться.

В данном исследовании будут сравниваться три различные системы [4]:

1. Статичная система без трекеров, панели расположены под углом 52° .
2. Горизонтально-осевая трекерная система, панели двигаются с юга на север, диапазон поворота 280° (80° относительно горизонтали на юг, 20° относительно горизонтали на север).
3. Горизонтально-осевая трекерная система, панели двигаются с востока на запад, диапазон поворота 240° (30° относительно горизонтали на восток, 30° относительно горизонтали на запад).

На рисунке 1 показаны пространственные модели трех вариантов СФЭС.

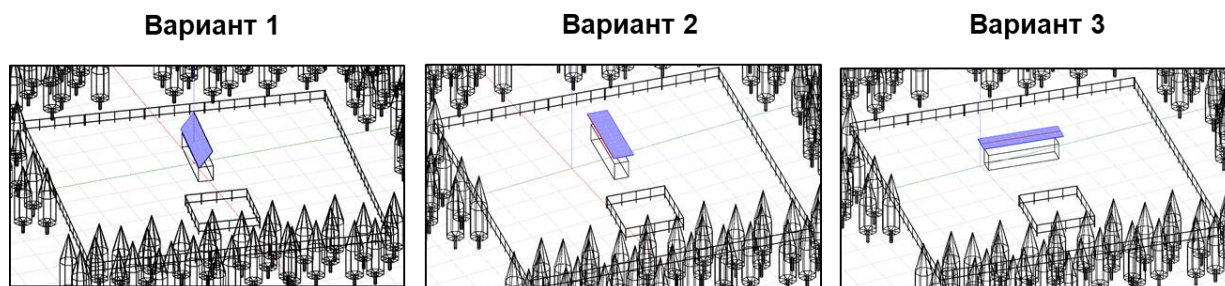


Рис. 1. Пространственные модели 3 вариантов СФЭС

На рисунке 2 показано сравнение годовых графиков выработки 3 вариантов СФЭС.



Рис. 2. Годовая выработка электроэнергии 3 вариантов СФЭС

На рисунке 2 можно увидеть, что в варианте с углом поворота 240° с востока на запад увеличивается суточная выработка в летние месяцы, когда как в варианте с углом поворота 280° с юга на север производство электроэнергии больше в зимние месяцы. В таблице 1 показаны значение выработки и инсоляции для 3 вариантов с различным углом поворота ФЭМ [5].

Таблица 1 – Сравнение значения выработки и инсоляции

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Потери на затенение, %	-10,6%	-8,2%	-16,7%
Инсоляция с учетом потерь, кВт·ч/м ² в год	1286	1452	1388
Выработка СФЭС, кВт·ч	10287	11674	11134
Выработка (апрель-сентябрь), кВт·ч	7308	8190	9089

Исходя из данных таблицы, можно заметить, что количество инсоляции и выработка для вариантов 240° и 280° превышает показатели для стационарных ФЭМ на 8–13%. Следует также отметить, что при повороте панелей трекерами с востока на запад возникает наибольшее затенение, которое снижает инсоляцию на 16,7%.

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование солнечных трекеров в северных широтах, с учетом низкой стоимости и потребления собственных нужд трекерных систем, имеет перспективу при периодическом техобслуживании (выработка увеличивается вплоть до 13%).

2. При условии продолжительности нахождения снегового покрова на территории и низких температур, что приводит к использованию СФЭС только несколько месяцев в году (летние месяцы), наибольшей эффективностью выработки обладают горизонтально-осевые трекерные системы, наклоняющие ФЭМ с востока на запад.

3. Полученные результаты могут использоваться при технико-экономическом обосновании модернизации и строительстве гибридных энергокомплексов в составе нефтегазовых объектов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / В.В. Елистратов [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.
2. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV). – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 02.03.2025) – Текст: электронный.
3. Елистратов В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие / В.В. Елистратов, Е.С. Аронова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 164 с.
4. PVSyst. Photovoltaic software. – URL: <https://www.pvsyst.com/> (дата обращения: 02.03.2025)
5. Технолайн. Решения для автономного и резервного энергоснабжения. Влияние затенения на производительность солнечных батарей и методы его устранения. – URL: <https://e-solarpower.ru/stati/vliyanie-zateneniya-na-proizvoditelnost-solnechnyh-batarey-i-metody-ego-ustraneniya-ru/> (дата обращения: 02.03.2025). – Текст: электронный.

УДК 620.91

В.А. Антонов, В.В. Елистратов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ТРАДИЦИОННОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ МИРА В 2024 ГОДУ

Цель работы: проведение анализа текущих тенденций мировой электроэнергетики используя открытые базы данных, законодательные акты, биржи и отчеты.

Мировое производство электроэнергии за 11 месяцев 2024 г. увеличилось на 4,2% (+1089,17 ТВт·ч), в то время как производство электроэнергии возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) – увеличилось на 10,2% [1]. Генерация ВЭС возросла на 7,9%, а СЭС на 29,1% [1]. Однако изменение процентных показателей лишь частично отражает суть трансформационных процессов, поскольку на них оказывают влияние, как региональные особенности, так и комплекс мер государственной поддержки и технологические инновации.

В США динамика генерации характеризуется устойчивым ростом 3,1%, при этом структура производства электроэнергии демонстрирует сдвиг в сторону газовых станций (от 42,5% до 42,8%) и ВИЭ (от 22,8% до 24,1%), что происходит на фоне сокращения роли угля (от 15,9% до 14,7%) и АЭС (от 18,1% до 17,7%) [1]. Приняты меры, включающие налоговые стимулы и обновлённые экологические нормы, способствуют не только модернизации инфраструктуры, но и фундаментальному сдвигу в приоритетах энергетической политики, что предполагает системный переход к более устойчивой модели энергорынка [2].

В Китае рост генерации ВИЭ составляет 7,1%, при этом доля угольной генерации снизилась, но остаётся доминирующей (от 61,6% до 58,8%) [1]. Внедрение первого энергетического законодательства, вступающего в силу с 2025 г., требует увеличения доли ВИЭ при сохранении резервных угольных мощностей, также интегрирует водород как элемент

энергосистемы. Данный компромиссный подход позволяет обеспечить энергетическую безопасность и надёжность энергосистемы в переходный период [3].

В Индии рост генерации достигает 6%. В 2024 г. достигнута исторически высокая пиковая нагрузка до 250 ГВт. Доля ВИЭ генерации не изменилась – 21,6%. Основная доля генерации у угольных ТЭЦ 73,4%. Проведены масштабные реформы в электроэнергетике, что привело к снижению дефицита электроэнергии до 0,1% и упрощения подключения установок СЭС мощностью до 10 кВт [4].

В ЕС генерация электроэнергии характеризуется значительной долей возобновляемых источников, которые составляют около 48,1% общего объёма производства, в то время как ископаемые источники – 28%. В 2024 г. ЕС продолжил реформы в рамках «Fit for 55» и REPowerEU для повышения энергобезопасности и декарбонизации, вводятся меры, позволяющие сократить выбросы парниковых газов минимум на 55% к 2030 г. по сравнению с 1990 г. [5]. В Великобритании низкоуглеродная генерация составляет 67% (ВИЭ+АЭС), доля ВИЭ достигает 50,1%, а использование угля сведено к минимуму (0,7%) при преобладании газа (31%) [1].

Российская энергетическая система сохраняет традиционную структуру с ростом генерации 3,3%. 61,9% электроэнергии производится на ископаемом топливе (газ – 44,4%, уголь – 17,4%), вклад ВИЭ (без учета крупных ГЭС) остаётся минимальным (0,7%) [1].

Для анализа региональных особенностей динамики спроса и структуры генерации электроэнергии приведены суммирующие ключевые показатели (таблица 1). Для анализа распределения по видам генерации на рисунке 1 приведена диаграмма долей ВИЭ и традиционной энергетики по странам и миру за 11 месяцев 2024 г.

Таблица 1 – Структура генерации и потребления электроэнергии за 11 месяцев 2024 г.

Регион	Рост генерации	Доля традиционной (вкл. АЭС)	Доля ВИЭ (вкл. ГЭС)	Особенности
Весь мир	+4,2%	~68%	~32%	Рекордные инвестиции в размере 2 млрд долларов США [1, 7]
США	+3,1%	~76%	~24%	Доля ВЭС и СЭС генерации (17,4%) превзошла долю угольной (14,7%) [1, 5]
Китай	+7,1%	~66%	~34%	Утверждение первого комплексного закона КНР об энергетике [1, 3]
Индия	+5,8%	~78%	~22%	Максимальная пиковая нагрузка в 250 ГВт; дефицит электроэнергии снижен до 0,1 % (10 лет назад 4,2%) [1, 4]
ЕС	+2,1%	~52%	~48%	Генерация ВЭС и СЭС (29,9%) превзошли ТЭЦ (газ, уголь) (25,2%), снижение импорта российского газа (менее 10% от общего) [1, 5]
Велико-британия	-1,8%	~50%	~50%	Низкоуглеродная генерация доминирует; закрытие последней угольной ТЭС [1, 5]
Россия	+3,3%	~81%	~19%	Включение объемов ВИЭ в процедуру КОМ 2027 г. [1, 6]

В Европейском союзе интеграция возобновляемых источников продвигается наиболее активно, пиковые часы выработки солнечной и ветровой энергии приводят к временному избытку производства, при этом оптовые цены на электроэнергию могут опускаться до отрицательных значений (-12 €/МВт·ч в Бельгии и до -7 €/МВт·ч в Норвегии и Швеции), что свидетельствует о том, что система генерирует больше энергии, чем требуется для потребления, и подчеркивает необходимость развития систем хранения и гибкого управления спросом [8].

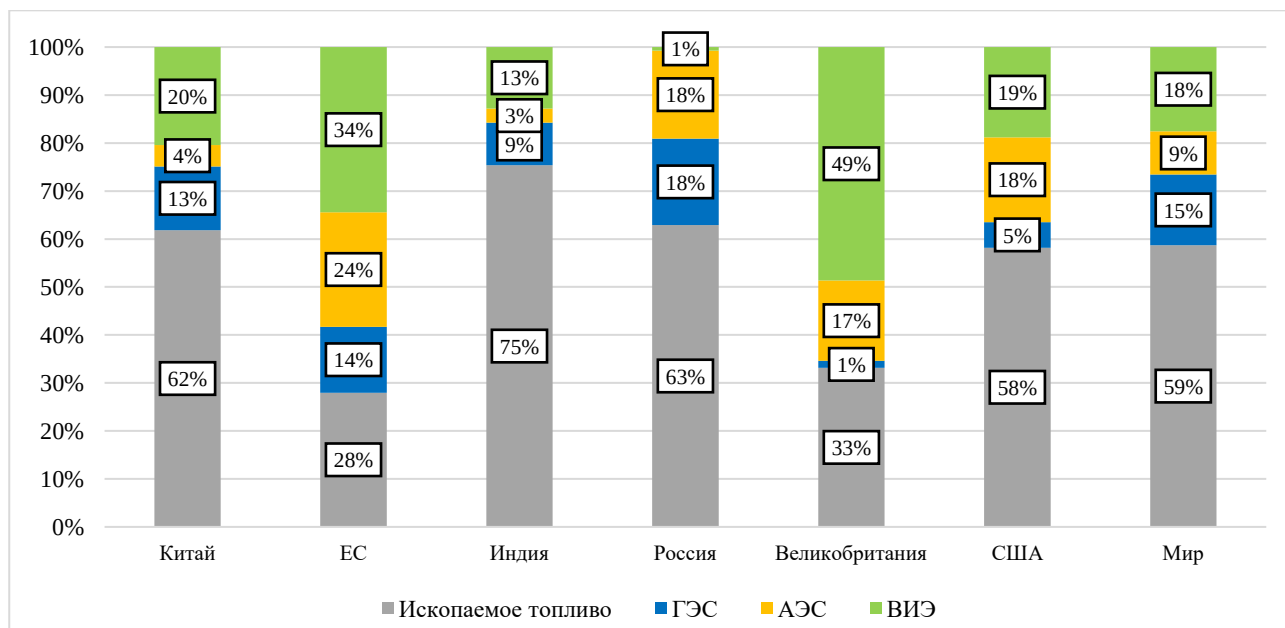


Рис. 1. Доли ВИЭ и традиционной энергетики по странам и миру за 11 месяцев 2024 г.

Рассмотрение региональных проектов выявляет определённые закономерности. Так, в США наблюдается активное развитие ветровых и солнечных парков, сопровождаемые комплексными программами модернизации электросетей, что свидетельствует об интегрированном подходе к переходу на инновационные технологии [2]. Китай, параллельно с наращиванием мощностей возобновляемых источников в пустынных регионах, сохраняет угольные резервные мощности, что позволяет обеспечить баланс между внедрением новых технологических решений и поддержанием надёжности энергосистемы [3]. В Индии государственные реформы способствуют структурным преобразованиям в энергетическом секторе [4]. Европейские страны и Великобритания стремятся к сокращению доли ископаемых источников, активно развивая офшорные ветропарки и системы накопления, что позволяет повысить гибкость энергосистем [5].

Технические достижения в энергетическом секторе 2024 года: рекордные показатели КПД солнечных элементов – 34,6% в лабораторных условиях и 28,6% для коммерческих модулей [9]. В Китае проведены испытания прототипов офшорных турбин с мощностью до 26 МВт, позволяющие значительно повысить эффективность производства электроэнергии и указывают на высокий потенциал дальнейшей модернизации [10].

Выводы:

1. Глобальная электроэнергетика демонстрирует устойчивый рост, при этом возобновляемые источники занимают все более значимое место в структуре производства.
2. Государственные инициативы и реформы играют ключевую роль в модернизации энергетической инфраструктуры и переходе на более экологичные технологии.
3. Региональные различия отражают разнообразные подходы к энергетической политике: одни страны активно внедряют новые технологии и сокращают зависимость от ископаемого топлива, другие пока сохраняют традиционные модели фокусируясь на совершенствовании законодательства в области энергетики.
4. Технические достижения в области повышения эффективности и развития инновационных решений указывают на потенциал дальнейшего преобразования сектора электроэнергетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аналитический центр Ember. Electricity Data Explorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/>
2. Министерство энергетики США. Grid Resilience Innovation Partnership [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.energy.gov/gdo/grid-resilience-and-innovation-partnerships-grip-program>
3. Юридическая фирма AllBright. China Issued Its First Energy Law [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allbrightlaw.com/>
4. Правительство Индии. YEAR END REVIEW – 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pib.gov.in/>
5. Аналитический центр Ember. Six highlights of the global energy transition in 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ember-energy.org/latest-insights/six-highlights-of-the-global-energy-transition-in-2024/>
6. Министерство энергетики Российской Федерации. Официальные данные по структуре электроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru>
7. Международное энергетическое агентство (МЭА). Overview and key findings [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024/overview-and-key-findings>.
8. Общеввропейская энергетическая биржа Nord Pool. Day-ahead Prices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://data.nordpoolgroup.com/auction/day-ahead/prices>
9. Liu J., He Y., Ding L. et al. Perovskite/silicon tandem solar cells with bilayer interface passivation. Nature 635, 596–603 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07997-7>
10. Offshore WIND [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.offshorewind.biz>

УДК 621.316.13

Д.В. Таничев, В.В. Елистратов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ

Актуальность. Создание интеллектуальных электрических сетей (ИЭС) является сложной задачей, требующей новых подходов к управлению и контролю. Интеллектуальные сети представляют собой решение, которое позволяет эффективно интегрировать ВИЭ, повысить надежность и качество энергоснабжения, а также снизить потери электроэнергии [1, 4].

В работе рассмотрены ключевые принципы, тенденции и перспективы развития интеллектуальных сетей, возобновляемых источников энергии, объектов распределенной генерации, и применены методы системного анализа, технико-экономического анализа, экспертных оценок.

Цель работы – разработать принципы построения архитектуры ИЭС, обеспечивающей эффективную интеграцию распределённой генерации на основе возобновляемых источников энергии, рассмотреть классификацию ИЭС, предложить структуру ИЭС, провести анализ экономической эффективности внедрения ИЭС с использованием ВИЭ.

Одно из перспективных направлений развития электроэнергетики – построение интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid). Термин интеллектуальных электрических сетей до сих пор не имеет единой, общепринятой интерпретации. Однако, Россети под данным термином подразумевают концепцию с набором технологий, позволяющими изменять топологические параметры, где с помощью специальных датчиков можно будет оценить состояние оборудования в различных режимах работы энергосистем, что позволит избежать технических сбоев в работе энергооборудования, планировать нагрузку и осуществлять оптимальную реконфигурацию сети [2].

В России реализуется несколько проектов с внедрением концепции интеллектуальных электрических сетей. По всей территории Белгородской области вводится система «Гелиос», представляющая собой автоматизированную систему управления освещением [3]. Эта система позволяет осуществлять управление наружным освещением, постоянно контролировать состояние объектов уличного освещения, а также эффективно учитывать потребление электроэнергии. В Москве реализуется проект «умного» города СберСити, где внедряется система распределённой генерации, в которую входят накопители электроэнергии, фотоэлектрические модули для использования солнечной энергии, электрозарядные станции [5].

Архитектура является ключевым фактором для создания современной, надёжной, эффективной и устойчивой электрической сети. В настоящее время архитектурная модель ИЭС может быть использована не только для рассмотрения технических аспектов функционирования ИЭС, но и для решения задач экономической эффективности, оценки рисков информационной безопасности и др. На базе архитектурной модели ИЭС может быть разработан ряд аналогичных моделей, например, для «умного» города, «умного» дома [6]. К основным принципам построения архитектуры ИЭС относятся: переход от централизованной сети к децентрализованной, внедрение распределённой генерации, разработка общих моделей данных и интерфейсов для обмена информацией, внедрение интеллектуальных приборов учета, систем управления энергопотреблением, использование современных методов шифрования для защиты данных, разработка и внедрение математических моделей, алгоритмов и систем управления для оптимизации потоков мощности, напряжения и частоты, а также для прогнозирования спроса на электроэнергию.

В целях систематизации информации о многообразии интеллектуальных электрических сетей, оптимизации анализа их структурных и функциональных характеристик представляется целесообразным рассмотреть существующие подходы к их классификации. Предложена структурная схема (рисунок 1), которая обеспечивает систематизацию основных типов интеллектуальных электрических сетей на основе ключевых классификационных признаков.



Рис. 1. Классификация интеллектуальных электрических сетей

В условиях увеличения потребления электроэнергии, необходимости интеграции возобновляемых источников, повышением требований к надежности и качеству электроснабжения, критически важным аспектом становится формирование структуры построения ИЭС. На рисунке 2 представлен один из вариантов такой структуры.

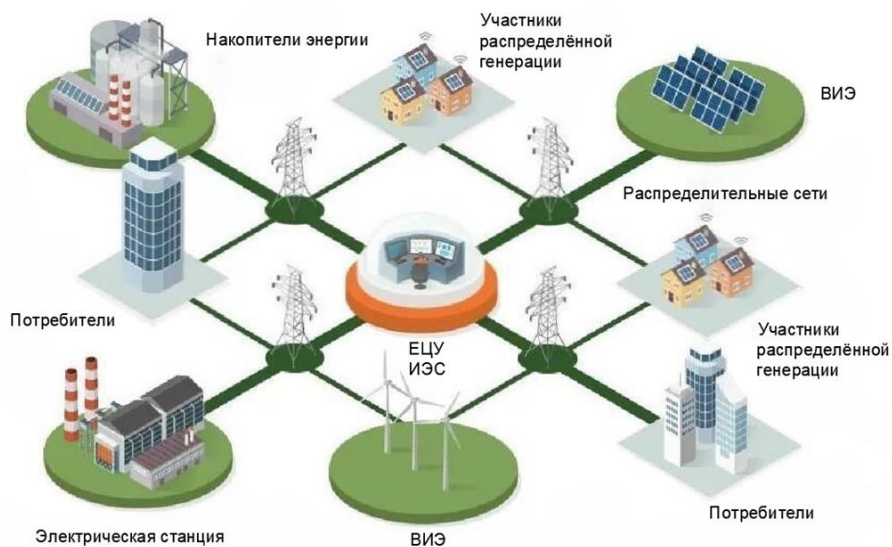


Рис. 2. Структура интеллектуальных электрических сетей

Данная структура включает в себя генерирующие мощности (традиционные и возобновляемые источники энергии, распределённая генерация), распределительные сети, систему управления и контроля, потребителей, а также накопители энергии.

Для успешной реализации проектов по построению ИЭС необходимо учитывать множество технических, экономических, электроэнергетических, управленческих факторов.

Анализ эффектов от внедрения интеллектуальных электрических сетей и использование ВИЭ является одним из важнейших аспектов для реализации проектов в данной области (табл. 1) [7, 8].

Таблица 1 – Эффекты от реализации ИЭС с внедрением ВИЭ

Эффекты	Экономические	Экологические	Надежность
1	Возможность для потребителей более эффективно управлять энергопотреблением	Сокращение выбросов парниковых газов	Повышение надежности энергоснабжения потребителей, за счет дополнительного резервирования с помощью ВИЭ и накопителей энергии.
2	Снижение потерь при передаче электроэнергии за счет сокращения протяженности ЛЭП.	Уменьшение линий электропередач позволяет сократить процент отчуждаемых земель под них	Повышение эффективности использования оборудования за счет применения численных методов прогнозирования аварийных ситуаций, погодных условий

Выводы. В работе представлены принципы построения архитектуры ИЭС, нацеленной на эффективную интеграцию возобновляемых источников энергии. Представлена структура ИЭС, позволяющая выделить ключевые характеристики и особенности данных сетей, что необходимо для оптимального выбора архитектурных решений, соответствующих специфическим задачам и условиям эксплуатации, также представлена структура ИЭС. Внедрение ИЭС с использованием ВИЭ демонстрируют значительный потенциал для снижения затрат на электроэнергию, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, повышение энергоэффективности и надежности электрических сетей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. М.: Научно-технический центр Федеральной сетевой компании единой энергетической системы. 2012.
2. Россети Тюмень // Интеллектуальные энергетические системы городов с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс]. URL: https://www.te.ru/press_center/news/674/19925/ (дата обращения: 02.03.2025)
3. Гелиос // Автоматизация. Эффективность. Экономия. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.helios.su/> (дата обращения: 02.03.2025)
4. IEA // Digitalisation and Energy [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (дата обращения: 02.03.2025)
5. СберСити // Система MicroGrid и зелёная энергия [Электронный ресурс]. URL: <https://sbercity.ru/city/infrastructure/detail/?id=84&slug=engineer> (дата обращения: 02.03.2025)
6. Иванов, А.С. Архитектурная модель интеллектуальной энергетической системы как инструмент системной инженерии / А. С. Иванов // Энергия единой сети. 2023. № 5-6. С. 66-67. [Электронный ресурс]. URL: https://энергия-единой-сети.рф/wp-content/uploads/2023/04/006_ivanov_ntc_ees_5-6_66-67.pdf (дата обращения: 03.03.2025)
7. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. 3-е изд., доп. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. .
8. Elistratov, V., Konishchev, M., Denisov, R., Bogun, I., Grönman, A., Turunen-Saaresti, T., Lugo, A.J. Study of the Intelligent Control and Modes of the Arctic-Adopted Wind–Diesel Hybrid System. *Energies* 2021, 14, 4188.

УДК 628.8:533.697.3

А.К. Со, А.И. Мишин, М.И. Куколев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО КЛИМАТА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Цель работы: сбор и анализ технической информации для оценки возможности применения вихревой трубы в системе искусственного климата.

Задачи: проведение эксперимента с вихревой трубой; анализ экспериментальных данных; формирование выводов об эффективности применения вихревой трубы в системе искусственного климата.

В последние годы повышение эффективности искусственного климата становится все более популярно. Это не удивительно, ведь микроклимат – один из определяющих факторов комфорта нахождения людей в помещении. При длительном воздействии пониженной или повышенной температуры может быть ослаблен как организм человека, так и его работоспособность. Также микроклимат способствует нормальному протеканию технологического процесса какого-либо производства. Искусственный климат совмещает в себя такие параметры, как температура, относительная влажность, скорость воздуха в помещении, тепловое излучение.

Система искусственного климата включает в себя системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Для регулирования температуры применяются системы отопления или отдельно взятые отопительные приборы. Системы вентиляции и кондиционирования применяют для обеспечения необходимых и комфортных параметров воздуха для человека, находящегося в помещении [1].

Системы отопления делят на:

- по способу размещения генератора (центральные и местные);
- по виду теплоносителя (водяные, паровые, воздушные, комбинированные);
- по способу циркуляции теплоносителя (с естественной циркуляцией, с искусственной циркуляцией).

Основные функции вентиляции для создания комфортного микроклимата помещения это регулирование уровня углекислого газа и влажности. Системы вентиляции можно делить по следующим признакам:

- по способу побуждения воздуха (естественные и искусственные);
- по назначению (вытяжные и приточные);
- по зонам действия (местные и общеобменные);
- по конструктивным особенностям (канальные и бесканальные) [2].

Существуют и альтернативные способы поддержания искусственного климата. Так, например, в некоторых европейских городах применяют «зеленые» и «прохладные» крыши для общественных зданий. В стеклянных небоскребах появляется технология использования фазовых материалов, способных менять свое состояние. Это позволяет днем накапливать излишнюю теплоту, а ночью отдавать ее обратно [1].

Добавлением к вышеперечисленному можно предложить альтернативный способ создания эффективного искусственного климата. Этот способ основан на применении вихревой трубы (рис. 1). Принцип работы вихревой трубы заключается в том, что поступающий и вращающийся в трубке поток газов разделяется на два потока – горячий и холодный. Сначала сжатый газ под давлением приблизительно 6 атмосфер поступает в вихревую камеру, закручивается и идет по направлению выхода горячего воздуха. Центральные слои газа охлаждаются и собираются в центре трубы. Поток газа на периферии обретает большую скорость и нагревается, проходит контрольный клапан и выходит через специальный выход. Центральный холодный поток газа после контрольного клапана меняет свое направление и выходит через выход для холодного воздуха [3].

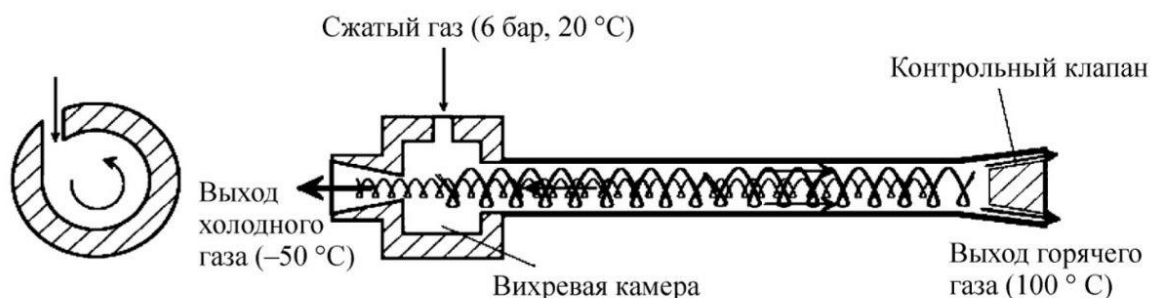


Рис. 1. Устройство вихревой трубы [3]

Несмотря на то, что эффект Ранка-Хилша известен уже много лет его точное обоснование до сих пор неизвестно. В настоящий момент существуют лишь гипотезы обоснования вихревого эффекта, основанные на экспериментальных данных. Вихревой эффект объясняют градиентом угловых скоростей; микрообъемам с разной кинетической энергией; тангенциальными скоростями; процессом адиабатического расширения газа [4].

Рассмотрим основные виды вихревых труб [5]:

- Прямоточная вихревая труба. Это первая конструкция вихревой трубы. Несмотря на то, что она считается не самой эффективной, ее достоинством является компактность.
- Коническая вихревая труба. Одним из главных параметров, влияющих на эффективность вихревой трубы, является ее геометрия. Чем больше отношение длины трубы к ее диаметру, тем она более эффективна. Поэтому часто применяют конструкцию конической трубы. Ее часто используют для холодильных систем.
- Охлаждаемые вихревые трубки. Охлаждение горячего потока газа на периферии трубки способно увеличить КПД трубы. Применяют два вида таких труб – с охлаждающей рубашкой и с охлаждающим жидкостным вихрем. Принцип действия – жидкость, протекающая в конструкции, охлаждает наружную поверхность трубки. В таком виде

вихревых труб есть возможность регулирования потока холодных слоев газа путем изменения расхода подаваемой жидкости.

- Вихревые трубы с многократной циркуляцией. Конструкция представляет собой замкнутую систему, в которой происходит многократная циркуляция газового потока. С каждым прохождением потока по циклу замкнутой системы воздух становится холодней за счет вакуумирования холодного потока.
- Вихревые трубы с искусственным торможением вихревого потока. Эксперименты показали, что искусственное торможение потока в конце камеры увеличивает КПД вихревой трубы. В конструкцию вихревой трубы на конце выхода горячего потока была добавлена крестовина, которая замедляет поток и создает приосевой поток, охлаждающийся с помощью потоков газа на периферии.
- Трубка Метенина. В конструкции такой трубки на конце камеры устанавливают специальную сетки и лопаточный диффузор, которые выполняют роль развихрителя, затормаживающий поток. Эти устройства помогают в формировании потока с низкой температурой.
- Трубка Парулейкара. Камера разделения такой трубки имеет коническую форму, в конце камеры устанавливают развихритель. Трубка имеет три части, одна из которых – у сопла конической формы, вторая цилиндрическая и третья снова коническая.

Вихревой эффект имеет практическое применение в современном мире. Его используют для сепарации газов, в холодильных системах, в авиационной и космической технике, в металлообработке. В сравнении с парокомпрессионными машинами вихревые трубы имеют свои достоинства: нет необходимости в хладагентах; относительная простота в исполнении; экономичность благодаря конструкции без подвижных элементов (простота ремонта); возможность получения тепла и холода одновременно. К недостаткам можно отнести низкую энергоэффективность; необходимость в компрессоре [5].

В статье [6] уже поднимался вопрос о применении вихревой трубы в системах поддержания микроклимата. Задача данного исследования заключается в дальнейшем развитии данного направления и подкреплении теоретических положений экспериментальными данными.

Разрабатываемая экспериментальная установка содержит пластиковую воздушную вихревую трубку, датчики расхода и температуры, систему фиксации данных с передачей их на компьютер. Запитывается сжатым воздухом от автомобильного компрессора.

Таким образом, вихревой эффект хоть и не имеет точного научного объяснения, экспериментально доступен для изучения и применим на практике. Так как вопрос об экономии топливно-энергетических ресурсов в современном мире поднимается очень часто, вихревая труба является перспективным решением для применения в системах искусственного климата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бурков А.И., Ивашкин В.С. Современные тенденции развития систем обеспечения микроклимата общественных зданий / Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 1. С. 139–144.
2. Корчков А.П. Микроклимат помещений / Вестник магистратуры. 2020. №2-1 (101).
3. Кузнецов В.И. Макаров В.В. Эффект Ранка: эксперимент, теория, расчет: монография. М.: Инновационное машиностроение, 2017.
4. Кузнецов В.И. Экспериментальное и теоретическое обоснование эффекта Ранка / В.И. Кузнецов, Г.А. Нестеренко, И.О. Щука / Омский научный вестник. 2007. № 2(56). С. 54–56.
5. Коркодинов Я.А., Хурматуллин О.Г. Применение эффекта Ранка-Хильша // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2012. №4. С. 42–53.
6. Сурмин С.Е. Применение вихревой трубы в системах тригенерации / С.Е. Сурмин, А.А. Шумихина, М.И. Куколев / мат-лы II Всеросс. (национальной) научно-практ. конф. – Архангельск: Изд. дом им. В.Н. Булатова, САФУ, 2021. С. 167–169.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АФГАНИСТАНА

Целью исследования является анализ особенностей проектирования малых ГЭС в горной местности, включая влияние природных условий, выбор оборудования и технологий, а также обеспечение экологической устойчивости. Задачи, которые необходимо решить в работе: определить рельеф местности, гидрологию горных рек и сейсмическую активность района; описать ключевые аспекты определения местоположения, выбора типа гидроузла, оборудования и трассы деривации, обеспечивая стабильность и надежность МГЭС для устойчивого развития удаленных регионов Афганистана.

Гидроэнергетика играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития, особенно в регионах с ограниченными энергоресурсами и сложной инфраструктурой.

Проектирование малых гидроэлектростанций в горной местности является одним из перспективных направлений для обеспечения доступной и экологически чистой энергии. В горных районах Афганистана, где энергетический дефицит остается одной из ключевых проблем, МГЭС могут стать эффективным решением для улучшения качества жизни местного населения, поддержки экономики и уменьшения зависимости от ископаемого топлива. Сложные геологические, климатические и социальные условия горных регионов Афганистана предъявляют особые требования к проектированию и строительству МГЭС.

Согласно данным UNIDO в 2022 г. общая установленная мощность МГЭ в мире с учетом станций мощностью ≤ 10 МВт составляет 79,0 ГВт, в то время как общий известный потенциал МГЭ мощностью ≤ 10 МВт (включая разработанные мощности) оценивается в 221,7 ГВт. [1]. На рисунке 1 представлена общая установленная мощность МГЭС (ГВт) согласно данным Международной ассоциации гидроэнергетики (ИНА) за 2013–2022 гг. [2].

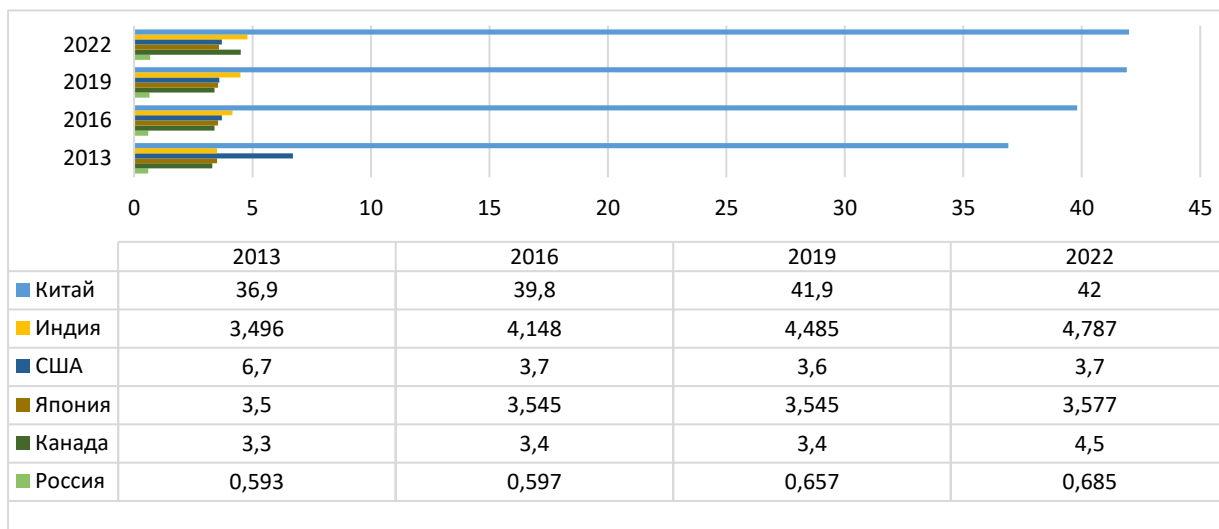


Рис. 1. Установленная мощность МГЭС (ГВт) за 2013–2022 гг.

По данным WSHPR-2019 в 2016 г. установленная мощность малых ГЭС в Афганистане составила 75,7 МВт [2]. С тех пор новые официальные статистические данные об общей установленной мощности малых ГЭС в стране не были опубликованы. Исходя из имеющихся данных, можно оценить, что установленная мощность малых ГЭС в стране в 2022 г. составила не менее 83,2 МВт. Потенциал проектов мини- и микроГЭС мощностью до 1 МВт оценивается в 65,9

МВт. По состоянию на 2022 г. установленная мощность МГЭС Афганистана составляла 83,2 МВт, что составляет лишь 7% от общего потенциала в стране 1200 МВт [3].

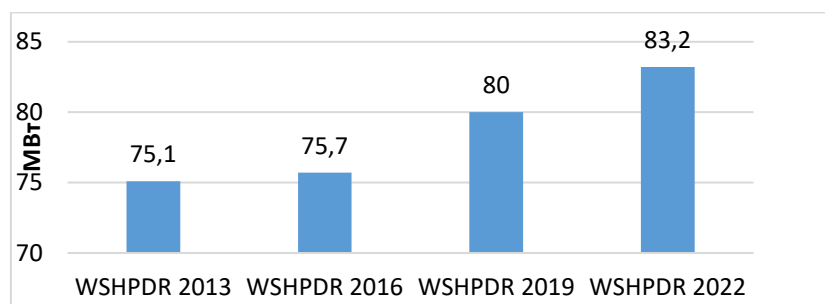


Рис. 2. Установленная мощность малых ГЭС в 2013,2016,2019,2022 гг. в Афганистане

При проектировании МГЭС в горных условиях необходимо учитывать следующие особенности:

1. Особенности рельефа с резкими перепадами высот и конвенным формированием русла рек создают благоприятные условия для формирования напора (горы занимают 63% территории). Горный хребет Гиндукуш делит страну с востока на запад. Средняя высота над уровнем моря составляет 1100 м, при этом 27% территории страны расположено на высоте 2500 м [4].

2. Гидрологические особенности – горные реки отличаются сезонными колебаниями речного стока и ледовыми явлениями в зимний период [5]. Эти факторы требуют детального анализа гидрологического режима для выбора оптимальных компоновок водозаборов и турбин [6].

Сток рек в Афганистане сильно зависит от сезона. Типичный гидрограф рек Афганистана приведен на рисунке 3.

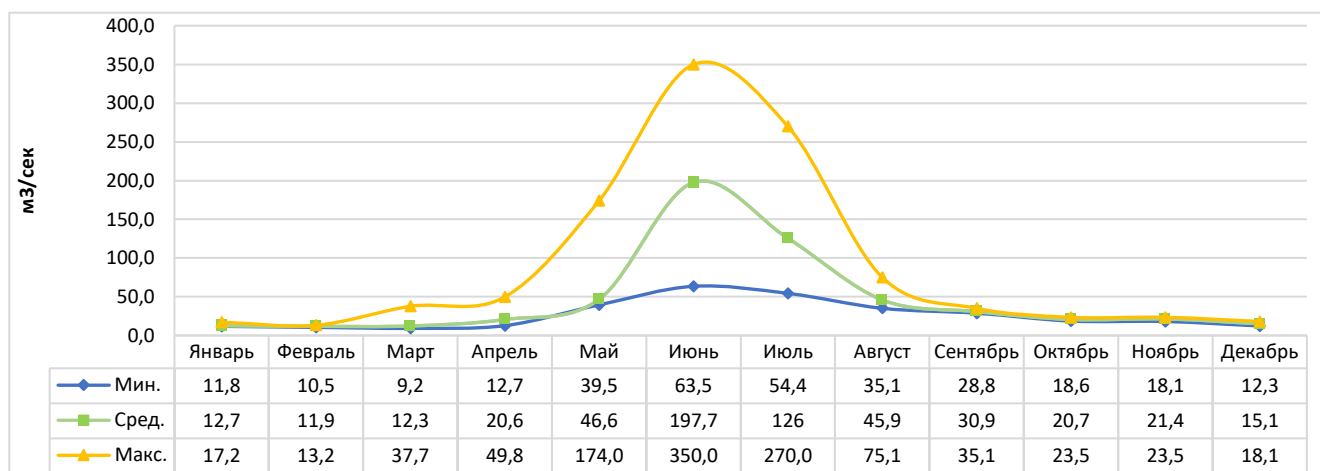


Рис. 3. Колебания расхода воды реки Фархар в течение 2020 г., м³/с

3. Климатические особенности – горные регионы часто подвержены экстремальным климатическим условиям, включая сильные морозы, высокую влажность и сейсмическую активность. Афганистан расположен в засушливых субтропиках и имеет климат с холодной зимой и жарким летом. Средняя температура составляет 30–35 °С в июне-августе и 5–10 °С в декабре-феврале. В горных районах температура может снижаться в течение всего года, зимой температура может быть ниже 0 °С, а летняя температура ниже 15 °С [5].

4. Сейсмическая активность региона – Афганистан находится в сейсмоопасной зоне, что требует учета сейсмической устойчивости при проектировании и строительстве МГЭС. Часто

фиксируются землетрясения средней и высокой интенсивности (до 7–8 баллов по шкале Рихтера) [7], фиксируемых в северо-восточной части страны.

5. Особенности выбора компоновочных решений и оборудования МГЭС. Для малой гидроэлектростанции (МГЭС) в горной местности выбор оборудования зависит от нескольких ключевых факторов. В условиях высоких перепадов высот и резких колебаний стока рек обычно используются ковшевые или радиально-осевые турбины, которые эффективны при высоких напорах и переменных расходах воды [8]. Водопроводящие тракты деривационных ГЭС для условий Афганистана целесообразно проектировать с безнапорной или с напорной деривацией. Безнапорная деривация, выполняемая в виде открытых каналов, лотков, безнапорных туннелей сопрягается с помощью напорных бассейнов с напорными турбинными трубопроводами МГЭС [9].

6. Экологические особенности – сохранение ранимых экосистем, включая минимизацию воздействия на водные экосистемы, флору и фауну, сельхозугодья.

Выводы:

1. Установленная мощность малых ГЭС в Афганистане в 2022 г. составила около 83,2 МВт. Потенциал малых ГЭС оценивается в 1200 МВт. Потенциал проектов мини- и микрогидроэлектростанций мощностью до 1 МВт оценивается в 65,9 МВт [10].

2. Проектирование малых гидроэлектростанций (МГЭС) в горной местности представляет собой сложный процесс, учитывающий природные, технические и экологические аспекты, особенности рельефа, гидрологии и климата.

3. Проведенный анализ показало, что запроектированные МГЭС могут обеспечить устойчивое энергоснабжение отдаленных регионов, способствовать сокращению зависимости от ископаемых видов топлива и стимулировать социально-экономическое развитие страны

4. Успешная реализация проектов МГЭС требует комплексного подхода: учета особенностей местного рельефа, гидрологии, климатических условий, сейсмической активности и требует привлечения специалистов из разных областей – инженеров, экологов, экономистов и социальных исследователей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. UNIDO, ICSHP (2022). World Small Hydropower Development Report 2022. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria; International Center on Small Hydro Power, Hangzhou, China. Available at www.unido.org/WSHPDR2022.

2. World-hydropower-outlook-out-now. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hydropower.org/news/the-flagship-2022> (Дата обращения: 05.01.2024).

3. National Statistics and Information Authority (NSIA) (2021). Afghanistan Statistical Yearbook 2020. Available at <https://invest.gov.af/theme3/wp-content/uploads/2021/06/Af-ghanistan-Statistical-Yearbook-first-Version.pdf> (Дата обращения: 28.12.2024).

4. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (2012). Afghanistan. Aquastat database. Available at www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions (Дата обращения: 25.01.2024).

5. Гидрология рек: учебное пособие/ И.А. Уразметов; под ред. проф. И.Т. Гайсина. – Казань. 2007.

6. Международный центр интегрированного горного развития в горах Гиндукуша и Памира [Электронный ресурс]. URL: <https://www.icimod.org> (Дата обращения: 07.12.2024).

7. Афганстан и сейсмическая опасность [Электронный ресурс]. URL: <https://8am.media/fa/afghanistan-and-earthquake-risk/> (Дата обращения: 01.02.2025).

8. Андреев А.Е., Бляшко Я.И., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшева И.Г и др., Гидроэлектростанции малой мощности / Учебное пособие. Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.

9. Гидроэлектростанции малой мощности. Учебное пособие / Под ред. В.В. Елистратова – 2-е изд., СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005.

10. Амини С.С., Елистратов В.В. Электроэнергетики Афганистана: существующее положение и перспективы развития. Энергохозяйство за рубежом, №2, 2024. с. 13–20.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
ВЬЕТНАМА: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Актуальность. Вьетнам расположен в тропической зоне, недалеко от экватора, среднее число солнечных часов в год составляет 2000–2500, а уровень солнечной радиации в разных регионах – 4–5 кВт·ч/м²/сутки [1]. Эти факторы делают страну одной из наиболее перспективных в регионе для развития солнечной энергетики. Однако, при общей площади 331212 км², ограниченные земельные ресурсы требуют рационального выбора типа фотоэлектростанции (ФЭС). Поэтому необходимо проанализировать преимущества и недостатки различных типов фотоэлектростанций для их последующего использования.

Цели и задачи работы. Оценить преимущества и недостатки трех типов ФЭС в условиях Вьетнама для выбора наиболее эффективных технологий.

Метод исследования. Использован метод системного анализа.

Типы солнечных электростанций во Вьетнаме. К концу 2023 г. общая установленная мощность солнечной энергетики во Вьетнаме достигла ≈16 600 МВт, из которых крышные солнечные электростанции составляют более 9 000 МВт, что соответствует примерно 20,5% от общей выработки и более 54% от общей мощности в стране [2].

Благодаря разнообразному рельефу и климатическим условиям Вьетнам имеет большой потенциал для развития солнечной энергетики. В настоящее время в стране используются три основных типа солнечных электростанций: крышные, наземные и плавучие солнечные электростанции. Каждый из этих типов имеет свои особенности, преимущества и области применения, что дает возможность максимально эффективно использовать солнечную энергию в разных регионах страны.

Крышные солнечные электростанции (рис. 1,а) [3]: Крышная солнечная фотоэлектрическая система (rooftop PV system) – это комплекс солнечных панелей, установленных на крыше жилых, коммерческих или промышленных зданий. Такие системы, как правило, имеют значительно меньшую мощность по сравнению с наземными солнечными электростанциями, мощность которых измеряется в мегаваттах.

Мощность крышных солнечных систем в жилых зданиях обычно составляет от 5 до 20 кВт, тогда как в коммерческих зданиях она может достигать 100 кВт и более [4]. Во Вьетнаме активно развивается установка крышных солнечных электростанций на промышленных предприятиях, так как они располагают большими площадями для размещения панелей. Это способствует снижению загрязнения окружающей среды и укреплению энергетической безопасности городов.

С учетом снижения затрат на производство солнечная энергия становится одним из самых доступных источников электроэнергии. Вьетнам имеет потенциал для использования всех благоприятных условий для расширения развития солнечной энергетики, поскольку оборудование производится внутри страны, затраты на рабочую силу низкие, а источники солнечного излучения большие.

Наземные солнечные электростанции (Ground-Mounted Solar) (рис. 1,б) [5]. Наземные солнечные электростанции являются наиболее распространенным типом солнечной энергетики, особенно в равнинных районах южных и центральных регионов Вьетнама. Благодаря большой доступной территории они позволяют устанавливать крупные массивы солнечных панелей, обеспечивая значительную выработку электроэнергии.

Однако одной из ключевых проблем является конкуренция за земельные ресурсы, особенно в сельскохозяйственных районах. Использование плодородных земель под солнечные фермы может снижать доступные площади для выращивания сельскохозяйственных культур. В связи с этим перспективным решением становится агровольтаика – сочетание солнечной энергетики с сельским хозяйством, что позволяет эффективно использовать землю без значительных потерь для продовольственного производства.



Рис. 1. Типы солнечных электростанций во Вьетнаме: *а* – солнечная электростанция на крыше; *б* – наземная солнечная электростанция; *в* – плавучая солнечная электростанция

Таблица 1 – Преимущества и недостатков трех типов солнечных электростанций во Вьетнаме

Тип станции	Преимущества	Недостатки
Крышные солнечные электростанции (Rooftop Solar)	Не используют земельные участки. Используют доступное пространство на крышах. Снижение потерь при передаче электроэнергии. Сокращение выбросов CO ₂ , снижение нагрузки на электросеть. Подходит для промышленных зон и городов.	Высокие первоначальные затраты. Ограниченное пространство на крышах. Эффективность зависит от угла наклона крыши и уровня затенения.
Наземные солнечные электростанции (Ground-Mounted Solar)	Высокая эффективность благодаря возможности оптимального расположения панелей. Масштабируемость до крупных мощностей. Более низкая стоимость установки по сравнению с крышными и плавучими станциями.	Требуют больших земельных участков, что создает конкуренцию с сельским хозяйством. Возможное затенение из-за окружающей среды. Требуются значительные инвестиции в инфраструктуру (линии электропередач)
Плавучие солнечные электростанции (Floating Solar)	Используют водную поверхность, не занимая землю. Вода охлаждает панели, повышая их КПД. Снижают испарение воды, что важно для водохранилищ. Перспективны для регионов Вьетнама с развитой речной сетью.	Высокая стоимость установки и эксплуатации. Возможное воздействие на экосистему водоемов. Зависимость от уровня воды и погодных условий.

Плавучие солнечные электростанции (Floating Solar) (рис. 1, в) [6]. Плавучие солнечные электростанции являются перспективным решением для использования на водохранилищах и реках, особенно на таких крупных водных объектах, как Меконг и Красная река. Они позволяют эффективно использовать водную поверхность без необходимости занимать сельскохозяйственные или городские территории.

Одним из ключевых преимуществ является снижение испарения воды, что особенно важно для регионов с засушливым климатом и сезонными изменениями уровня воды. Однако основным ограничением остается высокая стоимость установки, связанная с необходимостью специальных плавучих конструкций, защиты от течений и штормов, а также более сложного обслуживания по сравнению с наземными системами.

Разработка различных типов солнечных электростанций имеет разные преимущества и ограничения в зависимости от природных условий и конкретных потребностей каждого региона, как показано в таблице 1 [7].

Выводы. В целом, крышные солнечные электростанции являются перспективным решением для Вьетнама, но остаются проблемы, связанные со стоимостью, эффективностью и хранением энергии, которые необходимо решить для максимального использования солнечного потенциала. Наземные солнечные электростанции являются наиболее распространенным типом во Вьетнаме благодаря их высокой эффективности и масштабируемости, но требуют больших площадей и могут вызывать экологические последствия при неправильном выборе места установки. Плавучие солнечные электростанции обладают высоким потенциалом во Вьетнаме, особенно при использовании на водохранилищах ГЭС, но требуют значительных инвестиций и тщательного планирования для минимизации воздействия на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учебное пособие / Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.
2. https://vneconomy.vn/go-diem-nghen-phat-trien-dien-mat-troi-mai-nha.htm?utm_source=chatgpt.com, (n.d.).
3. https://longtech.vn/featured_item/long-tech-hop-tac-cung-greenyellow-trien-khai-thanh-cong-du-an-esco-12mw-tai-thai-binh/, (n.d.) 12.
4. <https://nangluongvietnam.vn/phan-tich-ve-uu-va-nhuoc-diem-cua-dien-mat-troi-mai-nha-24710.html>, (n.d.) 24710.
5. <https://www.evn.com.vn/d6/news/Manh-ghep-cuoi-cung-cua-Trung-tam-Dien-luc-Duyen-Hai-6-13-28515.aspx>, (n.d.) 28515.
6. <https://evn.com.vn/d6/news/Nha-may-Dien-mat-troi-noi-ho-Da-Mi-hoa-luoi-thanh-cong-141-17-23656.aspx>, (n.d.) 23656.
7. T.N.N. Phu D.V., Ninh N.D., Nhan L.T., Optimization of a Grid-Connected Solar Photovoltaic System, TNU J. Sci. Technol. 228 (2023) 280–289.

УДК 69.001.5

В.В. Ротатова, М.Д. Терех
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ЗДАНИЯХ

В условиях глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата, дефицит природных ресурсов и растущее потребление энергии, существует острая необходимость разработки новых технологий, способных значительно снизить энергозатраты и повысить энергоэффективность, которая является важным критерием в любой сфере деятельности.

Биомиметика, как научная дисциплина, предлагает инновационные методы для решения проблем энергосбережения, используя принципы, заложенные в природе [1].

В условиях современных проблем антропогенного влияния на окружающую среду в России необходимо развивать эффективное и осознанное использование энергии с целью снижения ее затрат, уменьшения негативного влияния на окружающую среду и повышения экономической выгоды [2].

Применение биомиметики является приоритетным направлением развития современного проектирования в Российской Федерации в части природоподобных технологий согласно указу президента № 529 от 18.06.2024 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» [3].

Современные здания потребляют значительное количество энергии на искусственное освещение (рис. 1). С целью выполнения нормативных требований по освещению необходимо реализовывать совмещенное освещение, добавляя искусственные источники света, что приводит к повышению энергопотребления, увеличению эксплуатационных затрат и негативному влиянию на здоровье людей.

В связи с этим одной из ключевых задач энергоэффективного строительства является разработка решений, позволяющих максимально полно использовать естественное освещение и минимизировать затраты на электричество.

Один из перспективных подходов к решению этой проблемы – применение принципов биомиметики, вдохновленных природными механизмами распределения света. В данной статье рассматриваются возможности использования биомиметических технологий для оптимизации естественного освещения в зданиях.

Недостаток естественного освещения в зданиях возникает по нескольким причинам:

1. Неправильная ориентация здания и небольшая площадь остекления, ограничивающая проникновение света.
2. Неравномерное распределение света в помещениях, создающее темные зоны и увеличивающее потребность в искусственном освещении, ввиду недостаточной площади остекления (маленькие окна или их недостаточное количество ограничивают доступ дневного света) или из-за глубоких помещений (в больших по площади или вытянутых комнатах свет проникает только в приоконную зону, а дальние участки остаются темными).

Решением данной проблемы является внедрение природоподобных технологий, позволяющих не только повысить светопропускную способность светопрозрачных конструкций зданий, но и улучшить качество распределения световых лучей внутри помещений [4].

Природа обладает множеством эффективных механизмов управления светом, которые можно адаптировать для архитектуры. Ниже приведены основные биомиметические принципы, способствующие повышению энергоэффективности освещения (рис. 2).

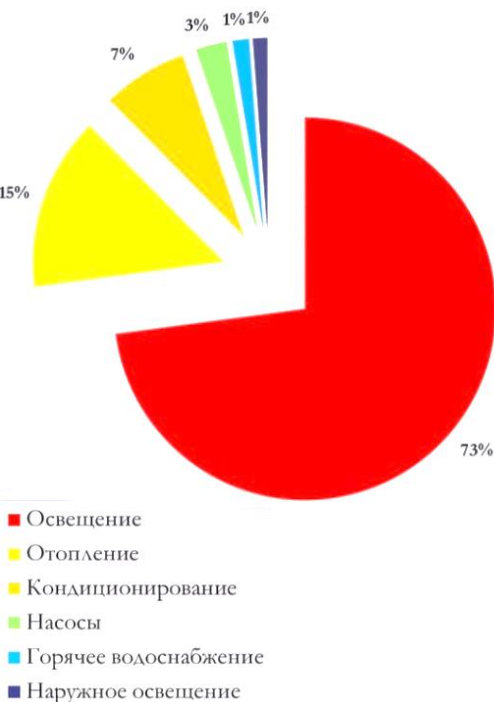


Рис. 1. Структура энергозатрат на эксплуатацию здания



Рис. 2. Варианты применения биомиметических принципов

1. Применение адаптивных фасадов с возможностью изменять угол проникновения света в оконные проемы в зависимости от положения солнца или света.

Этот принцип основан на имитации движения цветков и листьев (явление гелиотропизма – способности растений двигаться в направлении источника света, обычно солнца). Биоморфные крыши и фасады, вдохновленные листьями деревьев способны изменять свои светопропускные свойства в зависимости от уровня естественного освещения.

В природе это явление можно наблюдать у подсолнухов и других растений, которые меняют свое положение в зависимости от солнца, чтобы оптимально улавливать свет или избегать перегрева. В строительстве применяются фасадные панели или ламели, которые автоматически изменяют угол наклона в зависимости от положения солнца.

2. Применение специальных нанопленок на стеклах, которые управляют интерференцией света, увеличивая проникновение естественного освещения в помещение. Крылья некоторых видов бабочек, таких как *Morpho*, обладают сложными наноструктурами, способными эффективно рассеивать и перенаправлять свет. Это свойство можно использовать в строительстве путем внедрения стекол и фасадных покрытий с аналогичными структурами.

Такие покрытия могут менять пропускание света в зависимости от угла падения, обеспечивая комфортное освещение в разное время суток, так как пленки состоят из многослойных наноструктур, которые регулируют пропускание и отражение света за счет конструктивной и деструктивной интерференции (взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких когерентных волн при их наложении друг на друга). Они могут усиливать определенные длины волн (такие как видимый свет) и ослаблять другие (такие как инфракрасное излучение, тем самым снижая нагрев).

Применение этих специальных нанопленок, изменяющих коэффициент пропускания света в зависимости от угла его падения также может позволить оптимизировать освещение в течение дня [5].

3. Создание стекол с микроструктурой, похожей на чешую змей, позволяющих равномерно распределять свет без использования дополнительных источников освещения.

Некоторые змеи, такие как радужный питон (*Morelia viridis*), имеют чешую с микроскопическими кристаллическими структурами, которая эффективно рассеивает и перенаправляет свет и предотвращает перегрев. Подобные структуры на стекле могут обеспечивать равномерное освещение без резких теней. С помощью лазерной обработки на стеклах можно создавать различные текстуры, напоминающие чешуйки змей.

Исследователи из Университета Макгилла (Канада) разработали стеклянные покрытия с нанорельефом, имитирующим чешую рептилий, для равномерного распределения солнечного света в зданиях. Это снижает энергопотребление на освещение и кондиционирование. Японские инженеры из Токийского университета создали тонкие стеклянные пластины с микроструктурами, напоминающими змеиную чешую, которые эффективно рассеивают свет без значительных потерь яркости. Компании Nippon Sheet Glass и Corning разрабатывают наноструктурированные стекла, уменьшающие блики и перераспределяющие свет, вдохновляясь природными узорами на чешуе змей и насекомых [6].

В результате можно сделать вывод, что применение биомиметических принципов в архитектуре за счет оптимизации естественного освещения открывает широкие возможности для повышения энергоэффективности зданий. Использование природоподобных технологий в качестве инновационных решений позволит в значительной мере уменьшить воздействие антропогенной деятельности на природу, минимизировать энергозатраты на освещение и повышение комфорта.

Биомиметические технологии в части организации естественного освещения: наноструктурированные стеклопакеты, адаптивные фасады и стекла с микроструктурами – становятся перспективным направлением при проектировании систем освещения в зданиях, позволяя добиваться высоких значений естественной освещенности при минимальных затратах. В ближайшие годы они станут основой устойчивой архитектуры, ориентированной на максимальное использование природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Benyus Janine M. Biomimicry: Innovation Inspired by Nature / Perennial, 2002, URL: https://www.academia.edu/38300413/Janine_M_Benyus_Biomimicry_Innovation_Inspired_by_Nature_2002_Harper_Perennial_1_
2. Фазлиева Я.С., Ахмадеева О.А. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности зданий в России / Молодой ученый, 2016, №7(111), С. 1020-1022. URL: <https://moluch.ru/archive/111/27864/>
3. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий»
4. Карасева Л.В, Лузина Ю.Л. Современные методы повышения естественной освещенности помещений в уплотненной городской застройке / Молодой исследователь Дона 2018, №4(13) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-povysheniya-estestvennoy-osveschennosti-pomescheniy-v-uplotnennoy-gorodskoy-zastroyke>
5. Tsai CC., Childers R.A., Nan Shi N. et al. Physical and behavioral adaptations to prevent overheating of the living wings of butterflies / Nat Commun 11, 551 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14408-8>
6. Глухова Л.Р., Володин С.С., Коломыцева А.Ю. Перспективы применения нанотехнологий в строительстве / Научный журнал молодых ученых, 2024, №3(38) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-nanotehnologiy-v-stroitelstve>

УДК 697.3

И.С. Тороп, М.И. Куколев
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕНЫ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА ПЛАСТИНЧАТЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ НА ТЭЦ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Цель работы: анализ и оценка экономической эффективности замены кожухотрубного теплообменного аппарата на пластинчатый теплообменный аппарат на ТЭЦ города Санкт-Петербурга, а также изучение потенциальных преимуществ такой замены с точки зрения

сокращения эксплуатационных затрат, повышения энергоэффективности и улучшения общей надежности работы теплообменного оборудования.

Для объяснения эффективности инвестиций необходимо установить объем капитальных вложений в проект для реализации мероприятий по установке пластинчатого теплообменного аппарата. Капитальные инвестиции представляют собой вложения в основной капитал, которые включают расходы на финансовые, трудовые и материальные ресурсы.

Методология исследования: в статье сделаны вычисления по определению экономической эффективности перевода подогревателя сырой воды на ТЭЦ с кожухотрубного типа на пластинчатый.

Между пластинчатыми и кожухотрубными теплообменниками чаще всего выбирают пластинчатые, это объясняется тем, что коэффициент теплопередачи у пластинчатых теплообменных аппаратов примерно в три раза больше, чем у кожухотрубных (КПД пластинчатых равен 90–95%, занимаемая площадь в 3–4 раза меньше, чем у кожухотрубных).

Высокая надежность (например, при гидравлическом ударе), меньшая стоимость оборудования, методика использования (накатка на внешней поверхности трубы кольцевых и винтообразных канавок, увеличивающих теплоотдачу в трубах) предоставляет кожухотрубному теплообменнику некоторые вспомогательные преимущества, если сравнивать с пластинчатыми аналогами, но все же это совершенно не бюджетный вариант [1].

Подбор подходящей конструкции теплообменника принимается технико-экономическим соизмерением нескольких типоразмеров оборудования исходя из заданных условий или согласно фактору повышения эффективности. Существует самый подходящий вариант, который позволяет увеличить капитальные вложения и сократить эксплуатационные расходы, что можно определить графически. Также было установлено, что при увеличении количества и длины труб в пучке, а также уменьшении их диаметра, условная стоимость 1 м² поверхности кожухотрубного теплообменника снижается, что приводит к уменьшению общих затрат на металл в расчете на единицу поверхности теплообмена. Однако следует учитывать, что с увеличением числа труб возрастает вероятность нарушения их плотности в трубной решетке, а использование труб меньшего диаметра может привести к их засоряемости и усложнению процесса очистки. В отличие от стандартных трубчатых модификаций, пластинчатые подлежат разборке и очистке, а также установке новых комплектующих.

Экономическая эффективность будет заключаться в снижении эксплуатационных затрат вследствие установки нового пластинчатого теплообменного оборудования с гарантийным сроком эксплуатации до 30 лет, после достижения которого эксплуатационные затраты будут постепенно увеличиваться.

Прежний кожухотрубный теплообменник каждый год (слишком частые эксплуатационные затраты) нуждается в чистке, его нужно подваривать и подкрашивать, также это оборудование пропускает сырую воду в сетевую, то есть части теплоносителя греющего и нагреваемого могли проникать через неплотные участки в другой поток воды, что приводит к ухудшению свойств теплоносителя [2].

Рассчитана стоимость ремонта кожухотрубных теплоприемников в программе для сметного расчета «АРОС-Лидер» в актуальных ценах на 2025 г., регион: Санкт-Петербург.

В состав ремонта входят [3]: замена мембран и прокладок с изготовлением; отсоединение трубопроводов; разборка с выемкой и заменой трубной системы; очистка; дефектация; сборка; присоединение трубопроводов; гидравлическое испытание; устранение дефектов корпуса, водяной камеры, водоуказательного прибора и крепежных изделий.

Но можно сократить эксплуатационные расходы благодаря замене действующего ПСВК-1 на пластинчатый теплообменник Теплотекс 80 А. Для определения сметной стоимости по наиболее экономичному варианту, отталкиваясь от сбора информации и данных о текущих

ценах был проведен конъюнктурный анализ (согласно п.13 новой методики по Приказу N 421/пр от 4.08.2020 г.) [4].

Начальная стоимость пластинчатого теплообменника Теплотекс 80 А – 319 950 рублей, при этом можно не учитывать погрузо-разгрузочные работы, они входят в стоимость самого оборудования. Все необходимые характеристики действующего ПСВК-1 уступают параметрам пластинчатого теплообменника Теплотекс 80 А, который меньше по габаритам, лучше по производительности и имеет функцию самоотчистки [5].

Рассмотрим ситуацию на ближайшие 10 лет:

1. Действующий ПСВК-1 с каждым годом утрачивает свою производительность и требует более частого ремонта и очистки, следовательно, как минимум 5 раз за эти 10 лет придется произвести ремонт, что в денежном эквиваленте получается:

$$104\,561,7 \times 5 = 522\,808,625 \text{ руб.}$$

При этом в дальнейшем эти расходы будут только расти ввиду порчи теплообменника при работе с достаточно агрессивным теплоносителем.

2. Если установить новый пластинчатый теплообменный аппарат Теплотекс 80 А, то затраты составят:

$$319\,950 + 50\,000 \text{ (работы по установке)} = 369\,950 \text{ руб.}$$

При этом изготовитель даёт гарантию, что при поломке оборудования будет произведена бесплатная замена. Срок службы около 20 лет, но по факту оборудование может исправно служить более 35 лет.

Выводы. Проведенные экономические расчеты доказывают целесообразность установки пластинчатого теплообменника Теплотекс 80 А, позволяющего снизить эксплуатационные расходы за десятилетний период более, чем на 150 000 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. Выбор и расчет теплообменников: Учебное пособие. Пенза: Изд-во ПГУ, 2001. 100 с.
2. Карабанов Ю.Ф. Расчет теплообменника: учебное пособие / Ю.Ф. Карабанов. Иваново: ИЭИ, 1979. 28 с.
3. Сметная программа «Арос-Лидер». URL: aros.spb.ru (Дата обращения 06.03.2025г.)
4. Приказ Минстроя от 04.08.2020 г. №421/пр «Об утверждении методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов РФ на территории РФ – 197 с.
5. Пластинчатый теплообменник Теплотекс 80 А. URL: <https://teploobmennik-russia.ru/catalog/razbornyie-teploobmenniki/teploteks-apv/teploobmennik-teploteks-80-a.html> (Дата обращения 06.03.2025г.)
6. Инструкция ТЭЦ г. Санкт-Петербург по использованию ПСВК-1.

УДК 504.064

С.А. Балабосова, В.В. Елистратов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Энергетика играет ключевую роль в жизни людей и государства, и без хорошей энергосистемы развитие страны было бы затруднительным. Деятельность человека и энергетика влияют на экологию, к 2022 г. количество выбросов парниковых газов в мире достигло 54,7 Гт CO₂-экв [1].

Актуальность данной работы обусловлена развитием возобновляемых источников, которые производят значительно меньше загрязняющих веществ, что делает их одними из

ключевых в борьбе с последствиями изменения климата и переходе к экологически чистой энергетике. Гидроэнергетика является надежной альтернативой ископаемому топливу, благодаря ей удалось избежать выброса более 100 млрд т CO₂ за последние 50 лет.

Методы исследования включают анализ литературных источников, примеров водохранилищ разных стран; сбор и анализ данных; аналитический расчет.

Цель – проведение анализа эмиссии парниковых газов с поверхностями водохранилищ, расположенных в различных климатических зонах.

Задачи: дать оценку состоянию экологической обстановки, проанализировать и сравнить количество выбросов парниковых газов с поверхностями водохранилищ.

Для комплексного исследования вопроса о выделениях парниковых газов с поверхностями водохранилищ гидроэлектростанций были рассмотрены Рыбинское, Куйбышевское и Саяно-Шушенское водохранилища в России, водохранилище Eastmain-1 в Канаде и водохранилище Tucuruí в Бразилии.

Из таблицы 1 видно, что количество выбросов парниковых газов (ПГ) с поверхности водохранилища Tucuruí на несколько порядков больше, чем с водохранилищ, расположенных в умеренном климатическом поясе.

Таблица 1 – Характеристики рассматриваемых водохранилищ [2]

Водохранилище	Площадь, км ²	Климат	Выбросы парниковых газов с поверхности водохранилища	
			г C/(м ² сут)	Мт CO ₂ -экв в год
Рыбинское	4550	Умеренный	0,25	0,42
Куйбышевское	6150	Умеренный	0,30	0,67
Саяно-Шушенское	608	Умеренный	1,70	0,38
Eastmain-1	60,3	Умеренный	3,80	0,08
Tucuruí	2430	Субэкваториальный	213,61	189,46

На основе [2-3] определены выбросы ПГ с водохранилищ с учетом годовой выработки ГЭС (таблица 2).

Таблица 2 – Выбросы с водохранилищ ГЭС

Водохранилище	Выбросы, Мт CO ₂ -экв в год	Мощность, МВт	Годовая выработка, млн кВт·ч	г CO ₂ -экв/кВт·ч
Рыбинское	0,42	386	1171	359
Куйбышевское	0,67	2446	11061	61
Саяно-Шушенское	0,38	6400	24000	16
Eastmain-1	0,08	507	2647	30
Tucuruí	189,46	8370	37665	5018

Значение выбросов с водохранилища ГЭС в субэкваториальном климате превышает значение с ГЭС в умеренном климате более чем в 300 раз. Значение отношения выбросов CO₂-экв к выработке электроэнергии на Рыбинской ГЭС сильно превышают среднее значение. Возможно, это связано с различными методиками определения количества выбросов, географическим положением водохранилищ, типом грунта, местом и временем сбора образцов, погодой и другими факторами. Для получения окончательных результатов нужны дополнительные исследования.

Таким образом, с увеличением температуры количество углекислого газа и метана, выделяющихся с поверхностями водохранилищ, в значительной степени возрастает. Жаркий климат предполагает большое количество выбросов CO₂-экв. Несмотря на это, в умеренном климате выбросы очень малы, поэтому использование гидроэлектростанций на территориях с таким климатом весьма целесообразно.

Также при строительстве и эксплуатации ГЭС Eastmain-1 в Канаде, начиная с 2006 г., были проведены дополнительные исследования по определению и оценке выбросов парниковых газов, связанные с нехваткой данных и отсутствием единых стандартов по определению выбросов [3]. Так, за 4 года исследований были получены следующие данные, сведенные в таблицу 3. По результатам исследований становится понятно, что с каждым годом эксплуатации количество выбросов становится меньше. Так, за 4 года выбросы углекислого газа и метана сократились в 2,5 и 3 раза соответственно. Незначительное увеличение значений в 2009 г. может быть связано с отбором образцов в другое время года или в другой зоне. Очевидно, что эта тенденция будет продолжаться и дальше. В итоге через 15–20 лет выбросы с поверхностей этого и схожих с ним по расположению водохранилищ могут достичь уровня выбросов близлежащих естественных водоемов.

Таблица 3 – Средние выбросы парниковых газов с Eastmain-1

Год	Средние выбросы CO ₂ , г/(м ² сут)	Средние выбросы CH ₄ , мг/(м ² сут)	Выбросы CO ₂ и CH ₄ в год, Мт CO ₂ -экв
2006	9,02	9	0,199
2007	3,49	3	0,077
2008	3,41	4	0,075
2009	3,80	3	0,084

Результаты, опубликованные в Water Security and Climate Change: Hydropower Reservoir Greenhouse Gas Emissions (2021), показали, что медианное значение выбросов парниковых газов за жизненный цикл гидроэнергетики составляет 23 г CO₂-экв/кВт·ч [4].

Таким образом, ввод низкоуглеродной энергетики позволяет экономить выбросы парниковых газов. Выработка электроэнергии в России составляет около 1,18 трлн кВт·ч в год или около 98,3 млрд кВт·ч в месяц. Выработка такого количества энергии, например, на газовых электростанциях сопровождалась бы выбросами 42,3 Мт углекислого газа; на нефтяных – 80,4 Мт; а на угольных – 93,9 Мт [5]. В то время как выбросы гидроэлектростанций не превысили бы 2,3 Мт CO₂-экв. Фактические же выбросы углекислого газа составляют около 76,4 Мт в месяц, что более чем в 30 раз превышает эмиссию ГЭС.

Выводы. Развитие гидроэнергетики обладает значительным потенциалом для благоприятного воздействия на все сферы общества. В то же время необходимо принимать во внимание проблемы и вызовы, которые могут возникнуть на пути этого развития, и стремиться к их решению. В условиях необходимости принятия радикальных решений, направленных на борьбу с изменением климата и повышением температуры, использование ГЭС может в значительной степени снизить выбросы парниковых газов, так как большая часть гидроресурсов РФ располагается в зоне умеренного климата. Были рассмотрены три водохранилища в России, располагающихся в одной климатической зоне: Рыбинское, Куйбышевское и Саяно-Шушенское. Выбросы парниковых газов с поверхностей водохранилищ изменяются в пределах от 0,38 до 0,67 Мт CO₂-экв в год, и порядок этих измерений совпадает.

Проведено сравнение различных климатических зон, и выявлено, что, выбросы водохранилищ за жизненный цикл в умеренном климате примерно равны 16 г CO₂-экв/кВт·ч, в субтропическом – 5018 г CO₂-экв/кВт·ч, более чем в 300 раз.

Установлено, что выбросы углекислого газа и метана с поверхности водохранилища Eastmain-1 за первые 4 года эксплуатации сократились почти втрое. Новые гидроэлектростанции достигнут показателей естественных водоемов через 15–20 лет эксплуатации. Но даже несмотря на это, объемы выбросов на недавно построенных водохранилищах несопоставимы с выбросами станций, работающих на угле и природном газе. Ежемесячная фактическая эмиссия станций на органическом топливе составляет 76,4 Мт, а выбросы ГЭС, обеспечивающих такую же выработку, не превышают 2,3 Мт CO₂-экв, что в 30 раз меньше.

Общая мощность ГЭС России превышает 52 ГВт и составляет 20% от общей мощности всех электростанций, но обладает огромным потенциалом для контроля глобального потепления и соблюдения Парижского соглашения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пилениекс Д.В. Планирование перспективного развития электроэнергетики. – URL: <https://www.soups.ru/> – (дата обращения: 12.12.2024).
2. Елистратов В.В., Масликов В.И., Сидоренко Г.И., Молодцов Д.В. Выбросы парниковых газов с водохранилищ ГЭС: анализ опыта исследований и организация проведения экспериментов в России. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2014, (11):146–159.
3. Bastien J., Damarty M., Tremblay A. CO₂ and CH₄ diffusive and degassing emissions from 2003 to 2009 at Eastmain1 Hydroelectric Reservoir, Quebec, Canada // Inland Waters, 2011, №1, pp.113–123.
4. Ubierna M., Santos C.D., Mercier-Blais S. Water Security and Climate Change: Hydropower Reservoir Greenhouse Gas Emissions. In: Biswas, A.K., Tortajada, C. (eds) Water Security Under Climate Change. Water Resources Development and Management. Springer, Singapore, 2021, pp. 69-94. – URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-5493-0_5 – (дата обращения: 10.02.2025).
5. Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии // СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 528 с. DOI:10.18720/SPBPU/2/id22-32.

УДК 697.97

Е.И. Каримова, О.В. Аверьянова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК С ВСТРОЕННЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ В РЕЖИМЕ НАГРЕВА ВОЗДУХА

Актуальность: одной из основополагающих идей Федерального закона N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» является уменьшение объема используемых энергетических ресурсов [1]. Таким образом, все более значимую роль в развитии экономики современной России играют вопросы энергоэффективности и энергосбережения, а следовательно, и альтернативные источники энергии, подавляющую часть которых можно отнести к категории низкопотенциальных.

К данной категории относятся и вторичные энергетические ресурсы, являющиеся продуктом функционирования множества предприятий и обладающие большим потенциалом для повторного использования, однако зачастую безвозвратно рассеивающиеся в окружающей среде. Одним из наиболее эффективных методов утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов является применение тепловых насосов [2].

В настоящее время в связи с повышением уровня качества жизни неминуемо возрастают требования к системам вентиляции и кондиционирования воздуха, как к необходимым элементам инженерного оборудования зданий и сооружений различного назначения. Централизованная реализация всех необходимых процессов обработки воздуха возможна при использовании специального климатического оборудования – приточно-вытяжных установок. Встроенный в корпус приточно-вытяжной установки тепловой насос позволяет повысить эффективность системы при нагреве воздуха.

Ввиду того, что применение приточно-вытяжных установок со встроенным тепловым насосом на данный момент не находит широкого применения в России, расчет энергетической эффективности данных устройств может стать инструментом, обосновывающим целесообразность их применения для различных климатических районов нашей страны.

Цель работы: составить алгоритм для определения энергетической эффективности приточно-вытяжных вентиляционных установок с тепловым насосом.

В качестве исходных данных для определения энергетической эффективности приточно-вытяжной установки с тепловым насосом принимаем: расход приточного воздуха в помещении G , климатический район с выбранной для него расчетной температурой наружного воздуха в холодный период года $t_{нв,х}$, температуру внутреннего воздуха помещения $t_{вв}$.

Значения удельной тепловой нагрузки теплового насоса $q_{тн}$, удельной тепловой нагрузки испарителя $q_{и}$, удельной теплоты сжатия $l_{сж}$ находим по lgP–i диаграмме рабочего вещества теплового насоса – хладагента.

Рассчитываем расход теплоты на нагрев приточного воздуха по формуле (1) [3]:

$$Q_{hi} = G\rho c(t_{вв} - t_{нв,х}), (1)$$

где ρ – плотность наружного воздуха; c – теплоемкость наружного воздуха;

Принимаем, что приточно-вытяжная установка оснащена пластинчатым рекуператором, поэтому полученное значение расхода теплоты умножаем на коэффициент эффективности рекуператора η по формуле (2). Для пластинчатых рекуператоров η принимаем равным 0,6 [4].

$$Q_{hi\text{ рек}} = Q_{hi}\eta. (2)$$

Определяем производительность теплового насоса. Так как тепловой насос используется для утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов – вытяжного воздуха, его тепловая нагрузка определяется по формуле (3) [5]:

$$Q_{hpi} = c_v(t_{н1} - t_{н2})G \frac{q_{тн}}{q_{и}}, (3)$$

где c_v – теплоемкость вытяжного воздуха; $t_{н1}$ – температура низкопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос; $t_{н2}$ – температура низкопотенциального теплоносителя после теплового насоса;

Рассчитываем массовый расход хладагента, кг/с, определяем по формуле (4) [6]:

$$G_x = \frac{Q_{hpi}}{q_{тн}}. (4)$$

Если $Q_{hpi} \geq Q_{hi\text{ рек}}$, то тепловой насос может полностью обеспечить нагрузку на систему вентиляции, использование калорифера вентиляционной установки не требуется.

Если $Q_{hpi} < Q_{hi\text{ рек}}$, то требуется дополнительный подогрев воздуха в калорифере для обеспечения тепловой нагрузки, по формуле (5) равной:

$$Q_{ki} = Q_{hi\text{ рек}} - Q_{hpi}, (5)$$

По формуле (6) рассчитываем удельную энергию, потребляемую электродвигателем компрессора [6]:

$$W = \frac{l_{сж}}{\eta_{э.м.}\eta_{э}}, (6)$$

где $\eta_{э.м.}$ – электромеханический КПД компрессора, равный 0,9...0,95; $\eta_{э}$ – КПД электродвигателя, принимаемый 0,6...0,95.

Определяем электрическую мощность компрессора теплового насоса по формуле (7) [6]:

$$N_{hi} = WG_x. (7)$$

Для получения среднегодовых показателей расхода теплоты на нагрев приточного воздуха, тепловой нагрузки калорифера, электрической мощности компрессора теплового насоса данные величины умножаем на количество часов наблюдения температуры наружного воздуха $t_{нв,х}$ по формулам (8), (9) и (10) соответственно:

$$Q_{h\text{ рек}} = \sum (Q_{hi\text{ рек}}\tau_i), (8)$$

где τ_i – количество часов наблюдения температуры наружного воздуха $t_{нв,х}$ в год;

$$Q_k = \sum (Q_{ki} \tau_i), \quad (9)$$

$$N_H = \sum (N_{Hi} \tau_i). \quad (10)$$

Расчет среднегодовой экономии энергии в энергетическом выражении может быть произведен по формуле (11) [7]:

$$K = \frac{Q_{h \text{ рек}} - (N_H + Q_K)}{Q_{h \text{ рек}}} 100\%. \quad (11)$$

Стоимость электрической энергии в России зачастую выше стоимости тепловой энергии. Для учета эффективности применения рассматриваемых устройств в финансовом выражении вводим коэффициент k [8], рассчитываемый по формуле (12):

$$k = \frac{C_{\text{э}}}{C_{\text{т}}}, \quad (12)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт электрической энергии; $C_{\text{т}}$ – стоимость одного кВт электрической энергии;

Рассчитываем среднегодовую экономию системы с учетом данного коэффициента по формуле (13):

$$K = \frac{Q_{h \text{ рек}} - (kN_H + Q_K)}{Q_{h \text{ рек}}} 100\%. \quad (13)$$

Выводы: составлен алгоритм для определения энергетической эффективности приточно-вытяжных вентиляционных установок с тепловым насосом, утилизирующим теплоту вентиляционных выбросов в режиме нагрева приточного воздуха. В расчете использованы среднегодовые показатели расхода теплоты на нагрев приточного воздуха, тепловой нагрузки калорифера, электрической мощности компрессора теплового насоса с учетом количества часов наблюдения выбранной температуры наружного воздуха. Результатом расчета является величина среднегодовой экономии энергии рассматриваемой системы, выраженная в процентах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 01.03.2025).
2. Ковалев О.А. Тепловые насосы: эффективные нестандартные решения поставленных задач// АВОК. 2023. №3.
3. Болдин В.П. Калориферные установки [Текст]: учеб. пособие / В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, В.В. Сухов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. ISBN 978-5-528-00494-5
4. Рекуперация, краткий обзор оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://merakom.ru/technology/recuperators/> (дата обращения: 01.03.2025).
5. Трубаев П.А. Тепловые насосы [Текст]: учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010.
6. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: Учеб. пособие для вузов [Текст]: учеб. пособие / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. М.: Энергоиздат, 1981.
7. Никитин А.А., Рябова Т.В., Муравейников С.С. Встраиваемый воздушный теплоутилизатор. СПб: Университет ИТМО, 2021.
8. Муравейников С.С., Сулин А.Б., Баранов И.В., Рябова Т.В. Методика оценки эффективности применения систем утилизации теплоты вытяжного воздуха // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 21–26.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ВЗАИМНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ОХЛАДИТЕЛЕ ПРОБ ВОДЫ

Целью работы является исследование эффективности вариантов взаимного направления движения теплоносителей в пробоотборном охладителе с помощью методов вычислительной гидро-газодинамики в программном комплексе Ansys 2022R2 на основе провалидированной расчетной математической модели.

Объектом исследования является одноточечный охладитель проб воды, чертеж которого представлен на рисунке 1. На основе чертежа была создана твердотельная модель в САД системе (рис. 2), которая затем была преобразована в расчетную модель учитывая особенности CFD расчетов [1, 2]. Рассматриваемый охладитель проб установлен на реальном объекте, в блочно-модульной котельной и обеспечивает охлаждение проб для химического анализа из различных точек котельной.

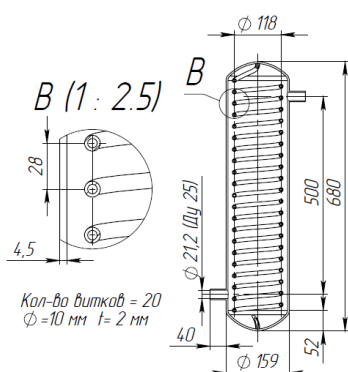


Рис. 1. Чертеж охладителя проб

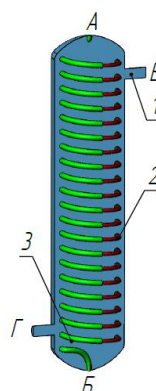


Рис. 2. Разрез расчетной модели охладителя проб:
1 – охлаждающая среда; 2 – охлаждаемая среда;
3 – змеевик; А-Г – патрубки входа-выхода

Материал корпуса – сталь ст3сп, материал змеевика – 12Х18Н10Т. Так как котельная имеет два независимых водных контура с разными характеристиками, диапазон температур охлаждаемых проб колеблется от +5 °С до + 95°С. В период пусконаладочных работ были сняты данные работы охладителя отбора пробы с сетевого контура, данные представлены в таблице 1.

Таблица 1– Экспериментальные данные, снятые с патрубков охладителя проб во время ПНР

Патрубок	Температура, К	Давление, МПа	Расход, кг/с
А	336	0,42	0,1
Б	300	-	-
В	281	0,23	-
Г	287	-	0,5

Для расчетов в программном комплексе Ansys в качестве модуля подготовки модели и расчетов использовался пакет CFX, для создания сетки – модуль Mesh, для импорта модели – DesignModeler.

Расчетную сетку для гидро-газодинамики можно выполнить в модуле Mesh [3]. Также, для получения корректных полей температур важно иметь подробную сетку в пристеночном

слое, что достигается при использовании опции Inflation Layer. Пристеночные слои необходимо строить по границам жидкость-твердое тело (области 1–2 на рисунке 2), но для расчетной сетки змеевика необходимости в пристеночных слоях нет, так как это твердое тело, а не область течения.

Для проведения расчетов созданные сетки импортировались в модуль CFX-Pre, где задавались общие параметры зон, граничные условия и настройки решателя CFX-Solution. Модель турбулентности была выбрана SST (Shear Stress Transport) как наиболее универсальная в разных режимах течениях и моделирования турбулентной теплопроводности [4]. Теплотериями через корпус пренебрегаем, поэтому делаем дополнительное условие адиабатности внешних стенок зоны 1.

В качестве граничных условий задавались экспериментальные данные (см. таблицу 1), использовалась комбинация Полное давление (Total Pressure) + Полная температура (Total Temperature) на входе и Массовый расход (Mass Flow Rate) на выходе. Использование “Полных” параметров обусловлено относительными малыми скоростями среды и общей стабильностью расчетов по сравнению со статическими параметрами.

Для соединения всех расчетных сеток в единую расчетную модель использовались 2 интерфейса жидкость-твердое тело, для соединения охлаждающей среды – змеевика и змеевика – охлаждаемой среды. Учитывая возможности программы, можно было бы не использовать модель змеевика, соединив среды одним интерфейсом с заданием условной толщины материала или задав коэффициент теплопроводности. Несмотря на преимущества такого варианта – сокращение количества расчетной сетки на 30% – в данном исследовании было принято решение отказаться от такого метода в силу частоты эксперимента.

Качество решения оценивалось по параметрам сходимости небалансов (меньше 0.1) и невязкам, по окончании расчета результаты обрабатывались в CFX-POST. Рассматривая наиболее турбулентные зоны – например, столкновение потока охлаждающей жидкости на входе в охладитель со змеевиком – параметр Y_{plus} не превышает рекомендованных значений для задач теплообмена с использованием низкорейнольдсовых моделей [5]. Получившиеся данные расчета (табл. 2), а также сравнительный анализ с экспериментальными данными (табл. 3) представлены ниже. Итоговые погрешности не превышают 5% – что, учитывая погрешности при измерениях, допустимо в нашем случае. После валидации расчетной модели можно провести второй расчет, поменяв патрубки входа-выхода охлаждающей среды местами, обеспечив взаимное движение сред в режиме противотока. После обработки результатов данные были сведены в таблицу 3.

Таблица 2 – Результаты расчетов охладителя при варианте прямотока сред

Параметр	Патрубок			
	А	Б	В	Г
Температура, К	336	297	281	288
Давление, Па	426578	206736	232768	229942
Расход, кг/с	0,1		0,5	
Скорость, м/с	3,6		1,4	
Q, кВт	16,18		-16,13	
Изменение температуры, К	39		7	
Изменение температуры эксперимент, К	36		6	

Используя функционал модуля CFX-POST, были выполнены 10 сечений по высоте охладителя, через каждую протекающую среду, затем сняты округленные по массовому расходу значения температур, относительный 0 – середина патрубка В. Используя полученные значения, были построены графики изменения температур по высоте охладителя (рис. 3 и 4).

Таблица 3 – Результаты расчетов охладителя при варианте противотока сред

Параметр	Патрубок			
	А	Б	В	Г
Температура, К	336	294	289,6	281
Давление, Па	426578	206734	229842	232768
Расход, кг/с	0,1		0,5	
Скорость, м/с	3,6		1,4	
Q, кВт	17,58		-17,58	
Изменение температуры, К	42		8,6	

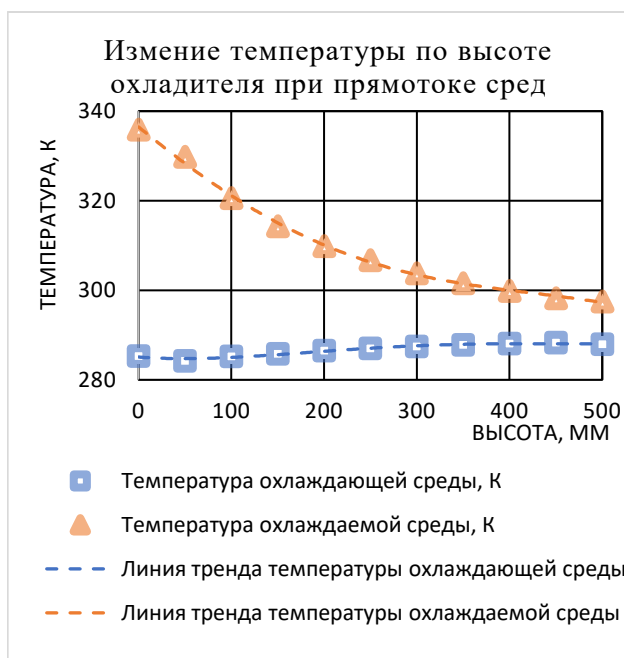


Рис. 3. Изменение температуры по высоте охладителя при прямотоке сред



Рис. 4. Изменение температуры по высоте охладителя при противотоке сред

Таким образом можно сделать *вывод*, что рассматриваемом случае направление движения охлаждающей среды существенно не влияет на процесс отбора проб, и нерационально производить повторные монтажные работы по переделке подключения патрубков охлаждающей среды, так как разница в конечных температурах позволяет выполнить химический анализ пробы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аникеев А.А. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики: учебное пособие / А.А. Аникеев, А.М. Молчанов, Д.С. Янышев. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.
2. Денисов М.А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и в КОМПАС-3D: учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург: УрФУ, 2015.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов. М.: Компьютер Пресс, 2002.
4. Щербаков М.А. Сравнительный анализ моделей турбулентности с использованием научного кода «FASTEST-3D» и коммерческого пакета ANSYS CFX / М.А. Щербаков, А.А. Юн, Б.А. Крылов // Вестник МАИ, Т.16. 2009. № 5. С. 116–122.
5. ANSYS CFX-Solver Theory Guide. SAS IP, Inc., 2011.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НЕЗАДЫМЛЯЕМОЙ ЗОНЫ
НА РАБОТУ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

При пожаре наиболее распространённой причиной гибели людей является отравление продуктами горения [1]. Ограничение распространения дыма и обеспечение безопасной эвакуации людей являются ключевыми вопросами обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях.

Одним из основных инструментов обеспечения эвакуации является работа системы противодымной вентиляции (СПДВ), проектирование которой всегда начинается с расчета ее основных параметров. Для этого на сегодняшний день в РФ существуют две сертифицированные методики: методика АВОК [2] и методика ВНИИПО [3]. В этих документах представлены различные формулы и зависимости для определения основных параметров СПДВ. В методике [2] не регламентирован, подбор высоты незадымляемой зоны (НЗ). В примерах расчетов без обоснований принимались стандартные 2,5 м. В пособии [4] также рекомендуется принимать высоту НЗ от 2,2 до 2,5 м.

В методике [3] есть уточнение для удаления продуктов горения (ПГ) из помещений, являющимися очагами пожара: «...толщина дымового слоя определяется расположением его нижней границы не ниже верхнего уровня дверных проемов эвакуационных выходов из данного помещения...». При удалении ПГ из помещений, смежных с горящими помещениями должна выполняться следующая зависимость (1):

$$0,5 \leq h_{sm}/H \leq 0,6, \quad (1)$$

где h_{sm} – предельная толщина дымового слоя, H – высота коридора.

С таким условием на НЗ остается 0,4–0,5 от высоты коридора и при невысоких потолках допускается принимать в высоту НЗ ниже, чем верхний уровень дверных проемов.

Таким образом, современные нормативные документы четко не регламентируют выбор высоты НЗ. Однако этот параметр прямо или косвенно влияет на остальные параметры при расчете СПДВ.

Актуальность исследования обусловлена стремлением повысить эффективность работы систем противодымной вентиляции. Корректный учёт влияния высоты НЗ даст возможность более точно проектировать СПДВ.

Цель работы: выявить зависимость параметров противодымной вентиляции при разных высотах НЗ в случае удаления ПГ из коридора, смежным с горящим помещением.

Задачи исследования: проведение расчётов в соответствии с методикой [3] и анализ результатов.

Методы исследования включают анализ нормативных документов, сбор и анализ данных, аналитические расчеты и анализ полученных результатов.

Исходные данные:

1. Геометрия для выбранного сценария. План этажа представлен на рисунке 1. Очаг пожара расположен на кухне. Расстояние от пола до потолка в квартире $H_{кв} = 3,6$ м, в коридоре $H = 3$ м.
2. Параметры пожарной нагрузки. По таблице 2 [5] принято: «Мебель: дерево + облицовка».
3. Характеристики элементов сети в первом приближении. Принят клапан и воздуховод 900×700.
4. Климатические данные по Санкт-Петербургу (СП 131.13330.2020).

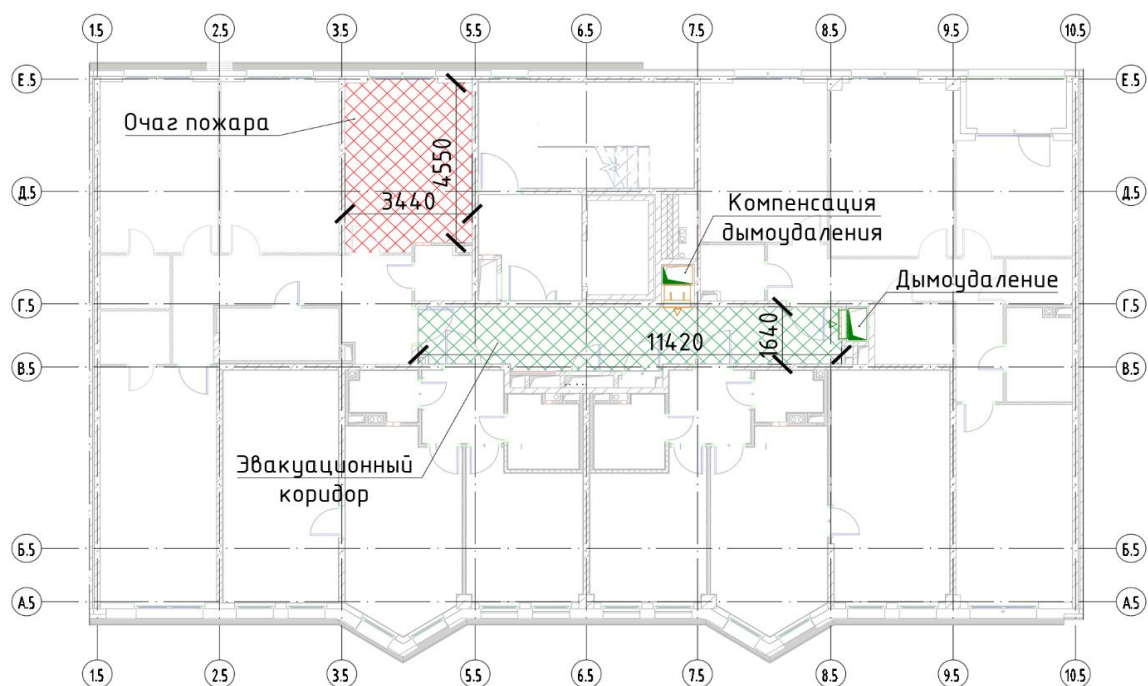


Рис. 1. План этажа

Таблица 1 – Результаты расчетов

$H_{нз},$ м	$T_{SM},$ К	$\rho_{ПГ},$ кг/м ³	$L_{ПГ},$ м ³ /час	$V_{КЛ},$ м/с	$\Delta P_{КЛ},$ Па	$V_{Ш},$ м/с	$G_{Ш},$ кг/с	$L_v,$ м ³ /час	$P_{sv},$ Па	$t,$ °С
1,2	486	0,73	21916	11,02	166,15	9,67	4,6446	22587	735,64	204
1,3	482	0,73	21746	10,93	164,87	9,59	4,6438	22585	702,28	201
1,4	478	0,74	21568	10,84	163,52	9,51	4,6419	22232	690,4	197
1,5	474	0,74	21381	10,75	162,1	9,43	4,6409	22041	684,08	193
1,6	470	0,75	21184	10,65	160,61	9,35	4,6399	21842	677,47	189
1,7	465	0,76	20977	10,55	159,04	9,25	4,6388	21631	670,56	185
1,8	461	0,77	20759	10,44	157,39	9,16	4,6376	21410	663,35	180
1,9	455	0,78	20529	10,32	155,64	9,06	4,6363	21176	655,8	175
2,0	450	0,78	20287	10,2	153,8	8,95	4,635	20930	647,9	170
2,1	444	0,79	20031	10,07	151,86	8,84	4,6336	20669	639,65	165
2,2	438	0,81	19761	9,93	149,81	8,72	4,6321	20395	631,02	159
2,3	432	0,82	19475	9,79	147,65	8,59	4,6304	20104	621,99	153
2,4	425	0,83	19173	9,64	145,36	8,46	4,6287	19797	612,57	147
2,5	418	0,84	18855	9,48	142,95	8,32	4,6269	19473	602,72	140
2,6	411	0,86	18518	9,31	140,39	8,17	4,625	19131	592,47	133
2,7	403	0,88	18163	9,13	137,7	8,01	4,6229	18770	581,8	126
2,8	395	0,89	17790	8,94	134,87	7,85	4,6207	18390	570,74	118
2,9	386	0,91	17398	8,75	131,9	7,68	4,6184	17991	559,31	109

Основной интерес представляют следующие расчетные параметры:

- характеризующие состояние дымового слоя (средняя температура дымового слоя T_{SM} , средняя плотность ПГ $\rho_{ПГ}$, объемный расход ПГ $L_{ПГ}$);
- характеристики в начале сети (скорость ПГ в клапане $V_{КЛ}$, потери давления в открытом клапане $\Delta P_{КЛ}$, скорость ПГ в шахте $V_{Ш}$);
- влияющие на подбор оборудования (массовый расход продуктов горения с учетом подсосов $G_{Ш}$, объемный расход вентилятора L_v , статическое давление вентилятора,

приведённое к нормальным условиям P_{SV} , температура продуктов горения перед вентилятором t).

При расчете удаления ПГ из помещений, смежных с горящими помещениями в отличие от других сценариев, массовый расход ПГ $G_{ПГ}$ не зависит от $H_{НЗ}$, а лишь от габаритов эвакуационных дверей.

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Графическое представление изменения параметров СПДВ при увеличении высоты незадымляемой зоны представлено на рисунке 2.

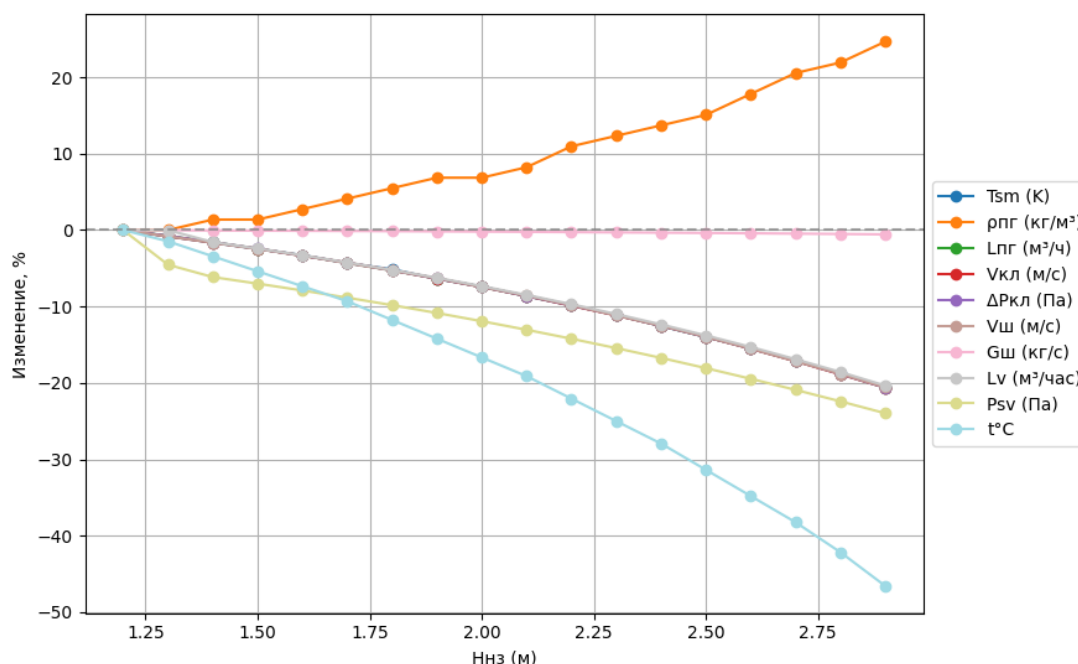


Рис. 2. Относительное изменение параметров при базовом значении $H_{НЗ} = 1,2$ м

В результате расчетов можно сделать следующие *выводы*:

1. При увеличении незадымляемой зоны в коридоре средняя плотность ПГ $\rho_{ПГ}$ выросла примерно на 25%.
2. Расход продуктов горения с учетом подсосов почти не изменился, так как подсосы составляют малую долю $G_{ш}$, а при выбранном сценарии $G_{ПГ} = \text{const}$.
3. Температура ПГ перед вентилятором снизилась на 47%.
4. Остальные параметры уменьшились примерно на 21%, кроме P_{SV} , снизившегося на 24%

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Рекомендации АВОК 5.5.1-2018. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий // ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС». 2018.
3. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий: Метод. рекомендации к СП 7.131130.2013. – М.:ВНИИПО, 2013.
4. Проектирование систем вентиляции опасных производственных объектов: учебно-методическое пособие / Д.В. Абрамкина, К.М. Фатуллаева; Издательство МИСИ – МГСУ, 2022.
5. СИТИС СПН-1 Пожарная нагрузка. Справочник. Редакция 1 от 14.05.2014.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА РАНКА-ХИЛША В ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Цель работы: сбор и анализ технической информации для создания экспериментальной установки по испытаниям тепловой трубы с целью получения необходимых технических характеристик и оценки перспективности её применения в составе тригенерационной установки.

Методы исследования: изучение источников литературы и справочных материалов по теме исследования, анализ экспериментальных данных и расчетной модели.

В настоящее время существует большое разнообразие систем тепло- и холодоснабжения. Все они используются для создания комфортных климатических условий.

К основным составляющим систем холодоснабжения относятся:

- холодильные машины с системами, распределяющими рабочее вещество;
- охлаждающие приборы;
- вспомогательное оборудование (смазочные системы, ресиверные станции).

Системы холодоснабжения классифицируются по следующим признакам:

- производительности (крупные, средние и малые);
- по способу охлаждения объекта (воздушные, с хладоносителем, системы непосредственного охлаждения);
- степени автоматизации (автоматизированные, полуавтоматизированные, неавтоматизированные);
- местоположению в сооружении (централизованные и децентрализованные);

К основным элементам системы теплоснабжения относятся:

- теплоисточник (ТЭЦ, котельная, котел или др.);
- системы транспортировки тепловой энергии (тепловые сети);
- потребители тепла (радиаторы, калориферы и др.)

Классификация систем теплоснабжения производится по следующим признакам:

- по месту выработки теплоты (централизованные, местные);
- по способу присоединения системы горячего водоснабжения (открытые, закрытые);
- по способу подключения системы отопления (зависимые и независимые);

Основными недостатками этих систем является то, что для их действия необходимо использование сравнительно большого количества энергоресурсов, объем которых уменьшается, а также в устройстве систем используются химические вещества в качестве теплоносителя и хладоносителя, что может быть опасным для здоровья человека.

Для решения данной проблемы возможно использовать системы тригенерации. Тригенерация – это процесс комбинированного получения электрической и тепловой энергии, а также холода [1]. Системы тригенерации классифицируются по следующим признакам:

- по способу генерации электрической энергии (паротурбинные, газотурбинные, парогазовые);
- по способу производства тепловой энергии на нужды отопления (наиболее эффективные имеют в составе котел-утилизатор);
- по способу генерации холода на нужды кондиционирования (абсорбционные холодильные машины, парокомпрессионные и др.).

Наиболее эффективными системами считаются абсорбционные холодильные машины (АБХМ). Их основным преимуществом является способность использовать теплоту горячего

теплоносителя (около $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$) для охлаждения холодоносителя системы кондиционирования до температуры $(-5) \div (-10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет фазового перехода воды в условиях, близких к вакууму [2]. Также, удобство АБХМ заключается в возможности ее подключения к контуру теплоносителя, связанного с котлом утилизатором, и привязке системы отопления к тому же контуру, что упрощает технологическую схему системы тригенерации. Немаловажным преимуществом АБХМ является минимальное потребление электроэнергии: на 1000 кВт холода требуется около 2,5–4,5 кВт, холодильный коэффициент равен 0,7–1,1, холодильная мощность лежит в диапазоне 0,6–4,0 МВт. Однако недостатком данной системы является необходимость подвода охлаждающего теплоносителя температурой $27\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чего требуется возводить градирни [3].

Возможным усовершенствованием систем тригенерации может стать использование вихревого эффекта Ранка-Хилша, т. е. явления температурного разделения вращающегося в трубке потока газа, в центральных слоях которого наблюдается понижение температуры, а на периферии – повышение. На одной стороне установки имеется отверстие, диаметр которого меньше диаметра основной трубки. Часть воздуха выходит из устройства через это отверстие при более низкой температуре, чем на входе. Это отверстие называется холодным выходом. Оставшаяся часть газа имеет более высокую температуру и выходит через горячий выход с установленным дросселем, расположенный на конце основной трубы. Таким образом, эффект Ранка-Хилша позволяет получить одновременно холод и тепло, а также он сравнительно прост в реализации [4].

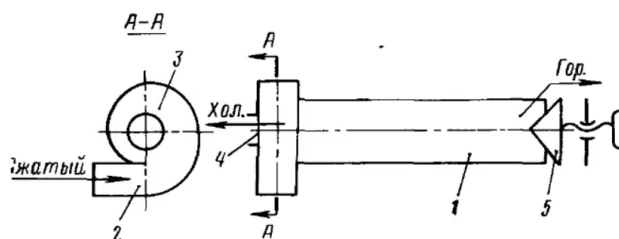


Рис. 1. Общий вид вихревой трубы [5]: 1 – гладкая цилиндрическая труба с тангенциальным соплом; 2 – тангенциальное сопло; 3- выходная улитка; 4 – диафрагма; 5 – дроссельный кран

Эффект был открыт в 1931 г., но до сих пор не имеет строгого научного объяснения. Исследованием эффекта продолжают заниматься отечественные и зарубежные ученые. Среди отечественных ученых вклад в изучение этого эффекта внесли: В.С. Мартыновский, В.П. Алексеев, А.П. Меркулов (1969 г.), А.Д. Сулов, Ю.М. Кочетков, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин, Ю.В. Чижиков и др.

Было разработано множество конструкций вихревой трубы. Основное отличие заключается в различных вариациях выполнения тангенциального соплового входа и длине цилиндрической части. Наиболее удачными считаются вихревые трубы В.С. Мартыновского и В.П. Алексеева, которым удалось устранить зону завихрения и повысить эффективность за счет использования тангенциально-лоткового входа. Трубка имеет двухсопловый вход и длину вихревой зоны 50 калибров (рис. 2).

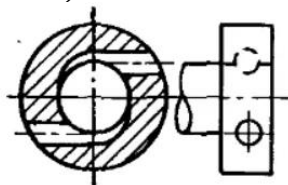


Рис. 2. Схема сопла вихревой трубы В.С. Мартыновского и В.П. Алексеева [5]

Конструкция А.П. Меркулова имеет сопловой вход прямоугольного сечения и прямоугольную входную улитку, построенную по спирали Архимеда, что позволяет устранить зону завихрения на сопловом срезе при сохранении простоты конструкции. Также в этой трубке сокращена длина вихревой зоны до 9 калибров за счет установки спрямляющей четырехлопастной крестовины перед дросселем горячего потока.

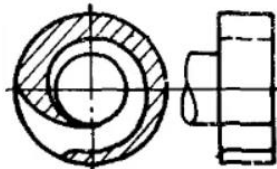


Рис. 3. Схема сопла вихревой трубы А.П. Меркулова [5]

Еще большее сокращение вихревой трубы (до 4 калибров) представлено в конструкции В. Хендала. В данной конструкции используется конусность вихревой зоны с увеличением диаметра горячего конца вихревой трубы при приближении к дросселю [5].

На основе проведенного анализа литературных источников разрабатывается экспериментальная установка по испытаниям тепловой трубы с целью получения необходимых технических характеристик и оценки перспективности её применения в составе тригенерационной установки. Предполагается использование вихревой трубы с малой длиной вихревой зоны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шелгунов А.В. Сравнительный анализ автономных энергоцентров с когенерацией и тригенерация // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. Т. 2. Вып. 3. С. 129–140.
2. Сурмин С.Е. Применение вихревой трубы в системах тригенерации / С.Е. Сурмин, А.А. Шумихина, М.И. Куколев // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: Мат-лы II Всеросс. (национальной) научно-практ. конф. Архангельск, 26 ноября 2020 г. Северный (Арктический) федеральный ун-т им. М.В. Ломоносова, 2021. – С. 167–169.
3. Громов Б.Н., Сердюкова М.А., Панфилов А.Ю. Энергетическая эффективность тригенерации для зданий в мегаполисах // Энергосбережение. 2016. №1. С. 40–44.
4. Ахметов Д.Г. Вихревая трубка ранка. Структура течения. Механизм эффекта ранка / Д.Г. Ахметов, Т.Д. Ахметов, В.А. Павлов // XII Всеросс. съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : Сб. трудов в 4-х томах, Уфа, 19–24 августа 2019 г. Том 2. Уфа: Башкирский гос. ун-т, 2019. С. 56–58.
5. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969.

УДК 694.1

А.В. Чередник, А.А. Константинова, Е.А. Чабина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СТЕН ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Деревянное домостроение в России – одна из самых древних технологий, активно развивающаяся и в настоящее время. Широкое применение древесины в качестве строительного материала обусловлено большим запасом хвойного леса на территории Российской Федерации. Такой материал лёгок в обработке, обладает высокой прочностью, морозостойкостью и сейсмостойкостью. Помимо высоких эксплуатационных качеств, стоит отметить прекрасные декоративные свойства деревянной поверхности при условии качественной обработки и защиты. Кроме этого, деревянные конструкции, применяемые для возведения основных несущих стен, обладают меньшим весом по отношению к каменным

конструкциям, следовательно, уменьшается объем фундаментов, снижаются транспортные и монтажные затраты, что значительно удешевляет процесс строительства [1]. Деревянное домостроение широко поддерживается в мире, как соответствующее Киотскому протоколу сокращения выбросов CO₂ [2].

В настоящее время в России активно развивается малоэтажное и индивидуальное жилищное строительство, в связи с чем широко продвигаются новые технологии зданий из древесины. Благодаря своим достоинствам древесина чаще всего используется как самостоятельный материал для ограждающих конструкции без необходимости использования дополнительных облицовочных материалов. Тем не менее, древесина обладает и рядом недостатков, среди которых относительно низкие теплоизоляционные свойства по сравнению с современными теплоизоляционными материалами.

Для оценки параметров деревянных ограждающих конструкций необходимо выполнить теплотехнические расчеты с учетом природно-климатических характеристик региона строительства, типа и особенностей изготовления ограждающих конструкций. В работе рассмотрены две технологии деревянного домостроения: конструкции, выполненные из клееного профилированного бруса, и конструкции, выполненные по технологии «двойной брус» (с деревянным каркасом и заполнением утеплителем).

Цель работы: анализ теплозащитных свойств различных видов конструкций из древесины, и определение наиболее энергоэффективной технологии для строительства дома на территории г. Владивосток.

В качестве примера приведены результаты теплотехнических расчетов участка плоской глухой наружной стены без других элементов с иными теплотехническими свойствами (оконных проёмов, дверей, дюбелей и пр.). В соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [3] для определения сопротивления теплопередаче наружной стены были рассчитаны градусо-сутки отопительного периода (ГСОП, °C·сут/год) по формуле (1):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})z_{\text{от}}, (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °C; $z_{\text{от}}$ – продолжительность, сут/год.

В соответствии с ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [4] и СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [5] минимальное значение оптимальной температуры жилого здания равно 20°C, продолжительность и средняя температура наружного воздуха периода со средней суточной температурой ≤ 8°C равны 199 суток и -4,2°C соответственно.

Для территории Владивостока значение ГСОП составляет 4816 °C·сут/год.

Требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены (R_0^{TP}) было определено по формуле (2):

$$R_0^{\text{TP}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, (2)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых принимаются по таблице 3 [3].

С учетом всех значений, требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен для г. Владивосток равно 3,09 м²·°C/Вт.

Рассмотрим 1 вариант конструкции – наружная стена из клееного профилированного бруса. Этот тип конструкции выполнен из отдельных досок, которые склеиваются между собой под давлением с помощью специального клея. Брус калибруется и оснащается замковым профилем [6]. В деревянном домостроении в качестве сырья чаще всего используется хвойная древесина (сосна, ель). Ширина клееного профилированного бруса варьируется от 150 до 300 мм и, обычно, не оснащается дополнительными материалами (утеплитель, облицовочные материалы и пр.). Поэтому проводим расчет фактического сопротивления теплопередаче наружной стены из клееного бруса максимальной толщины 300 мм.

Фактическое сопротивление теплопередаче стены рассчитывается по формуле (3):

$$R_0 = r \left(\frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_H} \right), (3)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности конструкции, учитывающий наличие мостиков холода; α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C) (согласно таблице 4 [3] для стен коэффициент теплоотдачи равен 8,7 Вт/(м²·°C)); α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C) (согласно таблице 4 [3] для стен коэффициент теплоотдачи равен 23 Вт/(м²·°C)); δ_i – толщина i -го слоя материала, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя, Вт/(м·°C).

Коэффициент теплопроводности хвойной древесины (сосна, ель) для условий эксплуатации «Б» составляет 0,18 Вт/(м·°C), поэтому сопротивление теплопередаче стены из клееного бруса толщиной 300 мм без дополнительных слоев составит 1,83 м²·°C/Вт, что меньше R_0^{TP} , поэтому не соответствует нормативам теплозащиты жилых зданий.

Рассмотрим 2 вариант конструкции – наружная стена, выполненная по технологии «двойной брус». В Европе технология «двойной брус» известна более 100 лет и в настоящее время является одним из востребованных методов строительства. Для возведения стены по этой технологии используются две шпунтованные доски, а между ними укладывается утеплитель. Чаще всего в качестве утеплителя используется эковата, так как её сыпучесть позволяет плотно заполнить пространство и минимизировать теплопотери от пустот и щелей. Таким образом, создается стена нужной толщины [7]. Проведем расчет конструкции со следующими параметрами: 44 мм – толщина внутренней доски, 120 мм – толщина утеплителя (эковата от производителя ООО «ЭкоХаус»), 44 мм – толщина наружной доски. Коэффициент теплопроводности эковаты «ЭкоХаус» для условий эксплуатации «Б» равен 0,043 Вт/(м·°C) [8].

С учетом вышеперечисленных значений сопротивление теплопередаче стены «двойной брус» составит 3,10 м²·°C/Вт. Эта величина обеспечивает необходимые теплозащитные характеристики здания, но при этом не превышает требуемое сопротивление более чем на 10% – следовательно, экономически выгодна. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

№	Конструкция стены	Фактическое сопротивление теплопередаче R_0 , м ² ·°C/Вт	Требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{TP} , м ² ·°C/Вт
1	Клееный профилированный брус: сосна 300 мм	1,83	3,09
2	Двойной брус: сосна 44 мм – эковата 120 мм – сосна 44 мм	3,10	

Выводы. В качестве объекта исследования выбраны две конструкции наружной стены: из клееного профилированного бруса и по технологии «двойной брус». Проанализировав произведенные расчеты, можно сделать следующий вывод: технология «двойной брус» значительно превосходит клееный брус по теплотехническим характеристикам, позволяя обеспечить необходимый уровень энергоэффективности здания и сократить затраты на электроэнергию. Помимо этого, стоимость домов, построенных по технологии «двойной брус» почти вдвое ниже стоимости домов из клееного профилированного бруса. Также «двойной брус», в отличие от клееного, исключает использование клеящих составов, благодаря чему в конструкции присутствует естественная воздухо- и паропроницаемость стен дома и не требуется дорогостоящая принудительная вентиляция в помещениях [9]. Учитывая перечисленные факты, технология «двойной брус» может иметь широкое распространение в Дальневосточном регионе России. С учетом ремонтпригодности данной технологии «двойной брус» может стать одним из востребованных решений в малоэтажном строительстве.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рогожина А.В. Развитие и анализ основных технологий малоэтажного строительства из материалов на основе древесины / Жилищное строительство. 2019. №12. С. 35–39.
2. Овсянников С.Н. Проблемы обеспечения теплозащиты и звукоизоляции в зданиях из древесины / Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: мат-лы XIII Междунар. научно-практ. конф., Томск, 28 февраля 2023. Ч. 1. Томск: Томский гос. арх.-строит. ун-т, 2023. С. 15–24.
3. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий (2024) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. М.: Стандартинформ.
4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. М.: Стандартинформ. 2013.
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология (2021) // Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. М.: Стандартинформ.
6. Кочкин Н.А. Основы архитектурно-строительного проектирования. Малоэтажный жилой дом: учебное пособие / Н.А. Кочкин, А.А. Кочкин. Вологда: Вологодский гос. ун-т, 2022.
7. Пивоваров С.А. Двойной брус в малоэтажном домостроении / Сб. мат-лов междунар. научно-практ. конф. 29 декабря 2018 г. М., Том 1. 2018. С. 51–55.
8. Технические характеристики эковаты // Эковата СПб URL: <https://ecovata-spb.ru/ekovata/tehnicheskie-harakteristiki/> (дата обращения: 02.03.2024)
9. Сравнение клееного и двойного бруса // DDD 78 URL: <https://ddd78.ru/tech/tehnologiya-dvoynoy-brus/kleenyy-brus-ili-dvoynoj-brus> (дата обращения: 05.03.2024)

УДК 697.9/620.98

А.О. Сувернева, О.А. Соловьёва
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Цель работы: определение эффективности использования контурных тепловых труб в системах охлаждения центров обработки данных.

В настоящее время в мире быстро увеличивается количество центров обработки данных (ЦОД), в которых размещается вычислительное и сетевое оборудование. С ростом вычислительных нагрузок увеличивается тепловыделение оборудования. Вырабатываемое тепло необходимо эффективно удалять, повышая холодильную мощность соответствующего оборудования [1].

Наиболее популярным вариантом охлаждения ЦОД является создание систем холодных и горячих коридоров, монтирование в них фальшпола и установка прецизионных кондиционеров. Однако, приведенные способы охлаждения считаются эффективными, но имеют следующие недостатки:

1. Классические охлаждающие системы включают в свой состав большое количество устройств, потребляющих электроэнергию (вентиляторы, компрессоры, запорно-регулирующая арматура и др.), которые необходимы для обеспечения циркуляции холодоносителя. Кроме того, транспортировка холодоносителя на большие расстояния приводит к снижению охлаждающего потенциала.

2. Наличие большого количества подвижных деталей, подверженных износу и создающих высокую звуковую нагрузку.

3. Необходимость значительного перепада температур в охлаждающем цикле, а также смешение горячих и холодных потоков воздуха внутри помещения ЦОД, приводят к снижению эффективности работы холодильного оборудования.

В последние годы наблюдается активное развитие технологий охлаждения ЦОД (рис. 1), направленных на оптимизацию управления потоками воздуха внутри ЦОД и снижение общего энергопотребления системы охлаждения [2].

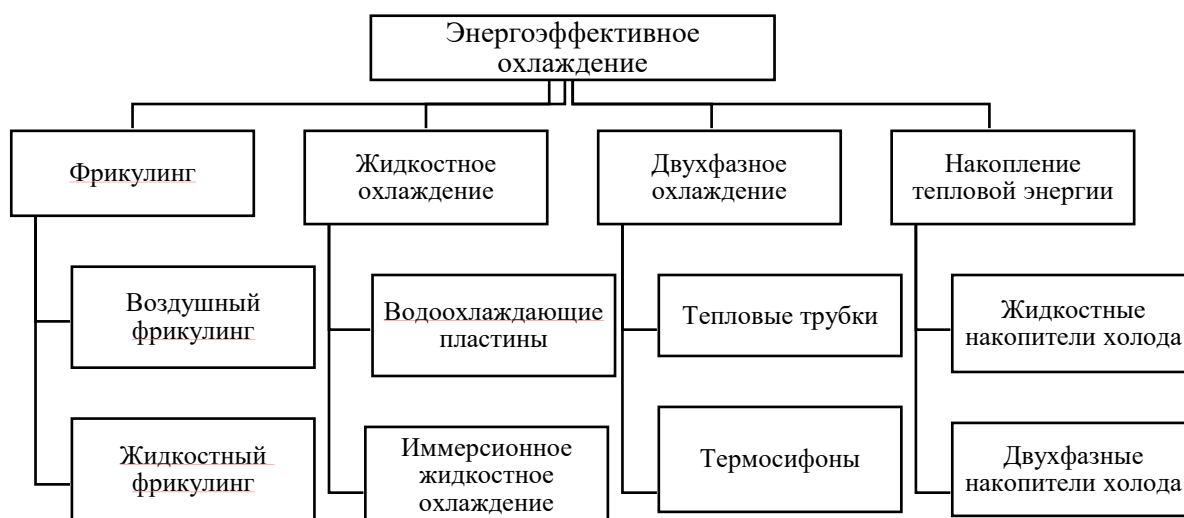


Рис. 1. Виды энергосберегающих технологий для охлаждения ЦОД [2]

Объект исследования: тепловые трубы в системах охлаждения электронного оборудования решают следующие задачи: регулирование температуры охлаждаемых объектов; обеспечение высокой теплопроводности охлаждающей системы, выравнивание температурных полей и сглаживание скачков температуры по длине трубы, организация подвода и сброса теплоты на удаленных друг от друга участках [3].

В работе планируется использование контурных тепловых трубки (КТТ) для охлаждения серверных процессоров. Их применение позволит сократить энергопотребление системы охлаждения за счет исключения из нее части компрессорного оборудования, обеспечивающего охлаждение ЦОД на уровне помещения и части вентиляторов, обеспечивающих охлаждение ЦОД на уровне серверной стойки или одного сервера. В качестве объекта исследования будут использованы КТТ Теркон типа «ЛП» с ограничением по мощности до 200 Вт (рис. 2).

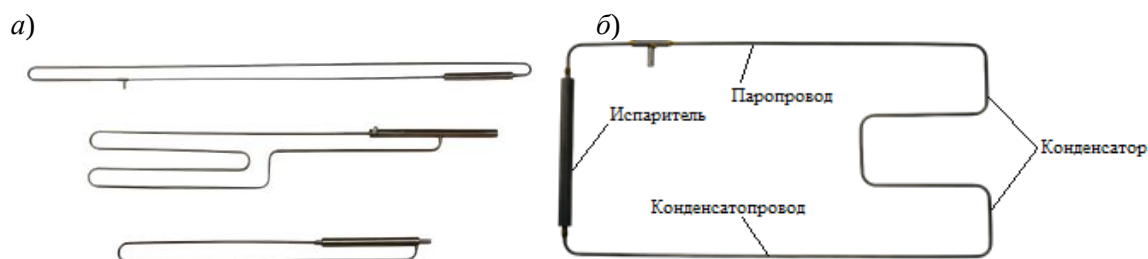


Рис. 2. Варианты исполнения контурных тепловых трубок (а); тепловая трубка типа «ЛП» (б) [4]

TDP (Thermal Design Power, Расчетная Тепловая Мощность) серверного процессора средней мощности составляет 100–250 Вт, при этом система охлаждения должна гарантированно справляться с отводом тепла с запасом не менее чем 30%. Обзор российского сегмента рынка тепловых труб показал, что КТТ Теркон типа «ЛП» наиболее точно соответствует указанному требованию. Характеристики КТТ типа «ЛП» указаны на официальном сайте производителя [4] и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики КТТ типа «ЛП»

Мощность источника тепла Q , Вт	Температура источника при температуре в зоне охлаждения 20°C, °C (не более)	Термическое сопротивление КТТ при температуре в зоне охлаждения 20°C, м²·°C/Вт (не более)
40	30	0,21
60	33	0,20
80	37	0,20
100	41	0,20
120	46	0,20
140	50	0,20
160	54	0,20
180	60	0,21

Термическое сопротивление КТТ показывает ее способность препятствовать распространению теплового движения молекул. Чем выше термическое сопротивление, тем меньший тепловой поток проходит через ее стенку [5]. Термическое сопротивление зависит от мощности теплового потока, переносимого КТТ, поэтому важно знать и не допускать превышения его значений для различных рабочих мощностей, чтобы избежать снижения эффективности теплопередачи КТТ и перегрева процессора.

В общем случае термическое сопротивление тепловой трубы является суммой термических сопротивлений ее отдельных зон и определяется:

$$R_{\text{тт}} = R_{\text{и}}^{\text{ст}} + R_{\text{и}} + R_{\text{п}} + R_{\text{к}} + R_{\text{к}}^{\text{ст}} = \frac{\Delta T_{\text{тт}}}{Q} = \frac{\Delta T_{\text{и}}^{\text{ст}} + \Delta T_{\text{и}} + \Delta T_{\text{п}} + \Delta T_{\text{к}} + \Delta T_{\text{к}}^{\text{ст}}}{Q}, \quad (1)$$

где $R_{\text{и}}^{\text{ст}}, R_{\text{к}}^{\text{ст}}$ – термические сопротивления стенок при теплопроводности через испарительную и конденсационную части, Вт/м²; $R_{\text{и}}, R_{\text{к}}$ – термические сопротивления при теплообмене между внутренней поверхностью трубы и паром в зонах испарения и конденсации, Вт/м²; $R_{\text{п}}$ – термическое сопротивление в паровом канале, Вт/м² [3].

Методика для определения эффективности использования КТТ в системах охлаждения ЦОД:

1. Рассчитать суммарные тепловые мощности всех источников тепла для ЦОД, согласно ТЗ. В работе будет учтена только тепловая мощность серверных процессоров, поскольку они создают основную тепловую нагрузку:

$$Q = Q_{\text{п},i} n_{\text{п}} n_{\text{с}} n_{\text{ст}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{п},i}$ – мощность одного серверного процессора, Вт; $n_{\text{п}}$ – количество процессоров в одном сервере; $n_{\text{с}}$ – количество серверов в одной стойке; $n_{\text{ст}}$ – количество стоек в ЦОД.

2. Определить количество КТТ, необходимого для отведения рассчитанной тепловой мощности для данного ЦОД.

3. Определить расход промежуточного холодоносителя для охлаждения конденсаторной части по формуле (3). Для отвода тепла предполагается использовать медный плоский теплообменник, через который прокачивается холодоноситель (вода или раствор гликоля в воде):

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p(T_1 - T_2)} \quad (3)$$

где $\dot{m}$ – массовый расход промежуточного теплоносителя, кг/с; Q – тепловая мощность, которую необходимо отвести от серверного оборудования, Вт; c_p – теплоемкость

теплоносителя, Дж/кг·К; T_1 , T_2 – температуры теплоносителя на входе и на выходе соответственно, К.

4. Подобрать оборудование для охлаждения промежуточного холодоносителя. Предполагается, сравнение двух методов охлаждения: с помощью парокомпрессионной холодильной машины без применения фреонинга и с помощью применения фреонинга, а именно: с дополнительным применением сухой градирни в холодный период года.

5. Рассчитать суммарную мощность, потребляемую системами охлаждения: а) без применения КТТ; б) с применением КТТ, без фреонинга; в) с применением КТТ, с фреонингом.

Выводы: применение КТТ в системах охлаждения ЦОДов может быть высокоэффективным решением для снижения их энергопотребления и увеличения энергоэффективности. Предложенная методика позволит оценить экономию потребляемой ЦОДом энергии при внедрении КТТ в систему его охлаждения и сделать вывод о целесообразности их применение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Alkharabsheh S. et al. A brief overview of recent developments in thermal management in data centers // Journal of Electronic Packaging. 2015. Vol. 137, № 4.
2. Zhang Y. et al. Cooling technologies for data centers and telecommunication base stations – A comprehensive review // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 334.
3. Семена М.Г., Гершуни А.Н., Зарипов В.К. Тепловые трубы с металловолоконными капиллярными структурами. К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984.
4. Теркон-КТТ. [Электронный ресурс]: [сайт] <https://thercon.ru>.
5. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.

УДК 628.6

К.И. Селякова, Т.А. Коряковцева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ХОЛОДНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При проектировании водоснабжения зданий необходимо учитывать параметры сети для обеспечения комфортных и безопасных условий [1]. С течением времени эксплуатационные характеристики системы водоснабжения снижаются, что приводит к недостаточному напору воды, особенно на верхних этажах здания. Например, может происходить коррозия труб, засорение фильтров, что уменьшает их пропускную способность; снижение со временем КПД насосного оборудования, что ухудшает подачу воды в систему. Кроме того, принятие нового свода правил (СП 30.13330.2020 [2]) требует анализа, оценки и совершенствования системы [3]. В связи с этим актуальным является анализ существующей документации и разработка рекомендаций по улучшению напора, что позволит повысить эффективность, надежность системы и улучшит комфорт жителей.

Целью работы является оптимизация существующей системы холодного водоснабжения (ХВС) в здании общежития в городе Санкт-Петербург.

Задачи исследования:

1. Анализ изменений СП 30.13330.2020 от СНиП 2.04.01-85*;
2. Создание цифровой модели ХВС в программном комплексе napoCAD ВК на основе существующей документации;
3. Предложение для улучшения напора в соответствии с современными нормативными документами.

Объектом исследования является ХВС в 10-этажном общежитии, построенного в 1973 г. в городе Санкт-Петербург. Предметом исследования является требуемый напор здания общежития.

Расчет в существующей документации выполнен по СНиП 2.04.01-85* [4]. На сегодняшний день используется актуальная версия СП 30.13330.2020. Сравнение основных характеристик, необходимых для гидравлического расчета, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ основных характеристик

Наименование	СНиП 2.04.01-85*	СП 30.13330.2020
Норма расхода воды одним потребителем в час наибольшего водопотребления (расход холодной воды), л		
С общими кухнями и блоками душевых на этажах при жилых комнатах в каждой секции здания	4,5	3,82
Секундный расход воды для установленных водоразборных устройств, л/с		
Умывальник со смесителем		0,09
Мойка со смесителем		0,09
Душ в групповой установке со смесителем		0,14
Унитаз со смывным бачком		0,1
Стиральная машина	-	0,2

В программе папоCAD ВК [5] запроектирована ХВС. Особенностью данной программы является простота и наличие русского интерфейса, встроенная библиотека приборов, автоматический гидравлический расчет, спецификации систем водоснабжения, оборудования, построение аксонометрических моделей [6-8]. Данные преимущества делают программу удобной в использовании.

Принята тупиковая схема с нижней разводкой подающих магистралей. К водоразборному устройству (душ в групповой установке со смесителем) используется верхняя подводка: трубы прокладываются под потолком. Для остальных водоразборных устройств трубы располагаются на расстоянии 200 мм от пола.

Используемые элементы (из существующей документации): повысительная насосная установка Hydro MPC-E 3CRE 3-4 (2 рабочих насоса), регуляторы давления с фильтром и манометром, краны шаровые, фильтры с обратной промывкой Honeywell HS 10S, вибровставка, наружный поливочный кран, фитинги, трубы стальные электросварные, водоразборные устройства. Количество потребителей общежития – 500 человек. На здание общежития приходится 97 унитазов со смывным бачком, 196 умывальника со смесителем, 65 мойки со смесителем, 67 душа в групповой установке со смесителем и 4 стиральных машины.

На рисунке 1 представлен фрагмент 3D-модели системы водоснабжения.

Определен требуемый напор и гарантированный напор с насосами в программе папоCAD ВК по СНиП 2.04.01-85* и СП 30.13330.2020. Гарантированный напор (26 м) взят на основании ТУ ГУП «Водоканал СПб». В таблице 2 представлены полученные результаты. В столбце «существующая документация» таблицы 2 приведены значения из ранее разработанной документации в 2018 г. (расчет был произведен по СНиП 2.04.01-85*).

Таблица 2 – Сравнение полученных результатов

Показатель	Существующая документация	СНиП 2.04.01-85*	СП 30.13330.2020
Гарантированный напор $H_{г}$, м	26	26	26
Требуемый напор $H_{т}$, м	39,28	39,7	49,6
Гарантированный напор с насосами $H_{гн}$, м	48,7	48,7	48,7

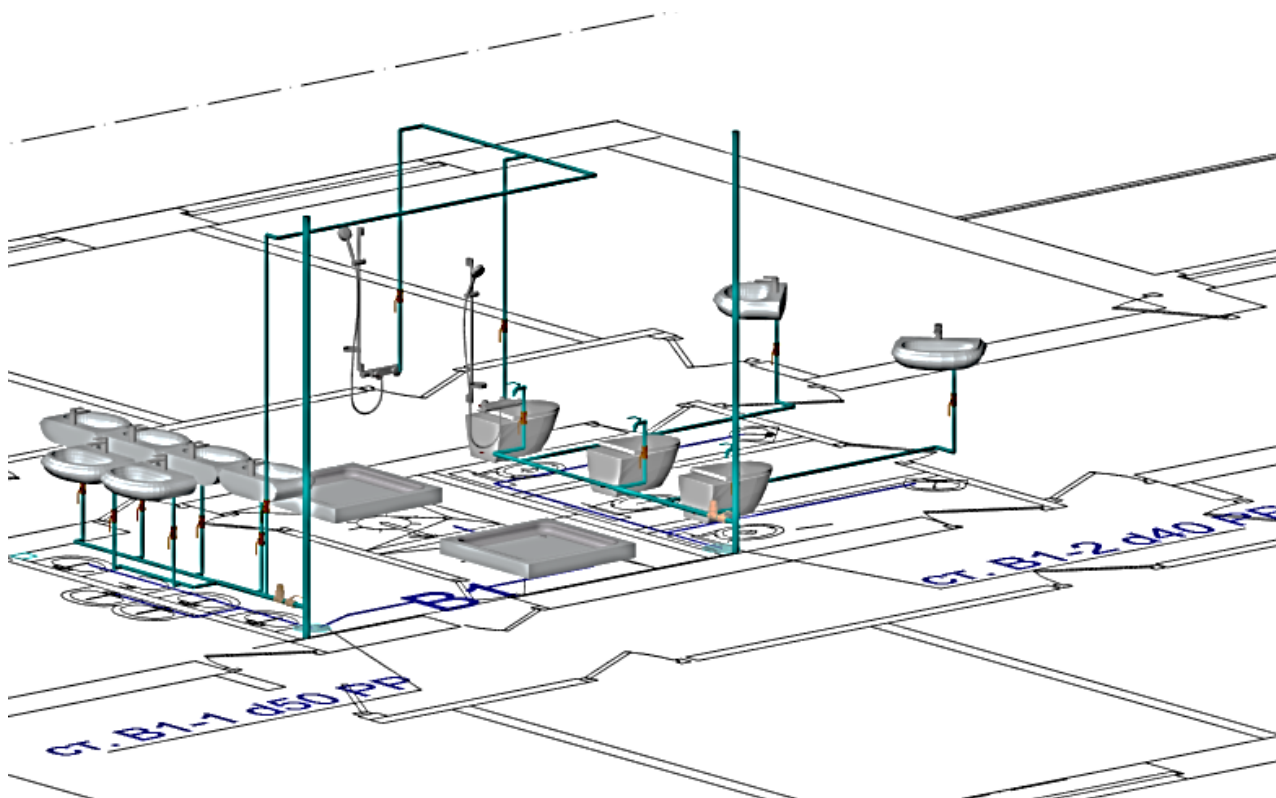


Рис. 1. Фрагмент системы водоснабжения в программе папоCAD ВК

Для корректной работы системы необходимо выполнение следующего условия: $H_t < H_{гн}$. В исходной системе есть повысительная насосная установка Hydro MPC-E 3CRE 3-4 (2 рабочих насоса). Оценка условия выполнена с ее учетом. Соблюдение данного требования представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка корректности работы системы

Показатель	Существующая документация	СНиП 2.04.01-85*	СП 30.13330.2020
Соблюдение условия $H_t < H_{гн}$	+	+	-

Вывод:

При расчете по СНиП 2.04.01-85* в исходной документации и программном комплексе папоCAD ВК применяемая повысительная насосная установка Hydro MPC-E 3CRE 3-4 при использовании 2 рабочих насосов (напор 24,8 м) обеспечивает необходимый напор.

При расчете по актуальному на сегодняшний день СП 30.13330.2020 в программном комплексе папоCAD ВК необходимо заменить повысительную насосную установку. При использовании 3 рабочих насосов (напор 37,2 м) насосной установки Hydro MPC-E 3CRE 3-4 гарантированный напор с насосами составляет 51,2 м, что удовлетворяет условию $H_t < H_{гн}$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проектирование систем водоснабжения [Электронный ресурс] // URL: <https://tech-expertiza.ru/> (дата обращения: 27.02.2025).
2. СП 30.13330.2020 Внутренний водопровод и канализация зданий (Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*).

3. Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. Анализ методик гидравлического расчета систем водоснабжения многоквартирных домов / Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии. Сб. тр. конф. Самара. 2022. С. 573–580.
4. СНиП 2.04.01 -85*. Внутренний водопровод и канализация зданий.
5. Официальный сайт компании nanoCAD ВК [Электронный ресурс] // URL: <https://www.nanocad.ru/products/bim/vk/database/> (дата обращения: 17.02.2025).
6. Федухина Н.В., Астафьева Н.С. Сравнительный анализ российского программного обеспечения для информационного моделирования зданий и сооружений 2023. С. 389–394.
7. Суворов Н.С. Обзор САПР в работе инженера систем водоснабжения и канализации // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2014. С. 18–19.
8. Суворов Н.С. nanoCAD ВК 3.1. Навстречу пользователю // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2014. С. 24–25.

УДК 621.311.25412

А.В. Ендзик, И.Г. Кудряшева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВИЭ ДЛЯ БАЗЫ ОТДЫХА В КАРЕЛИИ

В электроэнергетики России в выработке электроэнергии преобладает использование невозобновляемых источников энергии, однако не всегда эти источники выгодны для отдалённых или не имеющих доступ к энергетической инфраструктуре населённых пунктов, так как для доставки в такие районы топлива потребуются большие затраты. Одним из решений может послужить возобновляемые источники энергии.

Цель работы – спроектировать систему энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для базы отдыха в Карелии с использованием специального программного комплекса WindPro. в условиях отсутствия централизованного энергоснабжения.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи;

1. Обоснование необходимого количества потребляемой энергии на данной базе отдыха.
2. Расчет ветроэнергетического потенциала на площадке размещения ветроэнергетических установок.

В настоящее время в мире существует тренд на строительство энергоэффективных зданий, в том числе в сфере малоэтажного строительства. Существует ряд примеров реализованных проектов в Японии, Швеции, Австрии, Норвегии и других странах. Использование принципов проектирования высокоэффективного малоэтажного строительства позволит сэкономить электроэнергию и расходы на материалы и остекление [1, 2].

Размещение базы отдыха планируется на берегу Белого моря недалеко от города Кемь. Планируется спроектировать 10 домов каркасного типа для отдыхающих. Площадь одного дома составляет 62,8 м², у каждого дома предполагается устройство террасы площадью 42,1 м², большая часть которой будет закрытой (рис. 1). Анализ рассмотренных проектов позволяет обобщить преимущества строительства энергоэффективных домов:

- расход электроэнергии – не более 20 кВт на м² в год при условии поддержания комфортной температуры воздуха и воды;
- уменьшение теплопотерь – до 20 кВт·ч с 1 м² за счет устройства теплоизолирующих панелей толщиной 25–40 см и теплоизоляции ограждающих конструкций;
- отсутствие отопительных устройств.

При постройке домов будут использоваться современные энергоэффективные материалы: утепление фундамента пенополистиролом; современные стеновые конструкции тройные стеклопакеты, позволяющие снизить теплопотери и повысить эффективность энергоснабжения [3].



Рис. 1. Общий вид коттеджа

Суммарное энергопотребление 10 коттеджей составляет 338,44 МВт·ч в год; были определены основные электроприборы, время их использования и нагрузка на сеть.

Основными электроприборами для коттеджей являются: холодильник – 1500 кВт·ч в год, электроплита 1825 кВт·ч в год, кондиционер – 1460 кВт·ч в год, внешнее освещение – 2409 кВт·ч в год, а также система обогрева тёплого пола – 13500 кВт·ч в год, индивидуальные обогреватели 9600 кВт·ч в год, используемые в зимнее время источники отопления.

Для оценки ветроэнергетических ресурсов и среднегодовой выработка ВЭУ была использована программа WindPRO. Для этого используются данные баз реанализа «ERA5», создается орографическая карта местности и шероховатости подстилающей поверхности. Завершающий этап оценки – генерация ветровой статистики с наибольшими значениями ветропотенциала для размещения ВЭУ (рис. 2).

Для обеспечения энергопотребления была выбрана ветроэлектрическая установка «Хант m-21 100» [4, 5] мощностью 100 кВт, высотой 38 м и диаметром лопастей 21 м. Скорость ветра на высоте 38 м варьируется от 7,6 м/с до 9,3 м/с.

При расположении ВЭУ с большими значениями ветропоотенциала на суше коэффициент использования установленной мощности составил 55,1%.

Средняя скорость ветра составила 9,2 м/с. Вырабатываемая энергия в год составила 482,7 МВт·ч/год с учётом 10% потерь. Избыток мощности можно направить в энергосеть в 2–3 км от предполагаемого места строительства базы отдыха, также можно получать электроэнергию из энергосети, когда её будет не хватать, тем самым сэкономя на установке больших аккумуляторов.

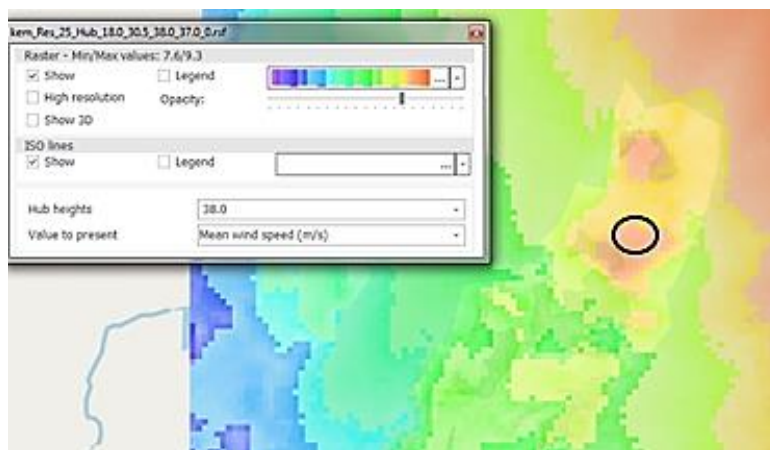


Рис. 2. Ветровая статистика на высоте 38 м

Выводы. Анализ и расчет ветропотенциала в выбранном районе размещения ветроустановок доказывает обоснованность принятых решений. Расчетная годовая энергия ВЭУ составляет 482,7 МВт·ч/год с учетом потерь – 621,10%; средняя скорость ветра на высоте 38 м равна 9,2 м/с.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Маджитов А.Д. Автономные дома с независимой системой электроснабжения как инновационная отрасль в экономике России //Дни науки. 2018.
2. Афанасьева О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Диссертационная работа на соис. уч. степ. канд. арх., М., 2009.
3. Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учеб. пособие (рус и англ). СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.
4. WindPRO 4.0 User Guide.
5. XANT M-21 [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.thewindpower.net/turbine_en_984_xant_m-21.php (Дата обращения: 13.03.2025).

УДК 626/627

Ж. Ахмедов, Д.Т. Палуанов, Д.А. Маматкулов, Ф.С. Саидов
Ташкентский государственный технический университет

УСТАНОВЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КАНАЛОВ

На территории Республики Каракалпакстан для обеспечения сельскохозяйственных культур поверхностными водами эксплуатируется более 200 ирригационных каналов (рис. 1). Большинство из них относятся к сооружениям IV класса по Строительным нормам и правилам. В результате длительной эксплуатации этих сооружений, несвоевременного проведения ремонтно-восстановительных и реконструкционных работ некоторые из них вышли из строя, а другие требуют ремонтно-восстановительных и реконструкционных работ или кардинальной модернизации.

Анализ проведенных научных исследований показал, что эффективность их использования остается низкой из-за отсутствия надлежащего контроля за безопасностью гидротехнических сооружений (ГТС) IV класса. На практике безопасности этих сооружений не уделялось должного внимания [1].

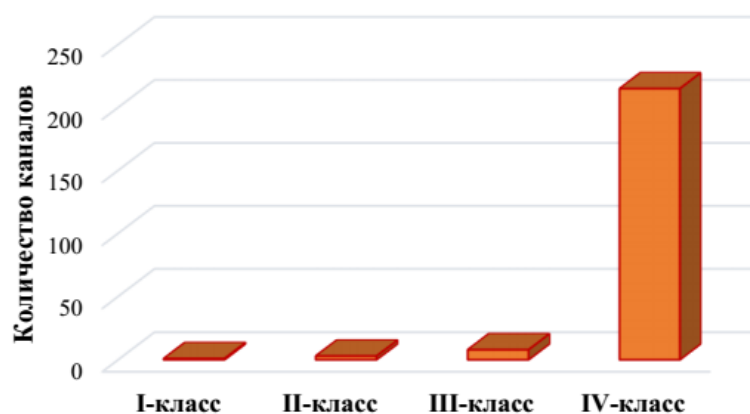


Рис. 1. Распределение каналов по классам

Учитывая важность ГТС IV класса для экономики нашей страны, необходимо уделять особое внимание безопасности таких сооружений [2]. Поэтому оценка эксплуатационной надежности ГТС и разработка критериев безопасности в эксплуатационный период на сегодняшний день является актуальной.

Вопросам обеспечения безопасности ГТС посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых [3, 4], однако научных подходов к разработке критериев безопасности отслуживших срок службы ирригационных каналов недостаточно. Как правило, установка контрольно-измерительных аппаратов на ГТС IV класса не допускается [5].

Водозаборное сооружение канала Таллык, выбранное в качестве исследования, расположено в канале Суенли. Водовыпуск в канал Таллык расположен справа от водозаборного сооружения. Сооружение трубчатое, двухпролетное, длиной 50 м. Размер отверстия 3,0×3,0 м. На входе установлены два плоских затвора размером 3,0×3,0 м с одновинтовыми электрифицированными подъемниками. Соединение с верхним и нижним бьефами осуществлялось обратными стенами. Нижний бьеф укреплен монолитным бетоном длиной 5 м. Рисберма длиной 30 м крепится к железобетонной ячейке размером 2,3×2,3 м щебнем. Канал был построен в 1976 году и обеспечивает водой Кунградский и Муйнакский районы. Протяженность канала 106,1 км, пропускная способность 30,0 м³/с, в общей площади 4550 га. В настоящее время на канале имеются 17 ГТС, 3 гидростоя, 6 мостов, 1 дюкер и 1 акведук. Гидравлические элементы канала следующие: средняя скорость – 0,6 м/с; максимальная глубина – 3,5 м; коэффициент уклона – 0,00006; ширина дна – 7 м; коэффициент уклона – 2; коэффициент шероховатости – 0,225.

Для оценки общего технического состояния канала были проведены визуальные натурные исследования. В канале нет специально установленных контрольно-измерительных аппаратов. В результате многолетней эксплуатации русло канала уменьшилось, а пропускная способность снизилась до 10–12 м³/с. Русло канала заполнено наносами, в бетоне имеются трещины (рис. 2). Некоторые участки расширились, и случаи фильтрации воды в почву увеличились. По этой причине в Кунградском и Муйнакском районах существует ряд проблем с поставкой ежегодно выделяемых объемов воды, что негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Критериями безопасности канала и его ГТС являются: определение пропускной способности канала (в зависимости от водности года или периода их пропускная способность изменяется) и недопущение высоких расходов; недопущение подачи максимальных расходов воды при первом вскрытии канала; недопущение подъема водного горизонта выше проектной отметки; создание условий для поддержания наиболее благоприятного сечения по всей длине канала; недопущение образования интенсивного подпора в верхнем бьефе и размыва нижнего бьефа; обеспечение нормальной работы ГТС и целостности бетонных элементов; обеспечение

поддержания отметки дамб в соответствии с проектными параметрами; недопущение скопления воды и мусора на верхнем участке; наблюдение за состоянием опор и откосов сооружений.



Рис. 2. Процессы, происходящие в канале:
а – образование трещин в сооружении канала; б – заиление канала перед сооружением

В период эксплуатации канала (около 50 лет) состояние и физико-механические свойства грунтов изменялись за счет их многократного увлажнения и высыхания. Лёссовидные суглинистые и супесчаные грунты утратили просадочные свойства и уплотняются. Он перешел из твердого состояния в пластическое и текучее. Пылеватые пески обладали плавунными свойствами.

Определены сценарии возможных аварийных ситуаций в канале Таллык (рис. 3).

Перелив воды через гребень дамбы канала. Заиление боковых сторон и русел канала приводит к уменьшению его рабочего сечения и может потребоваться увеличение глубины наполнения канала для проведения расчетных расходов, что сокращает запасы дамб выше уровня воды и может привести к их разрушению на пониженных участках и затоплению прилегающих земель. Величина размыва зависит от качества дамб, наличия покрытия и времени, в течение которого происходит переполнение канала.



Рис. 3. Возможный сценарий, приводящий к аварии канала

Прорыв дамб канала. На состояние канала может негативно повлиять поведение местного населения – вырубка деревьев, сжигание кустарников, строительство ирригационных каналов и арыков. Прорыв приводит к разрушению дамб, затоплению окружающих территорий, уничтожению сельскохозяйственных культур и разрушению близлежащих деревень, впоследствии нарушается режим подачи воды вдоль канала.

Аварии на ГТС. Выход из строя технического оборудования – невозможность подъема щитов затворов, их обрушение вследствие разрыва креплений или подъемного винта. При пропуске больших расходов падение щитов приводит к увеличению горизонта воды в верхнем бьефе, переполнению канала и увеличению нагрузки на сооружение. В результате фильтрации под сооружением может произойти оседание и разрушение всего сооружения или образование на дне осадочного отверстия и просачивание воды под сооружение с последующим выходом за пределы канала. В холодный период подача воды приводит к образованию шуги в канале и трещинам льда. Поток воды переносит шуги на конечные участки каналов, в результате чего сечение канала уменьшается. Он может заблокировать канал или собраться перед сооружением, а затем прикрепить лед. Накопление льда и шуги может привести к засорению проходных отверстий сооружения, а под давлением воды лед может подняться сверху и разрушить ограждения решеток, подъемные механизмы, электрические щиты и т. д.

При оценке эксплуатационной надежности ирригационных каналов, используемых в течение многих лет, необходимо разработать критерии безопасности. Это позволяет предотвратить выход из строя сооружений, возможные аварии, своевременно устранять дефекты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Палуанов Д.Т., Таженев Б.М. Возможные сценарии аварий на эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружениях IV класса // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства». Ташкент, 2020. № 4. С. 115–117.
2. Закон Республики Узбекистан от 20 августа 2023 года № ЗРУ-865 «О безопасности гидротехнических сооружений».
3. Волосухин В.А. О проблемных вопросах в области безопасности гидротехнических сооружений / В.А. Волосухин, Я.В. Волосухин // Мониторинг: Наука и безопасность. Специальный выпуск. 2013. С. 84–97.
4. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. – СПб.: ВНИИГ, 2002. – 591 с.
5. Строительные нормы и правила. 2.06.01-97. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. Т.: Госархитектстрой РУз, 1997.

УДК 621.226.3:621.227

Э.Д. Исмаилов, М.М. Мухаммадиев, Д.А. Маматкулов
Ташкентский государственный технический университет

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Актуальность. Для широкого использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) необходимо решение вопроса эффективного перераспределения получаемой от них энергии во времени. Известно, что приход энергии ВИЭ является весьма неравномерным и зависящим от многих факторов. Одновременно и процесс потребления или график нагрузки также неравномерен в зависимости от ритма жизни человека, характера потребления энергии и т.д. Для согласования этих процессов возможно использование следующих режимов работы установки на ВИЭ [1]:

- 1) работа в энергосистеме параллельно с сетью в режиме максимума выработки;
- 2) недоиспользование энергии возобновляемых источников путем диссипации лишней энергии;
- 3) подстраивание процесса потребления под процесс производства;
- 4) комбинированное использование нескольких источников возобновляемой энергии, обеспечивающих требуемый режим потребления;

5) накопление излишков энергии в периоды максимум прихода ВИЭ и отдача в периоды минимумов, т. е. аккумулирование.

Широко применяемые в настоящее время способы аккумулирования энергии предусматривают сохранение конечного продукта, т.е. электрической или другой энергии. Однако, более экономичным является аккумулирование первичного ресурса энергии, так как в этом случае не теряется энергия на перетоки и трансформацию. Такими аккумуляторами могут быть емкости, баки, бассейны, водоемы и водохранилища, а сам способ аккумулирования энергии называется гидравлическим.

Способ гидравлического аккумулирования энергии отличается такими преимуществами, как несложность строительства и эксплуатации устройства (сооружений), возможность аккумулирования большого объема энергии, сравнительно приемлемые затраты и другие.

Эксплуатационные показатели гидроаккумулирующих установок (ГАУ) прежде всего зависят от размеров затрат на подачу использованной воды из нижнего водоема в верхний. Обычно для этой цели используются насосные агрегаты, у которых линия всасывания соединена с нижним водоемом (баком), а линия нагнетания – с верхним водоемом (баком). При этом насосные агрегаты потребляют не 18–38% больше вырабатываемой турбинами ГАУ энергии [1-3]. Из этого ясно, что уменьшение затрат на подачу воды в верхний бассейн бесспорно повышает эффективность функционирования ГАУ.

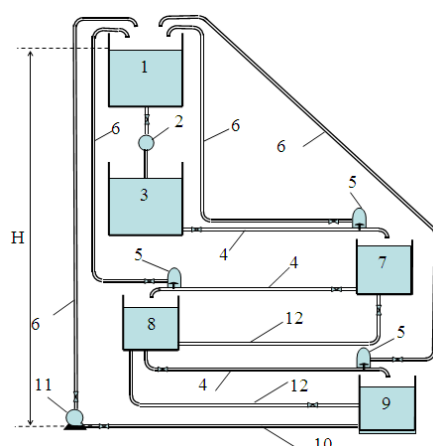
Использование гидравлических таранов для подачи воды в верхний водоем, может явиться эффективным способом. Гидравлический таран – это водоподъемная установка, использующая силу гидравлического удара потока воды, движущегося в трубе для её подъема на высоту. Таран может работать автоматически без осмотра в течение длительного времени, используя мощность водной энергии. Принцип действия и некоторые конструкции гидравлических таранов приведены в [2–4].

Одним из основных недостатков гидравлического тарана является то, что более половины подаваемой воды истекает из отверстия ударного клапана в атмосферу. При самых удачных конструкциях около 40% воды, забираемой из водоисточника, поступает в верхний бак. Это связано с тем, что скорость истечения воды из трубы в атмосферу должна увеличиться до такой величины, при которой сопутствующее гидродинамическое давление, снизу-вверх на ударный клапан, превысит вес клапана, и он должен резко закрыться. До этого мгновения вода вытекает через отверстие ударного клапана в атмосферу.

Для повышения эффективности работы гидравлического тарана, работающего в составе ГАУ, предлагается использовать следующую систему [5]. Струю сбрасываемой через ударный клапан воды необходимо направлять в специальный бак, который служит источником для следующего гидравлического тарана, перекачивающего очередной объем воды в верхний бак. При этом точно в таком же порядке вытекающую из этого тарана воду можно использовать для следующей ступени совместной работы таранов. В связи с тем, что напор воды в нижнем (питающем) баке может иметь величину 0,8–1,0 м и больше, а таран может увеличивать этот напор в 10 раз, в составе системы можно иметь несколько работающих в каскадном порядке таранов. Схема такого комплекса, в составе которого действуют три гидравлических тарана, приведена на рисунке 1.

Предлагаемый комплекс работает следующим образом. Поток воды из верхнего бака 1 через турбину 2, генерируя электрическую энергию, поступает в нижний бак 3, откуда с помощью водоподводящей трубы 4 подается в гидравлический таран 5, который обеспечивает перекачку поступающей из бака 3 части воды в верхний бак 1 при помощи напорной трубы 6 (объем воды, перекачиваемой в верхний бак, составляет около 40%).

В баке 7 скапливается оставшиеся 60% вытекающей из тарана 5 воды, которая в свою очередь подается в следующий гидравлический таран, обеспечивающий перекачку в верхний бак 1 очередной порций воды в объеме 40% из бака 7.



- 1 – верхний бак;
- 2 – турбина;
- 3 – нижний бак;
- 4 – водопроводящая труба;
- 5 – гидравлические тараны;
- 6 – напорные трубы;
- 7 – питающий бак 2 – тарана;
- 8 – питающий бак 3 – тарана;
- 9 – питающий бак насоса;
- 10 – всасывающая труба;
- 11 – насос;
- 12 – аварийные трубы.

Рис. 1. Схема комплекса ГАУ с гидравлическими таранами

Таким образом, при работе обоих таранов с 40% водоподачей в баке 8 останется 36% от объема воды бака 3, который можно подавать в следующую ступень комплекса с третьим гидравлическим тарном. При этом вновь можно иметь выигрыш с 40%-м объемом воды, подаваемым в верхний бак 1, а остающаяся часть воды третьего тарана в баке 9 перекачивается насосным агрегатом 11 в верхний бак 1. В случае временной неработоспособности и ремонта таранов приводятся в действие аварийные трубы 12.

Из вышеприведенного следует, что при использовании трех гидравлических таранов примерно 78% от объема воды нижнего бака 3 подается в верхний бак 1 без использования электрической энергии.

Предлагаемая схема позволяет сэкономить потребляемую электроэнергию по сравнению с традиционной схемой ГАУ, а также эффективна с экономической точки зрения.

В таблице 1 приведено сравнение экономических показателей при одинаковых мощностях традиционной схемы ГАУ и предлагаемой схемы при различных числах гидравлических таранов (ГТН).

Таблица 1 – Сравнение экономических показателей при одинаковых мощностях традиционной схемы ГАУ с предлагаемой схемой при различных числах ГТН

Параметры	Единица измерения	По обычной схеме	По предлагаемой схеме		
			1 ГТН	2 ГТН	3 ГТН
Мощность в ТР	кВт	100	100	100	100
Напор в ТР	м	5	5	5	5
Расход воды в ТР	м³/сек	2,4	2,4	2,4	2,4
Напор в НР	м	5,5	8	11	15
Расход воды в НР	м³/сек	1,7	1,7	1,4	1,2
Объем верхнего резервуара	м³	34 560	34 560	34560	34560
Объем нижнего резервуара	м³	34 560	20750	12450	7500
Суточное время работы в ТР	ч	4	4	4	4
Суточное время работы НР	ч	6	3,4	2,46	1,72
Мощность в НР	кВт	115	167	189	220
Годовая выработка электроэнергии	кВт·ч	146 000	146 000	146 000	146 000
Годовая потребляемая электроэнергия	кВт·ч	251 850	207 250	169 700	138 120
Сэкономленная электроэнергия	кВт·ч	-	44 600	82 150	113 730
Годовая прибыль*	\$	-	1 561	2 875	3 980

(* цена 1 кВт·ч электроэнергии 0,035 долл. США)

Из таблицы 1 видно, что предлагаемая схема ГАУ, независимо от числа используемых гидравлических таранов, намного эффективнее, чем ГАЭС традиционного типа.

Выводы. При использовании предлагаемой конструкции ГАУ для аккумулирования воды в верхнем баке сравнительно с традиционной схемой ГАЭС за год:

- с одним гидравлическим тараном можно сэкономить 44 600 кВт·ч электроэнергии в год и получить прибыль 1 561 \$;
- с двумя гидравлическими таранами можно сэкономить 82 150 кВт·ч электроэнергии и получить прибыль 2 875 \$;
- с тремя гидравлическими таранами можно сэкономить 113 730 кВт·ч электроэнергии и получить прибыль 3 980 \$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Елистратов В.В., Кудряшева И.Г. Режимы работы установок и энергокомплексов на основе возобновляемых видов энергии. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021.
2. Галинкер Э.В. Идеальный Гидротаран. Альтернативная энергетика и экология. 2011, №11(103). С.69–71.
3. Саплин Л.А., Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С. Сравнительный обзор и оценка российских и зарубежных гидротаранных установок. Вестник КрасСАУ. Технические науки, 2015. №3, С. 40–44.
4. Hussin N.S.M., Gamil S.A., Amin N.A.M. et. al. Design and analysis of hydraulic ram water pumping system. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 908, 2017.
5. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Жураев С.Р., Хидиров А.А., Бейтуллаева Р.Х., Темиров Э.Г. Гидроаккумулирующая электростанция. Патент на полезную модель № FAP 01018, 15.06.2015 / Официальный вестник, 2015. № 7(171).

УДК 621.311

И.У. Кодиров, С.К. Гадаев, Ф.С. Саидов
Ташкентский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОПОТЕНЦИАЛА РЕК И КАНАЛОВ УЗБЕКИСТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В целях развития возобновляемых источников энергии и эффективного использования гидропотенциала страны в Узбекистане были приняты следующие нормативно-правовые акты [1, 2]:

- Указ Президента Республики Узбекистан №УП-6012 "О дополнительных мерах по ускоренному развитию возобновляемой энергетики" (2020 г.) – предусматривает внедрение малых и микрогидроэлектростанций.
- Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4422 "О мерах по расширению использования возобновляемых источников энергии" (2019 г.) – определяет приоритетные направления для установки микроГЭС.
- Постановление Кабинета Министров № 633 (2021 г.) – регламентирует льготное кредитование и государственную поддержку малых ГЭС.

На основании данных постановлений и указов уже реализованы следующие проекты:

- Введены в эксплуатацию более 15 малых и микрогидроэлектростанций на каналах и реках в регионах страны.
- Разработаны технико-экономические обоснования для более чем 30 перспективных участков.
- Проведены исследования и испытания инновационных моделей микроГЭС с повышенной эффективностью.
- Ведётся подготовка кадров и обучение специалистов в области эксплуатации малых ГЭС.

Узбекистан обладает значительными водными ресурсами, представленными реками, каналами и водохранилищами [3]. Однако энергетический потенциал этих водных объектов используется не в полной мере. В условиях роста потребления электроэнергии и необходимости развития экологически чистых источников энергии актуальным становится вопрос применения микрогидроэлектростанций (микроГЭС). Данное исследование направлено на анализ возможностей использования гидропотенциала водных объектов Узбекистана с целью эффективного внедрения микроГЭС.

Узбекистан располагает широкой сетью рек и каналов [4], наиболее значимыми из которых являются Амударья, Сырдарья, Зарафшан, Чирчик, а также ирригационные каналы, такие как Большой Ферганский и Каракумский каналы. Анализ их гидропотенциала позволяет выявить перспективные участки для установки микроГЭС.

МикроГЭС являются небольшими гидроэлектростанциями мощностью до 500 кВт, которые могут эффективно использоваться для генерации электроэнергии в удалённых районах. Основные преимущества микроГЭС:

- Экологичность и минимальное воздействие на окружающую среду;
- Низкие капитальные затраты по сравнению с крупными ГЭС;
- Возможность локального энергообеспечения сельских районов;
- Простота эксплуатации и обслуживания.

Учитывая особенности водного баланса Узбекистана, наиболее перспективными являются:

- Размещение микроГЭС на ирригационных каналах с постоянным потоком воды;
- Установка микроГЭС на малых реках в горных районах;
- Внедрение инновационных решений, таких как плавающие микроГЭС.

Использование микроГЭС позволяет снизить нагрузку на традиционные источники энергии, сократить выбросы парниковых газов и повысить энергетическую независимость регионов [5, 6]. Экономическая эффективность достигается за счёт низких эксплуатационных затрат и возможности использования местных ресурсов.

В таблице 1 представлены характеристики 10 перспективных объектов для установки микроГЭС [4].

Таблица 1 – Характеристики перспективных объектов для установки микроГЭС [4]

№	Объект	Расход воды, м³/с	Напор, м	Мощность, кВт	Годовая выработка, МВт·ч	Экологическое воздействие
1	Река Чирчик	20	8	120	1050	Минимальное
2	Канал Большой Ферганский	15	6	90	850	Низкое
3	Река Зарафшан	18	7	110	980	Среднее
4	Река Сырдарья	25	10	150	1300	Среднее
5	Каракумский канал	12	5	70	600	Низкое
6	Река Ахангаран	10	9	85	750	Минимальное
7	Река Кашкадарья	14	6	95	820	Среднее
8	Канал Южно-Ферганский	17	8	115	970	Низкое
9	Река Сурхандарья	20	8	120	1050	Минимальное
10	Канал Занг	15	6	90	850	Низкое

Выводы. Развитие микрогидроэнергетики в Узбекистане является перспективным направлением, способствующим обеспечению энергетической безопасности и устойчивому развитию. Необходимо разработать государственные программы поддержки внедрения микроГЭС, привлечь инвестиции и адаптировать международный опыт в данной сфере.

ЛИТЕРАТУРА;

1. Официальные документы Президента и Кабинета Министров Республики Узбекистан. – Ташкент, 2019–2023.
2. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Узбекистана. – Ташкент, 2022.
3. Исследования потенциала возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. – Ташкент: Изд-во АН РУз, 2021.
4. Международные практики внедрения малых ГЭС и их применение в Узбекистане. – Ташкент, 2020.
5. Сидоров В.П. Гидроэнергетика малых рек: перспективы и технологии. – Москва: Энергия, 2019.
6. Иванов А.А. Возобновляемая энергетика и её роль в устойчивом развитии. – Санкт-Петербург: Наука, 2021.

УДК 621.311.213

Х.Н. Муродов, Х.Ш. Илавиддинов, К.С. Джураев
Ташкентский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОПОТЕНЦИАЛА ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ ИРРИГАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Постановление Президента Узбекистана Ш.М. Мирзиёева от 14 июля 2024 года №ПП-252 «Об ускорении мер по реформированию гидроэнергетической сферы», предусматривается стабильное обеспечение энергоресурсами населения и отраслей экономики, сокращение использования природного газа в производстве электроэнергии, а также эффективное использование существующего потенциала гидроэнергетики в целях дальнейшего увеличения общей мощности гидроэлектростанций, мощность которой в настоящее время составляет 2225 МВт, к концу 2028 г. планируется достичь 5508 МВт, включая строительство гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) общей мощностью 1600 МВт [1].

Учитывая вышеизложенное, возникает необходимость, анализа режимов работы существующих ирригационных систем и водохранилищ, для разработки рекомендаций по режимам работы водных объектов с тем, чтобы они могли выполнять не только свои основные функции, но и могли участвовать в энергоснабжении страны, при регулировании и поддержании качества воды в водохранилищах и дополнительно вырабатывали электрическую энергию [1, 2].

Строительство низконапорных гидроэнергетических установок на таких объектах, не потребует больших материальных затрат. Одним из важных аспектов в оценке гидроэнергетического потенциала водовыпускных сооружений водохранилищ ирригационного назначения является, разработка методики определения гидроэнергетических параметров водохранилища, с учётом их назначения и сезонного регулирования [3].

Методы. Методика расчёта технико-экономических параметров низконапорных гидроэнергетических установок на водовыпускных сооружениях водохранилищ строится на основании результатов ранее проведённых исследований, которые показали, что вода из водохранилища используется на орошение в течение 10 календарных месяцев. При этом расходы воды регламентируются в соответствии с графиком водопотребления сельскохозяйственных объектов [3, 4].

Капитальные затраты $K_{ГЭС}$ включают стоимость оборудования, затраты на проектирование и строительство зданий малой ГЭС, стоимость монтажа и пуско-наладочных работ отнесённых на один год, в зависимости от срока эксплуатации оборудования [2, 3, 5]:

$$K_{ГЭС} = C_{обор} + 3_{проект} + 3_{строит} + 3_{монтаж} \quad (1)$$

где $K_{ГЭС}$ – капитальные затраты, связанные с введением в эксплуатацию малой ГЭС, сум;
 $C_{обор}$ – стоимость оборудования малой ГЭС, сум; $З_{проект}$ – затраты на проектирование малой ГЭС, сум; $З_{строит}$ – затраты на строительство малой ГЭС, сум; $З_{монтаж}$ – затраты, связанные с монтажными и пуско-наладочными работами, сум.

Годовые амортизационные отчисления $A_{отч}$ (сум) определяются:

$$A_{отч} = C_{обор} \cdot K_{амор}, \quad (2)$$

где $K_{амор}$ – коэффициент амортизации.

Затраты на эксплуатацию (годовые издержки) включают в себя оплату труда обслуживающего персонала, начисления на социальные нужды, амортизационные отчисления и прочие прямые затраты:

$$K_{затр}^{год} = \Phi_{от} \cdot n + З_{нач} \cdot n + A_{отч} + З_{проч}, \quad (3)$$

где $K_{затр}^{год}$ – затраты на эксплуатацию оборудования за год, сум; $\Phi_{от}$ – фонд оплаты труда, сум; $З_{нач}$ – начисления на оплату труда, сум; прочие затраты, связанные с обслуживанием оборудования малой ГЭС, сум; n – количество месяцев в году ($n = 12$).

Прочие затраты $З_{проч}$ (стоимость расходных материалов, текущий ремонт и техническое обслуживание) определяются как доля от фонда заработной платы и амортизационных отчислений:

$$З_{проч} = (A_{отч} + \Phi_{от}) \cdot K_{прз}, \quad (4)$$

где $K_{прз}$ – доля прочих затрат.

Годовая выработка электроэнергии:

$$\mathcal{E}_{ГЭС}^{год} = N_{гидроагр} \cdot D \cdot \varphi, \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_{ГЭС}^{год}$ – электрическая энергия, вырабатываемая малой ГЭС в течение срока работы за год, кВт·ч; D – количество суток работы гидроагрегата в течение года, сут.; φ – количество часов в сутки работы гидроагрегата.

Себестоимость вырабатываемой электроэнергии $C_{ГЭС}^{э}$, сум/кВт·ч рассчитывается по формуле:

$$C_{ГЭС}^{э} = \frac{K_{затр}^{год}}{\mathcal{E}_{ГЭС}^{год}}. \quad (6)$$

Годовая прибыль $\Pi_{ГЭС}^{э}$, сум, от производства собственной электроэнергии малой ГЭС определяется как разность между доходами от продажи электроэнергии по существующим тарифам $D_{пр}^{э}$, сум, и затратами на эксплуатацию малой ГЭС $K_{затр}^{год}$, сум, составляет:

$$\Pi_{ГЭС}^{э} = З_{приобр}^{э} - K_{затр}^{год}, \quad (7)$$

Срок окупаемости $t_{ок}$, определяется как частное от деления затрат $K_{ГЭС}$, сум, на годовую прибыль $\Pi_{ГЭС}^{э}$, сум/год.

Срок окупаемости:

$$t_{ок} = \frac{K_{ГЭС}}{\Pi_{ГЭС}^{э}}. \quad (8)$$

Проведены технико-экономические расчеты по оценке эффективности использования гидропотенциала водовыпускных сооружений для ряда водохранилищ Узбекистана (табл. 1).

Таблица 1 – Техничко-экономические расчёты по оценке эффективности использования гидропотенциала водовыпускных сооружений для ряда водохранилищ Узбекистана

№	Показатели	Кассансайское водохранилище на р. Касансай	Каттакурганское водохранилище на р. Заравшан	Чимкурганское водохранилище на р. Кашкадарья
1	Геометрический напор, м	46	25	31
2	Расход водовыпуска, м ³ /с	26	42	80
3	Напор ГЭС, м	42,55	22,38	26,73
4	Мощность ГЭС, МВт	9,33	7,93	18,04
5	Капиталовложения, млрд сум	56,01	47,58	108,24
6	Продолжительность работы водовыпускного сооружения, ч	4800	6000	5000
7	Годовая выработка электроэнергии на ГЭС, млн кВт·ч	44,81	47,58	90,20
8	Годовые затраты, млрд сум	3,81	3,23	7,35
9	Годовая экономия топливных ресурсов, т.у.т.	6720,79	7137,40	13529,62
10	Стоимость вырабатываемой электроэнергии, млрд сум	11,20	11,90	22,55
11	Экономическая эффективность за год, млрд сум	3,59	8,66	15,20
12	Срок окупаемости капвложений, год	7,57	5,49	7,12
13	Рентабельность капвложений	0,13	0,18	0,14

Выводы. Результаты исследования и расчётов показали, что использование гидропотенциала водовыпускных сооружений водохранилищ даёт возможность выработки дополнительной электроэнергии и целесообразно с технико-экономической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-252 «Об ускорении мер по реформированию гидроэнергетической сферы» от 14 июля 2024 г.
2. Мухаммадиев М., Уришев Б.У., Мамадиёров Э.К., Джуроев К.С. Энергетические установки малой мощности на базе возобновляемых источников энергии. Монография. Ташкент: ТошДТУ, 2015.
3. Мухаммадиев М.М., Джуроев К.С. и др. Исследование скорости потока воды в затворах гидроэнергетических и ирригационных сооружений. «Вестник СГАСУ: градостроительство и архитектура», Самара, №2, 2016. С.135-139
4. Мухаммадиев М., Джуроев К.С., Уришев Б.У. Повышение использования гидроэнергетического потенциала ирригационных сооружений малой мощности с применением затворов новой конструкции. Вестник ТашГТУ, № 2, 2015, с. 36–41.
5. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учебное пособие / Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022.

УДК 621.311.22

Ж.М. Низомов, А.А. Мукольянц, Ф.Т. Шадибекова
Ташкентский государственный технический университет

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК НА СТАНЦИЯХ РЕДУЦИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В последнее время растёт интерес к детандер-генераторным агрегатам (ДГА), применяемым для производства электроэнергии. Эффективность ДГА зависит от выбора источника тепла и метода подогрева газа перед детандером. Для этого могут использоваться

уходящие газы котлов, сетевая вода или дымовые газы газотурбинной установки (ГТУ) [1,2]. При включении ДГА изменение расхода газа на газопотребляющее оборудование пропорционально изменению располагаемой теплоты газа, выраженной формулой $Q_{\text{гт}} = Q_{\text{нтс}} + h_{\text{г}} - h_0$, где $h_{\text{г}}, h_0$ – энтальпия газового топлива при температуре и давлении 0°С и 0,1 МПа соответственно, а $Q_{\text{нтс}}$ – низшая теплота сгорания топлива.

Один из наиболее простых методов подогрева газа перед детандером – это использование специализированного котла (рис. 1).

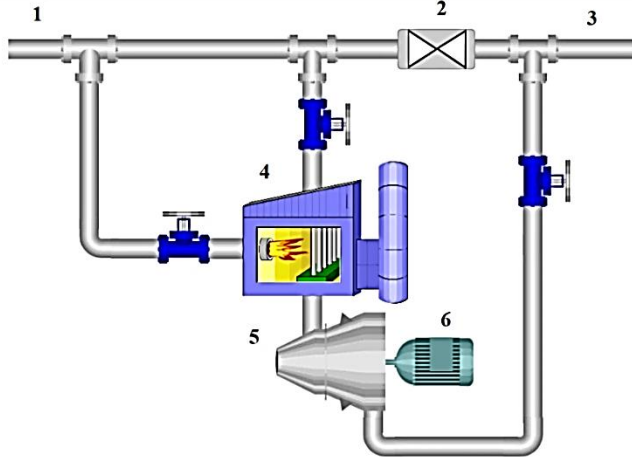


Рис. 1. ДГА с подогревом газа в котле:
1 – трубопровод высокого давления; 2 – дроссельное устройство; 3 – трубопровод низкого давления; 4 – котел; 5 – детандер; 6 – генератор

Если принять, что энтальпия газа на выходе из детандера h_2 такая же, как на входе в установку, $h_{\text{ВХ}}$, то мощность детандера $N_{\text{ДГА}}$ и расход топлива на подогрев газа перед детандером $VG_{\text{топ}}^{\text{пер}}$ определяются из выражений [3,4]:

$$N_{\text{ДГА}} = G_{\text{топ}} \cdot (h_1 - h_2); \quad (1)$$

$$VG_{\text{топ}}^{\text{пер}} = \frac{G_{\text{топ}} \cdot (h_1 - h_2)}{Q_{\text{нтс}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (2)$$

а удельный расход топлива $G_{\text{урт}}$ при выработке электроэнергии установкой рассчитывается:

$$G_{\text{урт}} = \frac{1}{Q_{\text{нтс}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{к}}$ – КПД котла, который предварительно подогревает газ перед его поступлением в детандер; $G_{\text{топ}}$ – расход топлива в трубопроводе; h_1 и h_2 – энтальпия газа до и после детандера, соответственно.

Если $h_{\text{ВХ}} \neq h_2$ и изменение энтальпии газа при его поступлении в газопотребляющую установку влечет изменение его расхода (как, например, при использовании газа в качестве топлива), то формулы (1)-(3) примут соответственно следующий вид [5, 6]:

– расход топлива на подогрев газа в котле $VG_{\text{топ}}^{\text{под}}$:

$$VG_{\text{топ}}^{\text{под}} = \frac{G_{\text{топ}} \cdot (h_1 - h_{\text{ВХ}})}{(Q_{\text{нтс}} + h_2 - h_{\text{ВХ}}) \cdot \eta_{\text{к}}}; \quad (4)$$

– мощность ДГА:

$$N_{\text{ДГА}} = G_{\text{топ}} \cdot \frac{Q_{\text{нтс}} + h_{\text{ВХ}} - h_0}{Q_{\text{нтс}} + h_2 - h_0} \cdot (h_1 - h_2); \quad (5)$$

– удельный расход топлива на выработку электроэнергии (все изменение расхода топлива относится на выработку электроэнергии):

$$G_{\text{урт}} = \frac{VG_{\text{топ}}}{N_{\text{ДГА}}} = \frac{1}{(Q_{\text{нтс}} + h_2 - h_0) \cdot \eta_{\text{к}}} \cdot \frac{(h_1 - h_{\text{ВХ}})}{(h_1 - h_2)} \cdot \left[1 + \frac{(h_{\text{ВХ}} - h_2) \cdot \eta_{\text{к}}}{(h_1 - h_{\text{ВХ}})} \right]. \quad (6)$$

Результаты расчёта удельного расхода топлива для выработки электроэнергии по формуле (6) показаны на графике (рис. 2). Тепло уходящих газов газотурбинной установки можно использовать для подогрева газа перед турбодетандером (рис. 3).

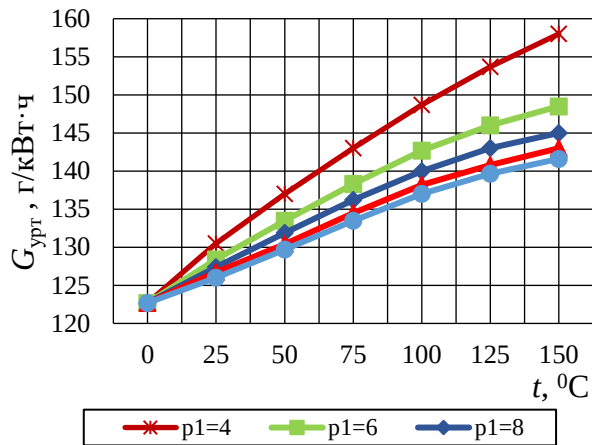


Рис. 2. Удельный расход топлива на выработку электроэнергии

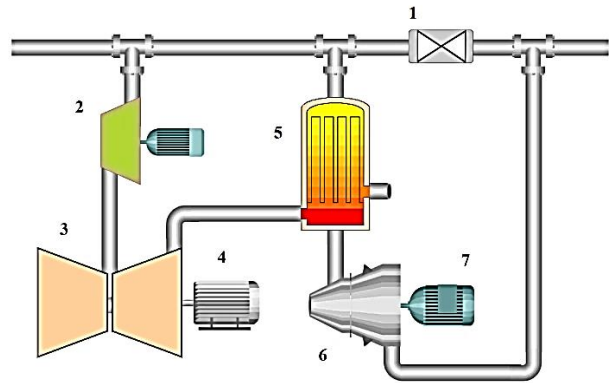


Рис. 3. Подогрев газа уходящими газами ГТУ
1 – дроссельное устройство; 2 – компрессор;
3 – газотурбинная установка (ГТУ);
4 – генератор ГТУ; 5 – теплообменник;
6 – детандер; 7 – генератор

Общее тепло, передаваемое дымовыми газами $Q_{дг}$, должно равняться сумме мощности детандер-генераторной установки и тепловых потерь после теплообменника.

$$Q_{дг} = N_{ДГА} + Q_{уг}; \quad (7)$$

где $N_{ДГА}$ – мощность ДГА; $Q_{уг}$ – теплота уходящих газов.

Тогда мощность ГТУ составит:

$$N_{ГТУ} = N_{ДГА} \cdot \frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{\eta_{ГТУ}}{1 - \eta_{ГТУ}};$$

где $\eta_{ГТУ}$ – КПД газотурбинной установки.

Удельный расход топлива на выработку электроэнергии рассчитывается как:

$$G_{урт} = \frac{1}{(Q_{нтс} + h_{БХ} - h_0)} \cdot \frac{\left(\frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{\eta_{ГТУ}}{1 - \eta_{ГТУ}} \cdot \frac{h_{БХ} - h_2}{h_1 - h_{БХ}} \right)}{\left(\frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{\eta_{ГТУ}}{1 - \eta_{ГТУ}} \cdot \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{БХ}} \right)}. \quad (8)$$

На графике (рис. 4) показаны результаты расчёта удельного расхода топлива для выработки электроэнергии по формуле (8).

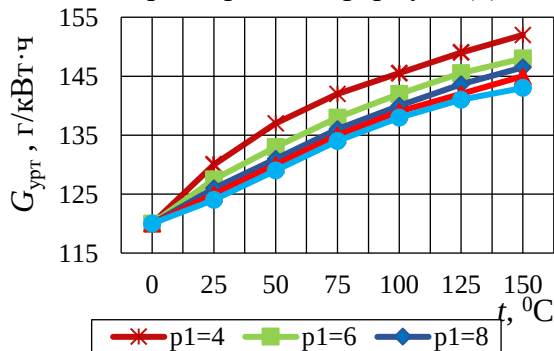


Рис. 4. Изменение удельного расхода топлива при повышении температуры газа перед детандером

Если изменение энтальпии газа на выходе из детандера не оказывает влияния на расход газа в газопотребляющем оборудовании, то формулы принимают следующий вид:
а) расход топлива:

$$\Delta G_{топ} = G_{ГТУ} = G_{топ} \cdot \frac{(h_1 - h_{БХ})}{(Q_{нтс} + h_{БХ} - h_0)} \cdot \frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{ГТУ}}; \quad (9)$$

б) электрическая мощность:

$$N_{уст} = G_{топ} \cdot (h_1 - h_2) \cdot \left(\frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{\eta_{ГТУ}}{1 - \eta_{ГТУ}} \cdot \frac{(h_1 - h_{вх})}{(h_1 - h_2)} + 1 \right); \quad (10)$$

в) удельный расход топлива на выработку электроэнергии:

$$G_{урт} = \frac{1}{(Q_{нтс} + h_{вх} - h_0)} \cdot \frac{\left(\frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{1}{1 - \eta_{ГТУ}} \right)}{\left(\frac{t_{дг} - t_{хв}}{t_{дг} - t_{уг}} \cdot \frac{\eta_{ГТУ}}{1 - \eta_{ГТУ}} + \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_{вх})} \right)}. \quad (11)$$

Анализ показал, что при повышении температуры подогрева газа относительное снижение расхода топлива более заметно при использовании дымовых газов ГТУ, чем котла, благодаря большей мощности ГТУ.

Выводы. Расчёты показали, что максимальная мощность достигается при подогреве газа дымовыми газами от газотурбинной установки. При низких температурах подогрева эффективнее использовать котёл, а при повышении температуры экономически выгоднее применять дымовые газы ГТУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Агабабов В.С., Андреев А.Р. Изменение показателей котельных при применении детандер – генераторных агрегатов / Промышленная энергетика. 2004. №7. С. 38–44.
2. Андреев А.Р. Изменение показателей работы котельных при применении ДГА с подогревом газа дымовыми газами ГТУ / Промышленная энергетика. 2005. №1. С. 42–44.
3. Оценка показателей детандер-генераторных агрегатов, установленных на ГРС и ГРП // Корягин А.В. / Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №1. С.71-74.
4. Агабабов В.С., Корягин А.В., Титов В.Л., Хаймер Ю.Ю. Об использовании ДГА в котельных. Энергосбережение и водоподготовка. 2000. №2. С.14–18.
5. Белоусов А.Е. Моделирование газодинамических процессов, связанных с утилизацией энергии природного газа на малых пунктах редуцирования единой системы газоснабжения при помощи регулируемого детандер-генератора объемного типа / А.Е. Белоусов, О.В. Кабанов, Г.Х. Самигуллин. – Текст: непосредственный / Территория Нефтегаз. 2017. № 7–8. С. 18–23.
6. Мукольянц А.А., Таубалдиев А.А., Махмудов А.А. Использование детандер-генераторного агрегата для энергоснабжения объектов, удаленных от магистральных электрических сетей. Сб. мат-лов Всеросс. конф. Неделя науки ИСИ., В 3 ч. Ч. 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, С. 217–219.

УДК 621.649

С. Рахматиллаев, Б. Хамдамов, А. Мамбетов
Ташкентский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

В системе Минводхоза Республики Узбекистан в настоящее время эксплуатируется 1603 насосных станций (НС), более 5 тыс. насосных агрегатов. В прошлом году в сельском хозяйстве в Узбекистане было потреблено 39 млрд м³ воды [1]. Более 50% орошаемых земель республики обеспечиваются машинным водоподъемом (из 4,3 млн га – 2,5 млн). Ежегодно только головными НС перекачивается более 27 млрд м³ и затрачивается до 7 млрд кВт·ч электроэнергии, что составляет до 10% всей мощности энергосистемы Узбекистана. Однако

80% насосов работают уже 45–50 лет и выработали свой ресурс. Работоспособность НС поддерживается ежегодными дорогостоящими ремонтами, однако, по данным НИИИВП (Научно-исследовательский институт водных проблем) до 20–25% затрат являются непроизводительными по энергозатратам и 30–50% – по ремонтно-восстановительным затратам [2, 3].

В перечисленных условиях эксплуатации основными направлениями по повышению энергоэффективности НС являются реконструкция НС и примыкающих к ним сооружений, внедрение экономичных способов регулирования режима работы, устранение непроизводительных потерь электроэнергии, напора воды, внедрение энерго-водосберегающих технологий эксплуатации НС.

Эффективность эксплуатации НС прежде всего зависит от установления таких режимов работы, при которых оборудования и сооружения имели бы оптимальные значения КПД и минимальные эксплуатационные затраты [4, 5].

Кавитационно-абразивный износ ирригационных насосов вызывает значительные издержки по ремонту и эксплуатации в системах машинного водоподъёма [4]. При средней концентрации твердых частиц в воде ($2,15 \text{ кг/м}^3$) и при средней подаче одного насоса $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ через проточные части каждого агрегата за 1 час протекает до 1150 кг твердых частиц, а за сутки – 27830 кг. Следовательно, наличие в перекачиваемой воде твердых частиц – один из главных факторов интенсивного изнашивания проточной части насосов для орошения, который ликвидируется по рекомендациям авторов на современных насосах.

Основную роль в разработке новых технологий эксплуатации НС играет энергетическая составляющая. Энергетическую оценку проводят одновременно с гидротехнической оценкой на всех режимах НС и определяют мощность на валу насоса (потребляемую мощность N_n), коэффициент загрузки двигателя, K_z %, КПД НС.

Коэффициент загрузки электродвигателя определяют по формуле:

$$K_z = \frac{P \cdot \eta_n}{P_n} \cdot 100\%,$$

где P – мощность, потребляемая из сети, кВт, P_n – номинальная (паспортная) мощность электродвигателя, кВт, η_n – номинальный (паспортный) КПД.

КПД насоса (отношение полезной мощности к потребляемой):

$$\eta_n = \frac{N_n}{N} \cdot 100\%$$

Полезную мощность насоса N_n также определяют расчетным путем:

$$N_n = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102}, \text{ кВт.}$$

Эксплуатация НС при установившемся режиме (H_Γ , $Q_{\text{НС}}$, $\eta_{\text{НС}}$ – const) требует на каждые 1000 м^3 подаваемой воды энергетические затраты в количестве

$$e = \frac{2,72 \cdot H_\Gamma}{\eta_{\text{НС}}}, \text{ кВт.ч/тыс. м}^3$$

где e – удельные затраты электроэнергии на НС на каждые 1000 м^3 подаваемой воды при геометрической высоте подъема H_Γ .

За период времени t НС подает W (тыс. м^3) воды и затратит объём электроэнергии непосредственно на водоподъем.

$$\mathcal{E}_B = eW, \text{ кВт.ч,}$$

где $\mathcal{E}_B$ – потребление электроэнергии НС за период t .

2. Практическая значимость результатов исследований основывается на разработанных способах гидравлического расчета потока в водоприёмниках, проточной части насосов, оценки условий региональной эксплуатации. Снижение износа и энергоэффективности насосов зависит от правильного выбора и подготовки рабочего колеса и проходного сечения, снижения сопротивления потоку. С целью снижения процесса кавитации и эрозии в рабочем колесе были разработаны усовершенствованные конструкции проточной части насоса, получены их новые характеристики.

3. Рекомендации по применению в эксплуатации в сооружениях и гидромеханического оборудования новых методов энергоэффективности их основных элементов внедрены на НС Амубухарского и Каршинского каналов для повышения срока эксплуатации насосных агрегатов и ресурсосбережения.

4. Результаты модельных экспериментов свидетельствуют о повышении устойчивости армированного верхового откоса по сравнению с неармированным низовым. Для всех типов исследованных армированных откосов установлена существенная деформируемость по сравнению с неармированными моделями (отмечено уменьшение осадок в 2–6 раз).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гловацкий О.Я., Насырова Н.Р., Бердияров А.Э. Исследование кавитационно-абразивного износа ирригационных насосов / Сб. научных статей XV НПК молодых учёных. Ташкент, 2016, с. 433–436.
2. Glovatskiy O., Khamdamov B., Sidiqova M.Q., Raxmonova N.A. Environmental aspects of energy saving modes of hydropower facilities <https://WOS.ACADEMIASCIENCE.ORG> Volume 3, ISSUE 2, 2022
3. Гловацкий О.Я., Эргашев Р.Р., Абдуллаев А.А., Рашидов Ж.И. Парракли насос оқим қисмини дастурий моделлаштириш натижалари J. "Irrigatsiya va melioratsiya", №3(25). 2021. С.28-34.
4. Ismoilov N., Nasirova N., Kholbutaev B., Khusanbayeva Kh. and Nazarov O. Technology of water supply to water inlets of pumping stations IPISE 2021 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012156>
5. Nosirov F., Glovatskiy O., Khamdamov B., Gazaryan A. Increasing the Stability of the Supply Hydraulic Structures. APL Energu Latest Artikles Online. Read Nov. Aip Publishing. Research artikle. June 17 2024. <https://doi.org/10.1063/5.0218867>.
6. Glovatskii O., Hamdamov B., Ismoilov N., Gazaryan A., Nasirova N. Boundaries of flow change in an array of structures with an inclined slope. E3S Web of Conferences 365, 03009 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503009> CONMECHYDRO – 2022.

УДК 621.311

А.Ш. Сайфутдинов, М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, С.Р. Жураев
Ташкентский государственный технический университет

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Эксплуатации электроэнергетической отрасли Узбекистана показывает, что одним из основных вопросов повышения надежности энергоснабжения является обеспечение необходимого диапазона и динамики регулирования производимых мощностей, которые полностью отвечали бы требованиям потребления энергии. Как известно, эта задача решается путем выбора оптимальной структуры генерирующих мощностей, которая предусматривает устойчивость и экономичность энергосистемы [1]. Коэффициент неравномерности графика потребления электроэнергии (суточных графиков нагрузки) энергосистемы республики составляет $K_{нм} = 0,72...0,76$, и со временем меняется (рисунок 1), что создает определенные трудности особенно при прохождении ночных минимумов суточных графиков нагрузки.

Опыт зарубежных энергосистем с преобладанием ТЭС (как в Республике Узбекистан) показывает, что доля всех высокоманевренных установок должна составлять не менее 25% от суммарной установленной мощности энергосистемы. При этом для организации оптимальной

и надежной работы ТЭС доля ГАЭС (с учетом их способности осуществлять двойное регулирование – как генерации, так и нагрузки) должна составлять 10–12% [1–3]. К сожалению, это соотношение в энергосистеме республики пока не соблюдается.

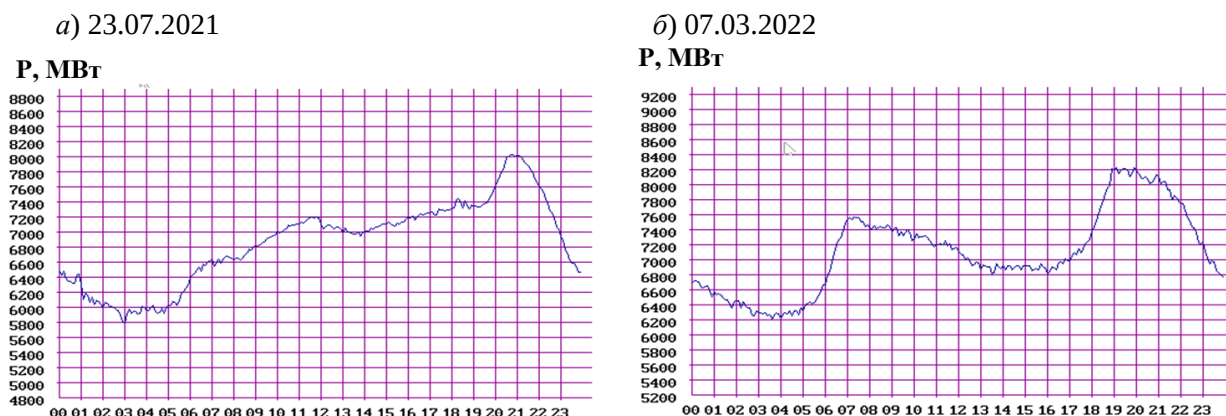


Рис. 1. Графики суточных нагрузок ЭЭС Республики Узбекистан

Недостаточный удельный вес высокоманевренных ГЭС и ГАЭС в структуре генерирующих мощностей в энергосистеме республики вынуждает осуществлять регулирование мощностей тепловыми электростанциями. Это приводит к ухудшению показателей энергоснабжения, в частности напряжения и частоты в энергосистеме, так как тепловые электростанции не могут оперативно изменять мощность [1,4]. Кроме того, в аварийной ситуации отсутствие высокоманевренных резервных мощностей может привести к развитию аварии, либо к увеличению времени восстановления нормального режима работы. Частые пуски и остановки турбоагрегатов приводят к перерасходу топлива, снижению долговечности теплоэнергетического оборудования и увеличению затрат на ремонтное обслуживание, ухудшению экологической обстановки в районах расположения ТЭС [1, 4].

По данным унитарного предприятия «Талимарджанская ТЭС» за 2017 г. количество остановок энергоблока К-800-240-5, установленного в Талимарджанской ТЭС составило 5, а общий расход топлива на пуск энергоблока 1601 тыс. м³ в год, что соответствует потери топлива на каждый пуск в среднем по 320 тыс. м³ природного газа [4].

Величина среднего удельного расхода топлива составила 375,81 г.у.т./кВт·ч, а в тех энергосистемах стран, где осуществляется должное регулирование мощностей с использованием ГАЭС, эта цифра не превышает 320,0...340,0 г.у.т./кВт·ч [3, 4].

По зарубежным данным, около 25% аварийных остановок теплового оборудования происходит из-за повреждений в период пуска, однако последствия температурных перенапряжений из-за неравномерной работы этого оборудования проявляются и во время стационарных режимов [4].

Все эти вышеприведенные проблемы в энергосистеме Республики указывают на необходимость развития строительства высокоманевренных энергоустановок и гидроэнергетических комплексов [5], прежде всего ГЭС и ГАЭС. В настоящее время в Республике для решения этой проблемы сделаны первые шаги, приняты важные государственные программы. Однако это может решить только часть проблемы, так как ГЭС могут покрывать только пиковые нагрузки при прохождении суточного графика. Другая часть проблемы, т.е. покрытие провалов графика нагрузок может быть решена только строительством ГАЭС, которые будут работать в насосном режиме в провалах графика нагрузок, обеспечивая более благоприятный режим ТЭС.

Помимо вышеприведенных преимуществ ГАЭС могут иметь, так называемый топливный эффект, который достигается за счет разности расходов топлива в периоды

аккумулирования энергии и генерирования пиковой мощности. В периоды насосного режима, которые соответствуют минимальным нагрузкам графика, ГАЭС потребляет энергию, выработанную базисными электростанциями при удельном расходе условного топлива $G_n = 0,25...0,27$ кг у.т./($\text{кВт}\cdot\text{ч}$). В генерирующем режиме ГАЭС заменяет нагрузки теплоэнергетических установок в пиковых режимах с удельным расходом условного топлива $-G_r = 0,5$ кг у.т./($\text{кВт}\cdot\text{ч}$). Если КПД ГАЭС принимать $\eta = 0,70...0,75$, то есть удельная экономия топлива составляет $0,16...0,187$ кг у.т./($\text{кВт}\cdot\text{ч}$).

В качестве примера на рисунке 2 показано, насколько будет эффективным использование ГАЭС в энергосистеме Республики Узбекистан, используя суточный график нагрузки за 23.07.2021 г.

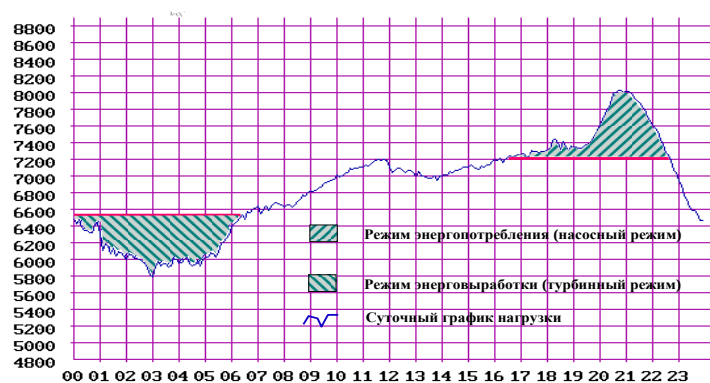


Рис. 2. Суточный график нагрузки (МВт) энергосистемы Республики Узбекистан и участие ГАЭС

На графике отмечены зона работы ГАЭС (мощностью около 800 МВт) в насосном режиме в период минимума нагрузки и зона работы в турбинном режиме ГАЭС в пиковой части графика. При использовании такого режима ГАЭС в насосном режиме будет потреблять примерно, 2000 МВт·ч электроэнергии в течение 6 часов и эквивалентный этой энергии объем воды будет накапливаться в водохранилищах. Если принимать КПД ГАЭС 0,75, то данный объем воды позволяет выработать 1500 МВт·ч электроэнергии в течение 6 часов в пиковой части графика. Это значит, что только за счет топливного эффекта за сутки можно сэкономить 300...350 т у.т., или 100...125 тыс. т у.т. в год, а при его международных ценах (не менее 100 \$/т у.т) это будет более 10–12,5 млн долларов в год. При этом коэффициент неравномерности графика суточной нагрузки увеличивается от $K_{nm} = 0,72$ до $K_{nm} = 0,91$.

Анализ возможности строительства ГАЭС и использования гидроэнергетических ресурсов в Узбекистане показывает, что, осуществляемые работы в этом направлении явно недостаточны. Суточный график нагрузки ЭЭС республики наиболее напряжен в зимний период. Пиковая нагрузка в декабре-январе составляет на около 22–25% больше чем, средняя, но максимальная регулирующая мощность гидроэлектростанций республики для покрытия этой нагрузки не превышает 12% установленной мощности всех электростанций [1, 2].

Все это указывает на необходимость активизации использования гидроэнергетических и других возобновляемых источников энергии, параллельно с совершенствованием управления этими ресурсами на фоне энергосбережения [5].

Выводы. Эффективность строительства ГЭС и особенно ГАЭС в Узбекистане обосновывается:

- увеличивающейся потребностью в маневренной мощности для покрытия пиков суточной нагрузки и компенсации ее кратковременных изменений;
- использованием дешевой ночной электроэнергии в провалах суточного графика нагрузки;
- необходимостью оптимизации работы базисных электростанций;
- экономией топлива в энергосистеме;

- обеспечением быстрого оперативного и аварийного резерва;
- участием в регулировании режимных параметров с целью обеспечения качества электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сангинов А.А., Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Выбор и обоснование параметров гидроаккумулирующих электростанций. Монография. Ташкент: «Фан ва технология», 2023.
2. Мухаммадиев М.М., Клычев Ш.И. Использование гидроаккумулирующих электростанций в Узбекистане. Гелиотехника, № 6, 2018.
3. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. М.: Изд-во Юрайт, 2018.
4. Джураев К.С., Мукольянц А.А. Перспективы и особенности строительства ГАЭС в Узбекистане // Молодой ученый. Казань, 2016. № 27 (131), ч. 1. С. 64–68.
5. Елистратов В.В. Теоретические основы формирования гидроэнергетических комплексов / В.В. Елистратов, М.М. Мухаммадиев. Монография. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024.

УДК 620.93

С.Р. Уралбаева, О.Х. Низамов, Ф.Т. Шадибекова
Ташкентский государственный технический университет

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ И ПРОВЕДЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОАГРЕГАТА ГЭС-8

Повышение эффективности современных гидроэлектростанций, возможно главным образом за счет снижения капитальных затрат и улучшения энергетических качеств оборудования и гидроэлектростанций в целом.

Для повышения эффективности гидроэлектрических станций существенное значение имеют применение рациональных компоновок зданий ГЭС и придание элементам проточной части оптимальных очертаний и размеров.

Здание ГЭС рассматривается совместно с его подводящим и отводящим трактами. Турбинный блок является основной частью здания, предназначенной для размещения гидроагрегатов, вспомогательного оборудования, проточной части турбин и водосбросов.

В процессе работы гидроагрегата наблюдается ослабление соединений в местах крепления лап верхней крестовины, в соединениях нижней крестовины, в креплениях полюсов ротора генератора, лопастей рабочего колеса поворотно лопастных турбин и др.

Вибрация по этой причине выявляется чаще всего после некоторого времени работы агрегата под нагрузкой. Устранение вибрации в таких случаях производится повторным затягиванием болтовых соединений агрегата либо увеличением жесткости конструкции соответствующих деталей.

Одной из частых причин повышенной вибрации является небаланс или неуравновешенность ротора агрегата [1]. Наличие в этом случае в роторе генератора или в рабочем колесе турбины неуравновешенной массы создает при вращении центробежную силу, которая и вызывает вибрацию ротора агрегата.

Наличие или отсутствие вибрации гидроагрегата определяет возможность длительной надежной работы агрегата и является одним из основных качественных показателей его конструкции, технологии изготовления и выполнения монтажных работ. Повышенная вибрация гидроагрегата может привести к аварийному состоянию, понижению КПД и дополнительным потерям энергии. Поэтому, когда вибрация агрегата превышает допустимые величины, должны быть установлены и устранены причины повышенной вибрации.

Причины повышенной вибрации гидроагрегата в зависимости от источника возмущающей силы могут быть разделены на три вида: механические, гидравлические и электрические.

К механическим причинам можно привести пример Г-3 ГЭС-8 Каскада Чирчикских ГЭС, в котором в период эксплуатации с 2021 г. было выявлено неустойчиво работы подпятника по тепловому состоянию, где температура диска подпятника составила свыше 75 °С.

В 2023 г. во время очередного ремонта при обследовании опорных конструкций подпятника обнаружены сквозные трещины на опорных стальных кольцах в зоне опирания опорных сухарей сегментов.

В связи с этим было принято решение вывести гидроагрегат в ремонт с выемкой ротора генератора и со снятием ступицы подпятника для замены опорных стальных колец.

При демонтаже опорных конструкций гидроагрегата было обнаружено, что стальные опорные кольца в количестве 3 шт. разрушены, и требовалась замена на новые.

В процессе ремонта были выполнены следующие технические мероприятия [2] – в заводских условиях были изготовлены стальные опорные кольца:

- проведена перезаливка баббитовых сегментов подпятника;
- проведена полировка зеркальной поверхности диска;
- проведена регулировка зазоров между сегментами генераторного подшипника и валом генератора;
- проведены работы по перпендикулярности расположения сегментов к зеркальному диску;
- проведена регулировка зазоров между резиновыми вкладышами турбинного подшипника и валом турбины.

После устранения выявленных дефектов и полной сборки гидроагрегата согласно техническому регламенту ПТЭ на гидроагрегате проведены вибрационные испытания [3], при этом схема расстановки вибропреобразователей на опорных конструкциях гидроагрегата сохранена идентичной, как и при проведении предмонтажных испытаний, для удобства сравнения вибрационных характеристик опорных конструкций до и после капитального ремонта.

При проведении испытаний вибропреобразователи на опорных конструкциях гидроагрегата устанавливались следующим образом [4]:

- на нижней (опорной) крестовине, для измерения радиальной вибрации в направлении ВБ и ПБ, а также для измерения вертикальной вибрации;
- на стальных конструкциях статора гидрогенератора, для измерения радиальной вибрации;
- на корпусе турбинного подшипника, для измерения радиальной и вертикальной вибрации.

Биеение вала измерялось в зоне коллектора возбuditеля и в зоне турбинного подшипника

Режимы работы гидроагрегата при испытаниях устанавливались согласно рабочей программе испытаний:

- холостой ход без возбуждения с номинальными оборотами вращения $n = 150$ об/мин;
 - холостой ход с номинальным возбуждением $U_{ст} = 10$ кВ;
 - работа гидроагрегата в системе с изменением активной нагрузки: $P = 5,0; 10,0; 15,0; 17,0$ МВт;
- Результаты испытаний представлены в таблице 1.

По результатам испытаний гидроагрегата в режиме холостого хода без возбуждения, можно сделать следующие выводы: низкий уровень вибрации опорных конструкций и биеения вала в зоне направляющих подшипников свидетельствует о хорошей сбалансированности вращающихся частей гидроагрегата, при этом общая линия вала правильная.

При этом гидроагрегат по эксплуатационным параметрам стабильно отработал в межремонтный период эксплуатации 5 лет [5], что свидетельствует о наличии достаточного эксплуатационного ресурса, необходимого для дальнейшей эксплуатации гидроагрегата.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Режимы работы г/а	Размах вибрации опорных конструкций гидроагрегата, мкм/Гц						Биение вала, мм	
	Схема расстановки в/д			Стальные конструкции статора генератора	Корпус турбинного подшипника		В зоне коллектора возбуждителя	В зоне турбинного подшипника
	Р1(ВБ)	В2(ВБ)	Р3(ПБ)					
Холостой ход без возбуждения $n = 150$ об/мин	75 2,5	70 2,5	70 2,5	<10		35 2,5	35 2,5	1,0 0,3–0,35
Холостой ход с возбуждением $U_{ст} = 10,5$ кВ	125 2,5	70 2,5	100 2,5	30 2,5	10 100	40 2,5	35 2,5	1,2 0,3–0,35
Нагрузка $P = 5,0$ МВт	130 2,5	80 2,5	120 2,5	30 2,5	10 100	40 2,5	40 60	1,2 0,3–0,35
Нагрузка $P = 10,0$ МВт	115 2,5	75 2,5	100 2,5	30 2,5	10 100	30 2,5	30 2,5	1,0 0,3–0,35
Нагрузка $P_{max} = 17,0$ МВт	100 2,5	70 2,5	85 2,5	30 2,5	10 100	25 2,5	30 2,5	1,0 0,3–0,35

Примечание: Р – радиальная составляющая вибрации; В – вертикальная составляющая вибрации.

Выводы.

1. Анализ результатов вибрационных испытаний показал, что в диапазоне нагрузок $P = 10–17$ МВт гидроагрегат в вибрационном отношении работает устойчиво. При этом уровень вибрации опорных конструкций агрегата и величина биения вала в зоне направляющих подшипников не превышает нормативных допусков. Длительная работа гидроагрегата при низких нагрузках до 10 МВт не рекомендуется.

2. После проведения ремонта произошло заметное снижение уровня радиальной составляющей вибрации нижней крестовины в направлении ВБ-НБ во всех эксплуатационных режимах практически в два раза, при этом величина биения коллектора возбуждителя снизилась с 2,5 мм до 1,0 мм, а бой вала в зоне ТП снизился с 0,4–0,5 мм до 0,3–0,35 мм.

3. Необходимо отметить, что температура диска подпятника при нагрузке 17 МВт стабилизировалась и не превышает 59–60°C (до ремонта она превышала 75°C) и вибрационное состояние опорных узлов гидроагрегата и стальных конструкций статора гидрогенератора после проведения капитального ремонта оценивается как «удовлетворительное» работоспособное.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тарасов В.Н. Вибрация и динамическая устойчивость гидроагрегата / ООО «ДИАМЕХ 2000».
2. Штерн Е.П. Справочник по эксплуатации и ремонту гидротурбинного оборудования. М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Абдульямов Т.Р. О вибрациях в гидроагрегатах ГЭС с широким диапазоном рабочей зоны / Казань, Казанский государственный энергетический университет, 2018.
4. Унитарное предприятие «Ташкентский каскад гидроэлектростанций». Материалы АО «Узбекгидроэнерго», 2024.
5. <https://leg.co.ua> > Архив > Генерация

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Секция «Гидравлика и гидротехническое строительство»	3
<i>Аникин С.С.</i> Проверка пригодности мелкой фракции хвостов для создания противофильтрационного экрана в хвостохранилище	3
<i>Брежнева А.В., Беляев Н.Д.</i> Экологические аспекты строительства морских ветряных электростанций.....	5
<i>Бушуев С.Д., Реутов Е.А., Фролова И.Е.</i> Анализ проектных решений, повышающих сейсмоустойчивость Толмачевской ГЭС-4	8
<i>Васильева В.М., Ольшевский В.Я.</i> Определение параметров течения через трубопроводы для обеспечения минимального образования отложений на их стенках	10
<i>Власова З.М.</i> Сравнительный анализ расчетных методов определения ледовой нагрузки в России и зарубежом	13
<i>Герке С.А., Фролова И.Е.</i> Принципы расчета турбинного трубопровода малой ГЭС на Кировской плотине методом конечных объемов в программном комплексе FLOW-3D	16
<i>Гимадиев Б.</i> Влияние колебания уровня Каспийского моря на работу морских объектов.....	19
<i>Гимадиев Б.</i> Особенности строительных решений при проектировании защитного сооружения в прибрежной зоне месторождения на Каспии.....	22
<i>Горбунова А.Д.</i> Анализ и сопоставление современных конструктивных типов причалов	25
<i>Губанова А.А.</i> Анализ устойчивости причального сооружения на базе программы PLAXIS	27
<i>Данг Т.Т., Лалин В.В., Фам Н.Т.</i> Исследование влияния поверхностных нагрузок на несущую способность консольных шпунтовых стен	31
<i>де Векки А.Д.</i> Исследование сходимости результатов расчета несущей способности висячей сваи по СП 24.13330.2021 вручную и в программном комплексе SCAD	34
<i>Девлешова К.А., Беляев Н.Д.</i> Расчет несущей способности конструктивных элементов причала.....	37
<i>Донцов И.В., Большев А.С.</i> Экспорт трехмерных геометрических моделей морских гидротехнических сооружений из программного комплекса NANOCAD в ANCHORED STRUCTURES	40
<i>Екимов К.С., Беляев Н.Д.</i> Исследование устойчивости сухого дока с использованием программного комплекса PLAXIS 3D	43
<i>Ермошкин Л.Г.</i> Ледяные дамбы как временные ограждающие конструкции для защиты от ледохода	46
<i>Ермошкин Л.Г.</i> Модернизация инженерных сооружений для обеспечения миграции рыб через преграды на водотоках	48
<i>Ильина Е.Р., Шарапов Д.А.</i> Течения как источник возобновляемой энергии и их энергетический потенциал	51
<i>Кришталь М.А., Фролова И.Е.</i> Анализ условий и характера затопления и подтопления территории реки Тосно.....	54
<i>Крылова К.К., Шарапов Д.А.</i> Системы обогрева затворов гидротехнических сооружений.....	57
<i>Леденева А.А., Ермак О.В.</i> Выбор повысительных насосных установок с учетом существующих нормативных документов	60
<i>Литвиненко И.А., Мостовых П.С.</i> Методика расчета срока службы трубопровода в условиях циклического нагружения гидравлическим ударом	62
<i>Лысоконев Н.В., Большев А.С.</i> Постановка платформ с атомными энергоблоками в Арктике	64
<i>Льнова М.А.</i> Сравнение сифонного водозабора и водоприёмного колодца в системе оборотного водоснабжения.....	67

<i>Маевский И.В., Шарапов Д.А.</i> Влияние температурного режима на толщину льда в акватории	70
<i>Малых А.С., Шарапов Д.А.</i> Вопросы обледенения в Российском морском регистре судоходства и СП 38.13330.2018	73
<i>Малых А.С.</i> Разработка геотермальных месторождений на шельфе России.....	76
<i>Марейчев Н.В., Федоров К.А., Кузнецов Д.И., Беляев Н.Д.</i> Экологическая оценка эксплуатации портовых сооружений на Черном море	78
<i>Мошков Д.С.</i> Инновационные материалы: будущее строительной отрасли	81
<i>Мутных Д.И., Скворцова О.С.</i> Лазерное сканирование для эффективного мониторинга гидротехнических сооружений: анализ и перспективы	84
<i>Палкина Д.И.</i> Сложности мониторинга состояния конструкций в ледовых условиях	87
<i>Петряков Р.А.</i> Расчет узла сопряжения стальной сваи-оболочки с ростверком	89
<i>Подсевалова П.А., Скворцова О.С.</i> Влияние климатических условий на уровень воды Куйбышевского водохранилища	93
<i>Продан А.О., Фролова И.Е., Лавров Н.П.</i> Гидравлическое расчетное обоснование параметров гидротехнических сооружений деривационной ГЭС на р. Шу, Казахстан.....	95
<i>Руссков П.А., Меркулов А.А., Семенов К.В.</i> Снижение материалоемкости деревянного покрытия промздания путем назначения рационального шага поперечных рам.....	98
<i>Свиридова С.Я., Гиргидов А.А.</i> Влияние быстрого закрытия шарового крана на систему водоснабжения квартиры верхнего этажа	101
<i>Севостьянов Н.А., Столяров О.Н.</i> Анализ современных способов защиты территорий от наводнений	103
<i>Сокурченко А.Д., Лавров Н.П., Фролова И.Е.</i> Компонировка сооружений головного гидроузла малой ГЭС на р. Джарды-Каинды, Кыргызстан.....	106
<i>Суднициков С.С., Коряковцева Т.А., Елисеева А.А.</i> Верификация программного комплекса «Гидросистема».....	108
<i>Суханов Н.И.</i> Технология возведения ледовых островов методом наслаивания ледовых полей	111
<i>Фаттахов Э.И., Смирнов Е.М.</i> Оценка пропускной способности паводкового водосброса гидроузла Рождественской МГЭС	114
<i>Ханцевич И.М.</i> Актуальность разработки методики водноэнергетических расчетов	117
<i>Харитонов Л.Д., Шарапов Д.А.</i> Аварии на объектах связанных с нефтедобычей	120
<i>Цветинская Д.Ю., Коряковцева Т.А., Лебедев Э.С.</i> Изучение и моделирование процессов смыва взвешенных веществ и мусора осадками	123
<i>Шабанова Н.И.</i> Роль морских портов Арктики в глобальной транспортной системе.....	126
<i>Маслов П.В.</i> Развитие энергосистемы Камчатского края.....	128
<i>Прокопчук Д.В.</i> Проблема определения ценовых показателей при проведении обследования	131
Секция «Природообустройство и городское строительство».....	134
<i>Спиридонова Е.В., Павлов С.Я.</i> Доходный дом Романова: анализ исторической ценности и состояния здания.....	134
<i>Егорова Е.А., Киселева К.С., Павлов С.Я.</i> Доходный дом И.П. Струбинского: историческая значимость и современное состояние	136
<i>Кинев Н.Ю., Павлов С.Я.</i> Отечественный и иностранный консольно-шламовый насос: сравнение по основным параметрам	139
<i>Майер М.Х., Павлов С.Я.</i> Консольные моноблочные насосы: сравнение насосов разных производителей	141
<i>Школин В.Д., Павлов С.Я.</i> Водоотводящие сети Первомайского района Новосибирска.....	144

<i>Долгова К.Д., Волкова Ю.В.</i> Обоснование необходимости создания зоны рекреации в городе Кудрово Ленинградской области	146
<i>Егорова Е.А., Киселева К.С., Волкова Ю.В.</i> Обзор карьеров Ленинградской области для градостроительных целей.....	148
<i>Альбатаине Билал Я.А., Волкова Ю.В.</i> Использование солнечной энергии при проектировании сада исламской архитектуры (университет Аль-Байт).....	151
<i>Китаева Е.С., Кriuлин К.Н.</i> Инфильтрационные биобассейны как элементы искусственной экосистемы городов.....	154
<i>Уткин К.Л., Кriuлин К.Н.</i> Учет фактора неустановившегося режима движения грунтовых вод при определении сроков строительства.....	157
<i>Хадзиева В.А., Кriuлин К.Н.</i> Интерьерный динамический ресурсосберегающий «фонтан с сифонами»	160
<i>Синицких А.А., Кriuлин К.Н.</i> Экономический аспект применения подпорных стенок....	162
<i>Abbas O., Braila N.V.</i> A data-driven approach to enhancing building accessibility for disabled individuals in Syria	165
<i>Скуртул Е.М., Леднова Ю.А.</i> Особенности проектирования зеленой кровли в Санкт-Петербурге.....	167
<i>Шарагина М.П., Леднова Ю.А.</i> Применение полимер-композитной тротуарной плитки в городской среде Заполярья	170
<i>Вэй Т., Лю Х., Чжэн Ч., Негуляева Е.Ю.</i> Технологии умного города для устойчивой городской инфраструктуры.....	172
<i>Ерланова А.Е., Политаева Н.А.</i> Борьба с цветением водоемов на озерах в Ленинградской области	175
<i>Колесникова Е.А., Дурицын Д.Е., Жажков В.В.</i> Сравнительный анализ эффективности шумозащитных экранов в Санкт-Петербурге	178
<i>Макаров Н.Н., Гарманов В.В., Заварин Б.В., Терлеев В.В.</i> Особенности использования ГИС Аксиома для землеустройства и кадастра недвижимости	180
<i>Подолькина М.С., Уварова Е.Л.</i> Сравнительный анализ работы сервиса публичной кадастровой карты: оценка изменений интерфейса и наполнения	184
<i>Моисеев К.Г., Дунаева Е.А., Гарманов В.В., Лазарев В.А., Терлеев В.В.</i> Ограничение метода Муалема при учете гистерезиса гидравлической проводимости почвы как капиллярно-пористой среды.....	186
<i>Васильев П.В., Моисеев К.Г., Терлеев В.В.</i> Идентификация генетических горизонтов торфяных почв с визуально недифференцированным профилем по фотоизображениям разрезов	189
<i>Поносов А.Н.</i> Задачи природообустройства для пригородного сельскохозяйственного землепользования.....	192
<i>Жернакова Н.Н.</i> Природообустройство в городских агломерациях.....	195
<i>Головин П.Н., Богданов В.Л., Гарманов В.В., Заварин Б.В.</i> Мониторинг земель агроландшафтов по признакам луговых фитоценозов в качестве инструмента оценки степени нарушения экосистемы	197
<i>Кушбасов А.Н., Баденко В.Л.</i> Интеграция MBSE в проектирование природно-технических систем промышленных энергокомплексов	200
<i>Матвеев Ю.Д., Баденко В.Л., Баденко Г.В.</i> Борьба с карбонатными отложениями оросителей башенных испарительных градиен при помощи химического метода очистки на примере Нововоронежской АЭС-2	203
<i>Агафонов С.А., Михеев П.Ю., Чусов А.Н.</i> Определение эмиссий загрязняющих веществ в течение жизненного цикла природно-технических систем по укрупненным показателям	206

<i>Зафарзода К., Чусов А.Н.</i> Анализ российского и зарубежного опыта развития намывных территорий	209
<i>Волков А.С., Волкова Н.Е.</i> Состояние берегоукрепительных сооружений на водотоках бассейна Салгира в черте города Симферополя.....	212
<i>Бойко Н.Г., Попович В.Ф., Дунаева Е.А., Терлеев В.В.</i> Программный продукт «НРК – ЭКСПЕРТ»: актуальность создания и перспективы использования	215
<i>Бойко Н.Г., Попович В.Ф., Дунаева Е.А., Терлеев В.В.</i> Оценка эффективности возделывания озимой пшеницы в 2021-2024 гг. при создании технологических карт	217
<i>Колодяжный М.В., Дунаева Е.А.</i> Оценка состояния зелёных насаждений г. Симферополь при использовании данных дистанционного зондирования Земли	220
<i>Кременской В.И.</i> Тенденции в строительстве систем капельного полива в орошаемом земледелии Крыма.....	223
<i>Подовалова С.В., Джапарова А.М.</i> Сравнение ареометрического и пипеточного методов определения гранулометрического состава почвы на примере чернозёма южного	226
<i>Бушмакин Н.А.</i> О некоторых проблемах использования земельного фонда Бахчисарайского района Республики Крым.....	228
<i>Подовалова С.В., Попович В.В.</i> Эффективный способ экономии водных ресурсов в коммунальном хозяйстве.....	231
<i>Ивкин В.В., Баденко В.Л.</i> Применение шумозащитных экранов в природообустройстве на примере автомобильных дорог в городе Сосновый Бор и его окрестностях.....	234
<i>Грженевский И.В., Кriuлин К.Н.</i> Проектирование систем дождевой канализации для часто подтопляемых территорий.....	236
<i>Позднякова В.В., Чусов А.Н.</i> Новый подход в проведении геоэкологического мониторинга морских месторождений	239
Секция «Промышленная экология»	242
<i>Дудкин Л.А., Молодкина Л.М.</i> Оценка качества воды в искусственных водоемах на месте закрытых угольных шахт г. Инты.....	242
<i>Масалова М.А., Зибарев Н.В., Политаева Н.А.</i> Утилизация отработанной ячменной соломы и сорбционных материалов на основе хитозана в качестве удобрения.....	245
<i>Свириденко В.А.</i> Определение оптимального теплоизоляционного материала на основе анализа жизненного цикла и углеродного следа	248
<i>Сергеев О.Е., Политаева Н.А.</i> Испытание биопластиков на растяжение.....	251
<i>Суржик М.Е.</i> Совершенствование системы газоочистки на производственном объекте судостроительного предприятия	253
<i>Новожилов Д.В., Молодкина Л.М.</i> Применение трековых мембран при извлечении микропластика из пресных вод и его микроскопическом анализе	255
<i>Бондаренко К.А., Вельможина К.А., Шинкевич П.С.,</i> Получение биогаза в процессе сбраживания макрофитов	259
<i>Дорошева К.М., Бондаренко К.А., Политаева Н.А.</i> Очистка воды от микропластика методом коагуляции-флокуляции	262
<i>Гребнева Е.А.</i> Роль pH как индикатора изменений морской среды Чёрного моря под влиянием климатических факторов и биогеохимических процессов.....	264
<i>Глебова Д.С., Белоусова В.Ю.</i> Сравнительный анализ эффективности биопленочного реактора и традиционных методов очистки сточных вод	266
<i>Васильева Л.Ю., Политаева Н.А.</i> Методы оценки качества вторичных пластиковых гранул	269
<i>Шеина Е.А., Шинкевич П.С.</i> Анализ влияния дымовых газов на поглощение углекислого газа микроводорослями	271

<i>Васильева Е.А., Зибарев Н.В.</i> Фитотоксичность отработанных сорбционных материалов на основе хитозана	273
<i>Мрастева А.Д., Молодкина Л.М., Майданова Н.В.</i> Алгоритм определения углеродного следа производства двух асфальтобетонных смесей – теплой и с резиновой крошкой	276
<i>Константинова А.А., Чередник А.В., Симанкина Т.Л.</i> Интернет вещей (ИОТ) как основа для создания умных и экологичных жилых зданий	279
<i>Шувалова Ф.А.</i> Оценка эффективности внедрения термодеструкции и биофильтрации на целлюлозно-бумажном комбинате	281
<i>Сергеев О.Ю., Русскова И.Г.</i> Роль визуально-информационных моделей в процессе внедрения системы экологического менеджмента	283
<i>Юдин Е.В.</i> Обоснование реконструкции станции водоподготовки в г. Архангельске	286
<i>Кебе Мусса, Молодкина Л.М.</i> Анализ состояния источников водоснабжения столицы Гвинеи Конакри	289
<i>Васильева Л.Ю.</i> Способы переработки пластиковых отходов	292
<i>Шумова А.А., Молодкина Л.М.</i> Анализ воздействия сточных вод электродепо «Московское» ГУП «Петербургский метрополитен» на р. Волковку	294
<i>Матвеев И.И., Селиванова С.В.</i> Инновационные способы укладки дорожного покрытия с добавкой Vestenamer	297
<i>Глебова Д.С., Белоусова В.Ю.</i> Анализ эффективности биопленочного реактора методом сравнительных лабораторных испытаний	299
<i>Третьяков В.С.</i> Экономические аспекты производства биотоплива в России	301
<i>Хлебко В.И.</i> Изучение влияния наночастиц на пожарные свойства древесины методом дифференциально-термического анализа	303
<i>Хуснетдинова Д.А.</i> Анализ перспектив применения хитозана для очистки воды	306
<i>Тарасевский Ф.Г., Баденко В.Л.</i> Устройство гашения энергии потока	308
<i>Тарасевский Ф.Г., Баденко В.Л.</i> Поточное измерение массовой концентрации нефтепродуктов	311
<i>Кинчин П.Н.</i> Порядок планирования мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефтепродуктов во внутренних морских водах и в территориальном море	314
<i>Штонда Н.Ю., Зибарев Н.В.</i> Перспективы применения водяного гиацинта против цианобактериального цветения водоемов	317
Секция «Энергоэффективность и возобновляемые источники энергии в инженерных системах зданий и сооружений»	320
<i>Терехов Е.Ю., Елистратов В.В.</i> Использование интеллектуальных технологий в автономных энергокомплексах на базе возобновляемых источников энергии	320
<i>Ковба Н.С., Заводнова Е.Б., Куколев М.И.</i> Моделирование процессов тепло- и массопереноса в канале с аккумуляторами холода	323
<i>Фомин Р.Ю.</i> Оценка эффективности использования трекеров для фотоэлектрических модулей в условиях Крайнего Севера	326
<i>Антонов В.А., Елистратов В.В.</i> Динамика развития традиционной и возобновляемой энергетики в энергосистемах мира в 2024 году	328
<i>Таничев Д.В., Елистратов В.В.</i> Принципы создания интеллектуальных электрических сетей с использованием ВИЭ	331
<i>Со А.К., Мишин А.И., Куколев М.И.</i> Совершенствование систем искусственного климата путем применения вихревой трубы	334
<i>Амини С.С., Елистратов В.В.</i> Особенности проектирования малых гидроэлектростанций в горной местности на примере Афганистана	337
<i>Чан Ле Куинь Тъяу.</i> Сравнительный анализ солнечных фотоэлектрических станций Вьетнама: преимущества и недостатки	340

<i>Ротатова В.В., Терех М.Д.</i> Биомиметические принципы при проектировании естественного освещения в зданиях.....	342
<i>Торон И.С., Куколев М.И.</i> Экономическая эффективность замены кожухотрубного теплообменного аппарата на пластинчатый теплообменный аппарат на ТЭЦ г. Санкт-Петербурга.....	345
<i>Балабосова С.А., Елистратов В.В.</i> Исследование эмиссии парниковых газов с поверхности водохранилищ.....	347
<i>Каримова Е.И., Аверьянова О.В.</i> Определение энергетической эффективности приточно-вытяжных вентиляционных установок с встроенным тепловым насосом в режиме нагрева воздуха	350
<i>Ефимов А.Д.</i> Исследование эффективности вариантов взаимного направления движения теплоносителей в охладителе проб воды.....	353
<i>Кутдусов И.Р., Аверьянова О.В.</i> Влияние высоты незадымляемой зоны на работу противодымной вентиляции	356
<i>Мишин А.И., Со А.К., Куколев М.И.</i> Применение эффекта Ранка-Хилша в тригенерационных системах	359
<i>Чередник А.В., Константинова А.А., Чабина Е.А.</i> Сравнительный анализ сопротивления теплопередаче стен из древесины.....	361
<i>Сувернева А.О., Соловьёва О.А.</i> Применение тепловых труб в системах охлаждения центров обработки данных	364
<i>Селякова К.И., Коряковцева Т.А.</i> Оптимизация существующей системы холодного водоснабжения	367
<i>Ендзик А.В., Кудряшева И.Г.</i> Разработка системы энергоснабжения на основе ВИЭ для базы отдыха в Карелии	370
<i>Ахмедов Ж., Палуанов Д.Т., Маматкулов Д.А., Саидов Ф.С.</i> Установление критериев безопасности длительно эксплуатируемых каналов	372
<i>Исмаилов Э.Д., Мухаммадиев М.М., Маматкулов Д.А.</i> Новая конструкция гидроаккумулирующей установки	375
<i>Кодиров И.У., Гадаев С.К., Саидов Ф.С.</i> Использование гидропотенциала рек и каналов Узбекистана с применением микрогидроэлектростанций	378
<i>Муродов Х.Н., Илавиддинов Х.Ш., Джураев К.С.</i> Использования гидропотенциала водовыпускных сооружений водохранилищ ирригационного назначения	380
<i>Низомов Ж.М., Мукольянц А.А., Шадибекова Ф.Т.</i> Анализ характеристик детандер-генераторных установок на станциях редуцирования давления природного газа.....	382
<i>Рахматиллаев С., Хамдамов Б., Мамбетов А.</i> Разработка энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий в эксплуатации систем машинного водоподъема	385
<i>Сайфутдинов А.Ш., Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р.</i> Вопросы использования гидроаккумулирующих электростанций в энергосистеме Республики Узбекистан.....	388
<i>Уралбаева С.Р., Низомов О.Х., Шадибекова Ф.Т.</i> Устранение дефектов и проведение вибрационных испытаний гидроагрегата ГЭС-8.....	391

НЕДЕЛЯ НАУКИ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА – 2025

**Сборник материалов
Всероссийской конференции**

1–4 апреля 2025 года

Часть 1

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 15.04.2025. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25,0. Тираж 32. Заказ 1884.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного редакционной коллегией,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.