

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КОММУНАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«МИНСКВОДОКАНАЛЬ»
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«МИНСКОБЛГАЗ»
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«МИНГАЗ»
РУП «ИНСТИТУТ ЖИЛИЩА – НИПТИС ИМЕНИ АТАЕВА С. С.»

ВОДА. ГАЗ. ТЕПЛО. 2025

***Материалы международной научно-технической
конференции***

15–16 мая 2025 года

**Минск
БНТУ
2025**

УДК 082(06)
ББК 74.58я43
В62

Рецензенты:
кафедра общей физики Белорусского государственного университета
(заведующий кафедрой *А. И. Слободянюк*);
главный научный сотрудник ГП «Институт жилища – НИПТИС им. С. С. Атаева»,
доктор технических наук, профессор *В. М. Пилипенко*

Редакционная коллегия:
Харитончик С. В. – ректор БНТУ, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобили» автотрак-
торного факультета БНТУ;
Ливанский Д. Г. – декан факультета энергетического строительства БНТУ, канд. техн. наук;
Кусяк В. А. – директор филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический инсти-
тут», канд. техн. наук, доцент;
Линкевич Н. Н. – доцент кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, вод-
ный транспорт и гидравлика» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;
Юркевич Н. П. – доцент кафедры «Физика» БНТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;
Гуринович В. Ю. – заведующий отделом научно-технической информации и маркетинга фили-
ала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»;
Качанов И. В. – заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство,
водный транспорт и гидравлика» БНТУ, д-р техн. наук, профессор;
Пехота А. Н. – заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ, канд.
техн. наук;
Грузинова В. Л. – заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ, канд.
техн. наук, доцент;
Зыков Г. Л. – заведующий кафедрой «Физика» БНТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;
Сугакова Е. П. – н. о. заведующего кафедрой «Английский язык № 2» БНТУ, старший препода-
ватель;
Крюкова Л. А. – старший преподаватель кафедры «Английский язык № 2» БНТУ;
Власов В. В. – старший преподаватель кафедры «Гидротехническое и энергетическое строи-
тельство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ;
Савченко Ю. А. – инженер-программист 1 категории кафедры «Теплогазоснабжение и венти-
ляция» БНТУ

В сборнике представлены материалы международной научно-технической конференции «Вода. Газ. Тепло. 2025», тематика которых посвящена актуальным проблемам использования инновационных технологий современной науки и техники в областях водоснабжения и водоотведения, теплогазоснабжения, гидротехнического и энергетического строительства, естествознания и лингвистическом обеспечении образовательного процесса в техническом вузе.

Требования к системе: IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM. Программа работает в среде Windows.

Открытие электронного издания проводится запуском файла *Voda_Gaz_Teplo_2025.pdf*. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 12.09.25. Объем издания: 10,8 Мб. Заказ 467.

Белорусский национальный технический университет
Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел. (017) 293-93-38

ISBN 978-985-31-0196-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

**Теплоснабжение, газоснабжение,
вентиляция и охрана воздушного
бассейна**

Пехота А. Н.¹, Хрусталеv Б. М.¹, Згурский Д. А.²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь,

²Главное управление ЖКХ Гомельского облисполкома

Гомель, Республика Беларусь

Представлен анализ различных технологий утилизации органических отходов, динамично образующихся от жизнедеятельности человека. Отражены основные технологические режимы их применения и показатели энергетической эффективности их использования на основе практики применения их в исследовательской деятельности.

Отходы, содержащие органические вещества, – это неизбежная составляющая жизнедеятельности человечества. Увеличение численности населения, развитие городов приводит к увеличению объемов промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов, среди которых примерно 20 % составляют органические компоненты.

Органические отходы могут представлять собой как серьезную опасность из-за их нестабильности и подверженности разложению, так и ценный вторичный материальный и энергетический ресурс для общества. В Беларуси ежегодно образуется около 4 млн тонн органических отходов, что эквивалентно 3 млн тонн условного топлива, учитывая их среднюю теплотворную способность составляет в пределах 20–21 МДж/кг. При этом сегодня используется более трети того объема коммунальных отходов, который образуется в нашей стране. В Беларуси по оперативной информации по итогам 2024 года этот ключевой показатель составил 37,9 % [1].

В ближайшие годы ключевыми направлениями станут: совершенствование инфраструктуры сбора и переработки отходов, а также модернизация системы управления коммунальными отходами путем перехода к региональной модели. Это подразумевает создание современных крупных комплексов по сортировке и полезному использованию ТКО, обслуживающих несколько районов. Активное развитие получит энергетическая утилизация отходов и их биологическая переработка, включая компостирование.

Продолжается наращивание мощностей по сортировке коммунальных отходов. В настоящее время в стране функционирует 81 линия сортировки и 9 мусороперерабатывающих предприятий, расположенных в Барановичах, Бресте, Витебске, Гомеле, Гродно, Минске, Могилеве,

Орше и Новополоцке. Существующие мощности позволяют сортировать примерно 1,1 млн тонн твердых коммунальных отходов ежегодно.

В 2025 году планируется запуск современных комплексов по обращению с ТКО в Бобруйске, Минске, Новополоцке. Ведется строительство аналогичных объектов в Волковыске и Гомеле и других регионах.

Анализ научной литературы показывает наличие трех основных направлений в сфере организованной утилизации органических отходов. Первое – минимизация объема отходов и стабилизация органических веществ, входящих в их состав, любыми доступными методами с последующим складированием или захоронением (нерекуперативная обработка). Второе направление связано с извлечением органического вещества из отходов и получением новой товарной продукции и энергии. Третье – концепция, основанная на применении различных методов к высокотоксичным отходам для их обезвреживания.

Пока наиболее распространенным методом использования отходов остается складирование на полигонах, иловых площадках и специальных полигонах. Разложение органических веществ сопровождается выделением жидких и газообразных продуктов, которые не только имеют неприятный запах, но и представляют опасность для здоровья человека (нитриты, сульфиды, меркаптаны, диоксид углерода, аммиак, метан и др.). Если предположить, что доля углерода и азота в беззольном веществе отходов составляет примерно 50 % и 5–6 % соответственно, а степень разложения за год – около 50 %, то расчетные выбросы в атмосферу только газообразных продуктов, таких как CO_2 , CH_4 , NH_3 , составят соответственно $\approx 3,6$, 0,7 и 0,22 млн тонн в год. Учитывая, что в Европе выброс 1 тонны парниковых газов оценивается в 4–5 евро, Беларусь должна бы была ежегодно выплачивать около 20 млн евро за открытое складирование органических отходов. Кроме того, жидкие и твердые продукты разложения отходов накапливаются в почве и по взаимосвязям между группами организмов попадают в растения, животных и рыб, где их концентрация достигать в сотни и тысячи раз чем концентрация в окружающей среде [2].

К известным и широко применяемым методам рекуперативной переработки органических отходов относится ферментация в аэробных и/или анаэробных условиях: компостирование, аэробная стабилизация (минерализация), анаэробное сбраживание (метаногенез) и их разновидность – подземное захоронение. Под рекуперацией в данном случае подразумевается возможность получения стабильного продукта с удобрительными свойствами (в основном по углероду и азоту) в процессе биохимической обработки отходов.

В наши дни анаэробное разложение отходов различного типа с возможностью получения биогаза (смеси CH_4 и CO_2) получило широкое распро-

странение в мире. Этот метод привлекателен своей простотой, однако существенным минусом является длительность процесса, сокращение которой возможно за счет использования режимов дополнительного нагрева.

Расчеты по общепринятым расчетным матрицам показывают, что для поддержания режима дополнительного подогрева анаэробного разложения требуется сжигать 14 м³ биогаза на 1 м³ органических отходов осадка сточных вод (ОСВ), тогда как выход биогаза из ОСВ может составлять 10–12 м³ за период анаэробного разложения при содержании метана в биогазе $\approx$ 60–65 %. Таким образом, кажущаяся простота технологии анаэробного разложения органических отходов, скрывает ряд проблем и экономических рисков особенно в последние годы в условиях нестабильного климата Беларуси [3].

Термическое разрушение органических отходов – широко распространенный метод, привлекательный своей скоростью и возможностью контроля технологического процесса. Однако, сжигание имеет существенный недостаток, так как 90 % углерода, содержащегося в органике, высвобождается в атмосферу в виде дымовых газов, а высокие температуры горения (900–1100 °С) приводят к образованию значительного количества газообразных и опасных для здоровья и окружающей среды веществ. Топливосжигающие установки, не оборудованные системами рекуперации и использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) дополнительно приводят прилегающую атмосферу к сильному тепловому загрязнению, за счет использованием воздуха для поддержания стехиометрических режимов горения. Снижение уровня загрязнения и воздействия на окружающую среду возможно за счет использования сложных и дорогостоящих систем очистки и рекуперации тепла [3].

В качестве экологически более предпочтительного варианта выступает низкотемпературный пиролиз (600–700 °С). В условиях пиролиза образуется значительно меньшее количество оксидов азота и серы. Кроме того, часть углерода органических веществ (20–30 %) преобразуется в газообразные соединения (пирогаз), а остаток – в жидкие и твердые продукты пиролиза (смолы, углеводородные смеси, кокс). Объемы пирогаза значительно меньше, чем дымовых газов (отсутствует разбавление воздухом, как при сжигании), и он представляет интерес не только как теплоноситель, но и как топливо, поскольку около половины его объема составляют горючие газы (включая углеводороды) [4].

Одной из усовершенствованных технологий термохимической утилизации является технология термохимической конверсии органических отходов. Разработанная и исследуемая авторами технология с использованием органических отходов, обеспечивает поддержание в блоке высокотемпературного сжигания генераторного газа и пирогаза температурного режима в интервале 800–1280 °С, что достаточно для термической утилизации большинства отходов, содержащих органические вещества. Примененный комплекс оборудования позволяет фиксировать и регулировать

температурные параметры генераторного газа и пирогаза, в блоке высокотемпературного сжигания и в блоке дожига продуктов сжигания. Безусловным преимуществом установки является применение автоматизированного теплообменного аппарата, обеспечивающего самостоятельную подачу горячей воды для отопления производственных помещений. Установка обеспечивает получение тепловой энергии за счет утилизации различных видов органических отходов в любой форме (твердые, жидкие, вязкие и т. п.) и в любых количественных соотношениях разных видов отходов. Выходная мощность применяемой установки до 90 кВт (блок получения генераторного газа ≈ 90 кВт; блок получения пиролизного газа – до 50 кВт).

На рис. представлена технологическая схема работы установки технохимической утилизации органических отходов.

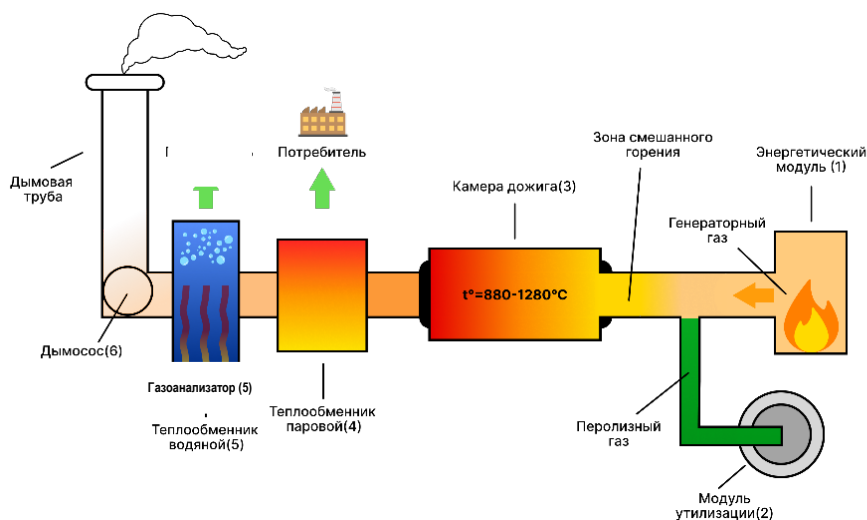


Рис. Схема работы установки технохимической утилизации органических отходов

В энергетическом модуле 1 при контролируемой подаче воздуха утилизируются органические отходы с образованием генераторного газа. В камеру дожига 3 поступает генераторный газ, который создает постоянный факел пламени. В модуле утилизации 2 идет процесс пиролиза органических отходов в бескислородной среде. Пиролизный газ по мере выработки также поступает в зону смешанного горения. Смешанный пиролизный с генераторным

газом, в качестве смеси поступает в камеру дожига 3, где происходит их совместное сгорание. При этом температура в камере дожига значительно превышает требуемые для обезвреживания показатели для утилизации особо опасных отходов (температура не менее $1200^{\circ}\text{C} \pm 8\%$), что обеспечивает термоочистку дымовых газов даже от возможных стойких органических загрязнителей (диоксинов, фуранов, и т. п.).

На выходе из камеры дожига образующихся продуктов сжигания проходят через теплообменник 4, где происходит их охлаждение с одновременным нагревом теплоносителя, который используется в системе отопления зданий и помещений.

Контроль за стехиометрическими режимами сжигания и дожига органических отходов осуществляется с применением автоматизированного контроля газоанализатором 5, датчиками, детекторами и автоматизированным блоком дымоудаления 6, который обеспечивает удаление продуктов горения в атмосферу через дымовую трубу.

Полный анализ современных технологий переработки органических отходов невозможно представить в рамках одной статьи, но основные и наилучшие технологии, являющиеся доступными авторами изложены с учетом различных факторов.

Применение новейших технологических достижений дает возможность не просто эффективно распоряжаться различными отходами, не нашедшими технологического применения, но и разрабатывать передовые инновационные подходы к разрешению экологических задач.

Литература

1. Беларусь – лидер среди стран ЕАЭС по уровню использования отходов // Оператор ВМР. – URL: <https://vtoroperator.by/news/statistika/belaruslider-sre-di-stran-eaes-po-urovnyu-ispolzovaniya-otkhodov/#> (дата обращения: 14.05.2025).
2. Пехота, А. Н. Исследование и разработка гибридных технологий утилизации различных отходов в качестве альтернативных источников энергии / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева, С. М. Бобоев // Проблемы архитектуры и строительства. – 2024. – № 4. – С. 233–239.
3. Разработка технологических вариантов использования различных отходов в качестве альтернативных источников энергии на основе многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева, В. П. Голубев [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – Т. 67, № 6 – С. 501–115.
4. Использование горючих отходов различных производств в качестве альтернативного источника энергии // А. Н. Пехота, В. П. Голубев, Б. М. Хрусталева [и др.] // Промышленная энергетика. – 2024. – № 12. – С. 43–52.

**Информационные технологии в системе обращения с ТКО
на селитебных территориях**

Згурский Д. А.¹, Пехота А. Н.², Хрусталеv Б. М.²

¹Главное управление ЖКХ Гомельского облисполкома
Гомель, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлен анализ основ комплексного применения информационных технологий в системе обращения с твердыми коммунальными отходами на селитебных территориях. Изложены ключевые аспекты увеличения уровня переработки отходов ТКО за прошедший период и перспективы применения искусственного интеллекта в сфере обращения с отходами.

Жизнь и производственная деятельность людей всегда сопровождается образованием большого количества отходов, как производственных, так и бытовых. Отходы мы производим и дома, и на работе. Человечество все больше потребляет и производит. Следовательно, возрастает расходование ресурсов и образование отходов. Из-за роста крупных городов и мегаполисов, радикальных изменений в потреблении населения, возрастающие объемы отходов стали накапливаться, нанося вред природе и здоровью человека. В настоящее время в мире остро стоит вопрос о накоплении и утилизации твердых бытовых отходов крупных селитебных территорий. Не менее остра и актуальна эта проблема и для Республики Беларусь.

В отходах селитебных территорий содержатся как ценные металлы (черные и цветные), так и другие отходы потребления, такие как бумага и картон, стекло, разнообразные пластики и пластмассы, полиэтилен, кожа и резина, дерево, пищевые отходы. Их использование – важная общегосударственная задача.

В стремительном потоке современности перспективы экономического роста неразрывно связаны с цифровизацией как экономики, так и производственной сферы деятельности.

Внедрение цифровых технологий в производство позволяет решать ряд важных задач в области переработки отходов: более эффективно использовать и перераспределять вторичные материальные ресурсы; оптимизировать логистические потоки; автоматизировать технологические процессы учета, переработки, производства и использования переработанной продукции из отходов и материалов; интегрировать и анализировать огромный объем данных с выстраиванием оптимальных решений и стратегий.

Это направление очень важно, с учетом того, что в республике около 40 % всех отходов являются твердыми коммунальными отходами (ТКО). Объем образования твердых коммунальных отходов, по данным Министерства ЖКХ, превышает 4,2 млн тонн в год. Около 60 % – это промышленные отходы, причем значительную часть составляют галитовые отходы [1].

Рассматривая структуру морфологического состава твердых коммунальных отходов, следует учитывать, что около 40 % – это вторичные материальные ресурсы, переработка которых успешно осуществляется в республике. Следующая составляющая – это органические отходы, которые содержатся в объеме 30–35 % в морфологии, и их использование также осуществимо с применением различных доступных технологий, то есть не является какой-то сложной или глобальной проблемой. Оставшиеся 20–25 % отходов пока следует утилизировать на свалках, как это делают и в ряде передовых держав мира, закладывая основу будущих научных исследований и для создания технологий, позволяющих ученым извлекать из них возможно редкие, но востребованные компоненты. На рис. представлена диаграмма изменения морфологического состава ТКО с учетом внедрения современных технологий обращения с отходами в Республике Беларусь за десятилетний период [2].

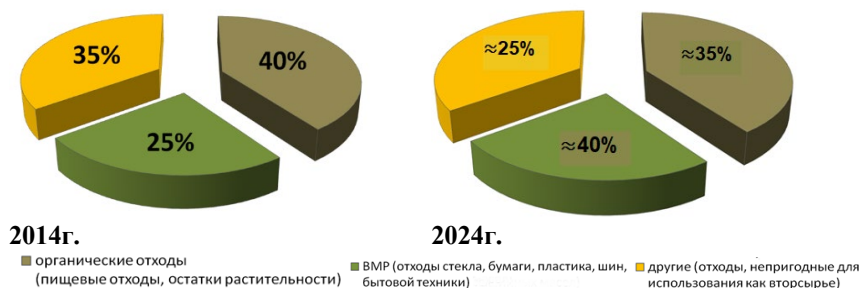


Рис. Диаграмма изменения морфологического состава ТКО за 10 лет с учетом внедрения современных технологий обращения с отходами

Раздельный сбор ТКО в значительной степени решает эти проблемы, однако существует ряд проблем и факторов, которые сдерживают успешную реализацию. К ним можно отнести необходимость увеличения количества контейнеров и мусоровозов, так и отношение граждан к раздельному сбору ТКО. В 2024 году в городе Минске будет запущен один из строящихся в республике заводов, который будет заниматься комплексной сортировкой и переработкой вторичных материальных ресурсов, а также сортировкой органических отходов. Ожидается, что с его вводом в эксплуатацию только пятая часть ТКО будет поступать на полигон [3].

Использование информационных технологий и алгоритмов играет ключевую роль в решении многих проблем в системе обращения с коммунальными отходами, позволяя оптимизировать процессы сбора, разделения, транспортировки и переработки отходов. Системы мониторинга и сбора отходов, алгоритмы оптимизации маршрутов, технологии разделения и переработки, а также управление данными – все эти инструменты совместно способствуют повышению эффективности управления отходами, снижению экологического воздействия и улучшению качества городской среды.

В сфере управления ТКО ключевыми направлениями цифровой трансформации выступают:

- интеллектуальные решения для оптимизации процессов переработки и отдельного сбора мусора, основанные на искусственном интеллекте, прогнозной аналитике и компьютерном зрении. Эти системы позволяют более эффективно планировать и реализовывать мероприятия по вторичной переработке;

- совершенствование управления данными на этапах сбора и обработки информации при создании унифицированной для республики схемы обращения с отходами, обеспечивающей полноту учета, точность и актуальность с учетом времени года и других факторов, отличающих селитебные территории;

- технологическая стандартизация и оснащение объектов обращения с отходами всех категорий современными системами мониторинга, обеспечивающими контроль за их деятельностью и соблюдением экологических норм;

- создание региональных и зональных ситуационных центров, координирующих деятельность в области обращения с отходами и обеспечивающих оперативное реагирование на внутри территориальное распределение отходов и возникающие проблемы;

- разработка специализированных сервисов и внедрение унифицированных стандартов для организации работы с опасными и медицинскими отходами, обеспечивающих их безопасное и эффективное извлечение и обезвреживание;

- развешивание сервисной платформы, направленной на повышение эффективности бизнес-процессов в сфере управления отходами и улучшение качества сбора, распределения, утилизации и обслуживания объектов образования ТКО.

Для анализа состояния полигонов и контейнерных площадок сбора ТКО на селитебных территориях необходимо внедрять средства фото- и видеофиксации, позволяющие с применением нейронных сетей и других возможностей искусственного интеллекта осуществлять контроль за качеством сортировки ТКО жителями. В настоящее время транспортировку ТКО можно отследить по системе спутниковой навигации, установленной на мусоровозах. Также

используются информационные технологии в системах учета так как: при въезде на объекты обращения с отходами функционируют системы автоматизированного весового контроля, что при объединении в единую платформу позволит вести непрерывный контроль за поступлением отходов.

Кроме того, цифровизация и искусственный интеллект могут позволить поддерживать порядок вблизи контейнерных площадок и мест сбора крупногабаритных отходов за счет использования и обработки массива поступающей информации: например, оператор и искусственный интеллект контролируют в режиме реального времени с помощью фото- и видео контроля текущее состояние площадок, в том числе до и после вывоза отходов мусоровозами. Также цифровизация должна коснуться полигонов и мест складирования отходов: например, за счет беспилотных летательных аппаратов и созданных цифровых двойников полигонов будет контролироваться организация и размещение отходов с учетом минимизации негативного воздействия на окружающую среду, соблюдение санитарных и экологических норм, а также обеспечение различных форм безопасности работников и населения.

Внедрение цифровых решений в сферу управления отходами является важным этапом на пути к экологически ответственному и устойчивому развитию. Новейшие технологические достижения дают возможность не просто результативно распоряжаться отходами, но и разрабатывать передовые инновационные подходы к разрешению экологических задач.

Литература

1. Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам : постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 26 декабря 2019 года № 31 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035009> (дата обращения: 20.04.2025).

2. Об утверждении Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 июля 2017 г. № 567 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=C21700567> (дата обращения: 23.04.2025).

3. Соломин, И. А. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, утилизируемые при выборе технических методов обращения с отходами / И. А. Соломин, В. И. Афанасьева // Природообустройство. – 2017. – № 3. – С. 82–90.

**Влияние комплексной автоматизации технических служб
на безаварийное и бесперебойное газоснабжение:
применение ПК «Мириада»**

Пехота А. Н.¹, Шавловский Д. В.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²ГПО «БЕЛТОПГАЗ»

Минск, Республика Беларусь

Представлен анализ основных стадий исследований и разработки системы комплексной автоматизации технических служб. Изложены ключевые аспекты организации и активного внедрения цифровых технологий в области применения специализированного программного обеспечения, обеспечивающего оперативный контроль в период эксплуатации систем газоснабжения, а также организацию и надзор за техническим состоянием газового оборудования.

Энергетика является основной системообразующей и жизнеобеспечивающей отраслью экономики любой страны и общества в целом. От степени ее развития, а значит и состояния топливно-энергетического комплекса (ТЭК) напрямую зависят производственные возможности и перспективы экономики, социальное самочувствие людей и комфортность труда и быта. Газовая отрасль важнейшая часть ТЭК страны, оказывающая огромное влияние на экономику и социальную сферу Беларуси. Все последние годы поступательно и динамично развивается газораспределительная система, что позволяет говорить о достаточно эффективной ее работе. В состав объектов газораспределительной системы входят технологически, организационно, экономически взаимосвязанные и централизованно обслуживаемые и управляемые газопроводы и сооружения на них, включая газорегуляторные пункты и иные объекты [1; 2].

Для обеспечения надежного газоснабжения, безопасного и устойчивого функционирования объектов системы газоснабжения используется комплексная автоматизация, которая обеспечивает связь общего технологического режима снабжения газом потребителей газа [2; 3].

Семь газоснабжающих организаций, осуществляющих эту деятельность на территории страны, во многом определяют производственные возможности и перспективы экономики и, в какой-то мере, место нашего государства в международной социально-экономической и энергетической системе. В Республике Беларусь газифицированы природным газом все 118 районов,

115 городов, 85 поселка городского типа, 3735 из 23 тыс. сельских населенных пунктов. На рис. 1 представлена динамика развития системы газоснабжения в Республике Беларусь за тридцатилетний период.

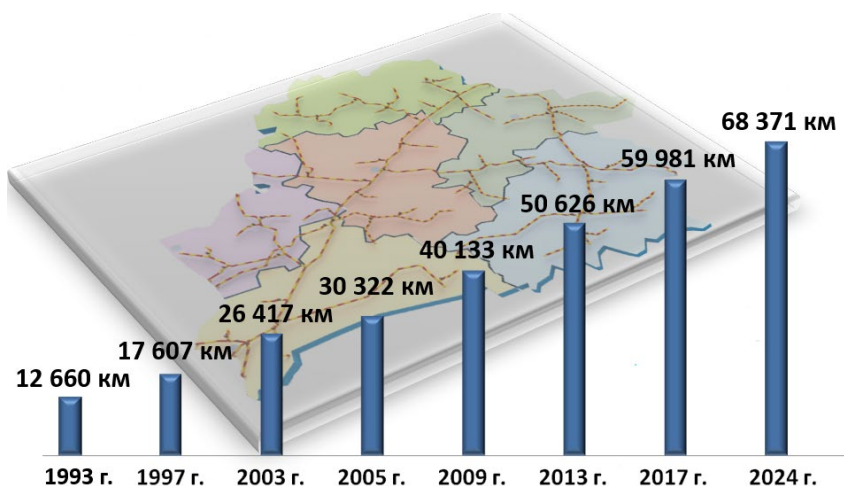


Рис. 1. Динамика развития системы газоснабжения в Республике Беларусь с 1993–2024 гг.

Как видно из диаграммы на рис. 1, начиная с 1994 года, отмечается интенсивное развитие газификации республики благодаря поддержке Главы Государства, что позволило в этот период и по настоящее время построить 38 тыс. км газопроводов, которые составили 56 % от общей протяженности действующих газопроводов.

Однако на современном этапе перед отраслью открываются новые горизонты и новые вызовы, к которым следует отнести: выход на более высокий уровень, связанный с научно-техническим развитием, создание высокопроизводительного и конкурентоспособного сектора, а также активным внедрением цифровых технологий.

Около десяти-пятнадцати лет назад концерн определил для себя конкретную стратегию развития своей IT-инфраструктуры, которой неуклонно следует и по сей день. Эта стратегия заключается в приоритетном внедрении информационных технологий в основные производственные процессы газовой отрасли.

За прошедший период специалисты предприятия создали более сотни разнообразных программных продуктов, от простых утилит до крупных комплексных систем. Некоторые из этих разработок уже устарели, другие до сих

пор применяются без изменений, а третьи были переработаны с использованием современных технологий. Многие программные решения продолжают функционировать, постоянно совершенствуясь и обновляясь. Некоторые программные комплексы активно используются в одних газоснабжающих организациях, находятся на стадии внедрения в других, при этом их функциональность непрерывно расширяется.

В 2017 году в составе производственного республиканского унитарного предприятия «Витебскоблгаз» было образовано обособленное подразделение – «Производственное управление информационных технологий и перспективного развития газового хозяйства (ПУ «АйТиГаз»)). Постепенно подразделение расширило свои полномочия до общереспубликанского уровня, в том числе и по инициативе Министерства энергетики Республики Беларусь. Ключевая задача филиала – поддержка и развитие сетевой и информационной инфраструктуры ГПО «Белтопгаз», а также разработка специализированного программного обеспечения для всей газовой индустрии Республики Беларусь.

Для решения разнообразных задач в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) компания «АйТиГаз» применяла широкий спектр языков программирования, компонентов и системных архитектур, тщательно выбирая оптимальный вариант для каждого конкретного случая. Ключевым языком программирования в организации был выбран Python. Этот универсальный, объектно-ориентированный язык высокого уровня отличается кроссплатформенностью, динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, а также на обеспечение возможности переноса программ, написанных на его основе, между различными платформами.

Все системы, использующие чувствительные данные, недоступны через интернет. Они работают только внутри корпоративных сетей предприятий. С этой целью строятся виртуальные частные сети со всеми провайдерами.

Рассмотрим организацию работ с применением программы «Мириада», которая является современным цифровым инструментом, обеспечивающим оптимизацию рабочих процессов и развитие газоснабжения в целом. Данная программа позволяет отслеживать и контролировать ход выполнения работ, начиная от поступления заявки в газовую службу до оформления счета или акта за выполненные работы. Программный комплекс (ПК) «Мириада» включает доступ к картам, на которых указаны здания и сооружения, газовые сети, объекты и оборудование газоснабжения, а также смежные коммуникации, что позволяет их оперативно учитывать при выполнении работ. Вновь вводимые объекты добавляются на карты ПК сотрудниками ПУ «АйТиГаз», что позволяет в реальном времени с высокой достоверностью владеть необходимой доступной информацией по газовым сетям. Интерфейс цифрового программного комплекса «Мириада» приведен на рис. 2.

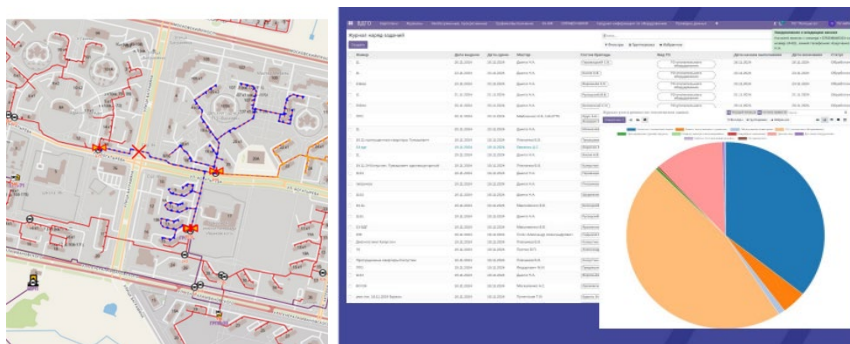


Рис. 2. Вид интерфейса при работе с программным комплексом «Мириада»

Программный комплекс «Мириада», как и мультипрограммный комплекс «Панорама» объединяет в себе информацию из уже существующих и используемых газоснабжающей организацией программ, что позволяет оптимизировать работу различных специальных служб организации. Особенность данного инновационного продукта заключается в широком спектре возможностей. Благодаря программному комплексу «Мириада», возможно формирование актов выполненных работ (и других документов установленных форм) непосредственно на месте их производства, составление графиков и многое другое.

Анализ используемых цифровых продуктов для целей управления технологическими рисками при эксплуатации объектов газораспределительных систем показал, что данные технологии уже сегодня являются необходимым инструментарием для служб объектов газоснабжения и газораспределения. Так за счет внедрения цифровых технологий достигнуто существенное снижение инцидентов. Данные о произошедших инцидентах в период 2014–2024 гг. на объектах газораспределительной системы представлены на рис. 3.

Благодаря проводимой работе за период с 2014 по 2024 годы аварий на объектах газораспределительной системы не зафиксировано, а количество инцидентов снижено, чему поспособствовало внедрение систем автоматизации технических служб.

С учетом перспективы развития и выхода на новый уровень цифровизации содержание Программы на будущие 2026–2030 годы будет дополнено мероприятиями, направленными на организацию и обеспечение защиты критически важных объектов, включающими в себя реконструкцию объектов, приобретение современных и высокоэффективных приборов и оборудования, формирование электронного паспорта опасных и потенциально опасных объектов, развитие системы безопасности информационных ресурсов – кибербезопасность.

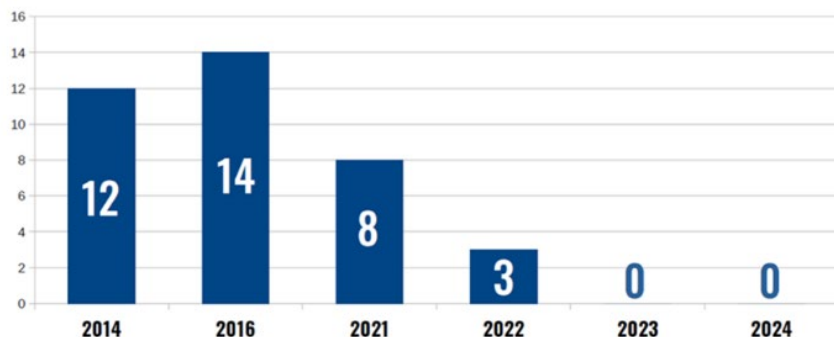


Рис. 3. Данные о произошедших инцидентах в период 2014–2024 гг.
на объектах газораспределительной системы

Литература

1. Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь : постановление СМ РБ от 23 дек. 2015 г. № 1084. – Введ. 24.12.2015// Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=C21_501084 (дата обращения: 12.04.2025).

2. Анализ статистических данных по аварийности в системах газоснабжения / Е. С. Аралов, С. Г. Тульская, К. А. Склиаров [и др.] // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – №1 (14). – С. 9–14.

3. Куневич, В. А. Современные цифровые инструменты управления технологическими рисками при эксплуатации объектов газораспределительных систем / В. А. Куневич, Ю. А. Булавка // Безопасность технологических процессов и производств : труды IV Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2022. – С. 61–67.

ДК 622.691.4: 681.5.017

Предиктивная аналитика объектов газораспределительной системы: перспективы развития

Струцкий Н. В.
ГП «НИИ Белгипрогаз»
Минск, Республика Беларусь

В работе освещены перспективные направления развития предиктивной аналитики объектов системы газораспределения и газопотребления

Республики Беларусь в рамках цифровой трансформации отрасли, с учетом ее организационно-технической специфики, технологического уровня и программной обеспеченности производства.

В настоящее время система газораспределения республики представляет собой крупный территориально-производственный комплекс, который целиком входит в отраслевую структуру Государственного производственного объединения по топливу и газификации (ГПО) «Белтопгаз», и включает в себя центральный аппарат управления, 7 региональных (6 областных и г. Минска) газоснабжающих организаций (ГСО), их филиалы, непосредственно обеспечивающие техническое обслуживание производственных объектов и отпуск газа потребителям, строительные, проектные и научно-исследовательские организации, производителей газового и газоиспользующего оборудования.

Технически газораспределительная система представляет собой пространственно разнесенную сеть трубопроводов различных давлений и диаметров (с сетевыми сооружениями), обеспечивающих гидравлическую связанность системы и подачу газа непосредственно потребителям, и подключенных к узлам редуцирования газа (УРГ), обеспечивающим автоматическое снижение и поддержание давления газа на заданном уровне. К узлам редуцирования газа относятся газорегуляторные пункты, в том числе, шкафные, и установки (ГРП, ШРП, ГРУ), комбинированные регуляторы газа (КРД), а также редукционные головки резервуарных установок сжиженного углеводородного газа (РУ СУГ). Для защиты стальных подземных распределительных газопроводов от коррозии предусматривается электрохимическая защита (ЭХЗ), представляющая собой отдельную подсистему системы газораспределения.

В деятельности производственного комплекса такого масштаба неразрывно сочетаются технологические, административные, хозяйственные, коммуникативные, информационные, финансовые и другие взаимосвязанные процессы, что предъявляет высокие требования к качеству и полноте управления, уровню его интеллектуализации и цифровизации, развитию предиктивных (предсказательных) возможностей.

Цифровизация газораспределительной отрасли республики активно развивается с начала 2010-х годов, и в настоящее время реализована в виде единой автоматизированной среды (ЕАС), основу которой составляют мультипрограммные комплексы (МПК) «Мириада» (набор мобильных приложений для непосредственных производителей работ), «Панорама» (средний уровень, обеспечивающий консолидацию массивов данных, и обеспечивающий ее наглядное представление в ГИС-подобном виде), и «Вершина» (информационно-справочная надстройка для технических

руководителей среднего и верхнего звена) [1]. Взаимосвязанность основных компонентов ЕАС с учетом организационно-технической структуры отрасли показана на рис. 1.

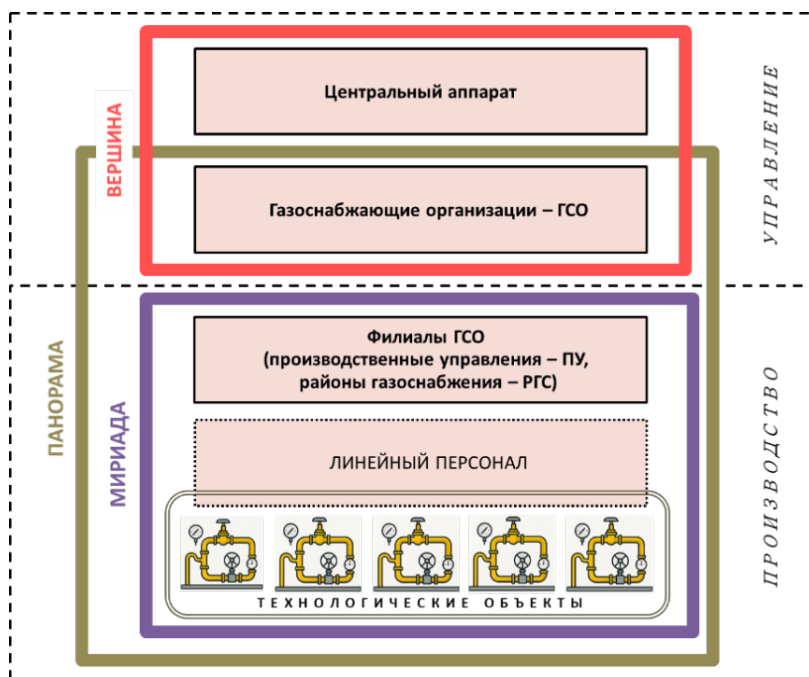


Рис. 1. Единая автоматизированная среда ГПО «Белтопгаз»

Ключевое место в общей схеме занимает МПК «Панорама», включающий в себя набор специализированных программных модулей (ПМ) под различные виды производственной деятельности, и общую электронную карту газораспределительной системы. Здесь осуществляются каталогизация и учет производственных активов, оперативное планирование мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР), регистрация работ и их результатов, хранение данных в текстовых, графических и аудиовизуальных форматах, формирование и обращение электронной технической документации [1; 2].

Наряду с информацией, генерируемой непосредственно внутри МПК «Панорама», в нем собирается информация из МПК «Мириада» (выполнение работ ТОиР) и локальных АСУ ТП (онлайн-данные параметров работы технологических объектов).

По мере технического перевооружения газового хозяйства и развития средств связи (в особенности, сотовой телефонии), количество и состав объектов, оснащенных системами удаленной передачи данных, а также объем передаваемой/получаемой информации, растут опережающими темпами. На сегодняшний день основными источниками онлайн-данных являются:

- системы телеметрического контроля ГРП/ШРП;
- системы коррозионного мониторинга (СКМ), включающие телемеханизированные установки ЭХЗ, контрольно-измерительные пункты (КИП) с функцией дистанционной передачи данных, датчики и индикаторы скорости коррозии (ИКП, ДСК, БПИ);
- автоматизированные системы коммерческого учета газа (АСКУГ), потребляемого промышленными потребителями;
- данные приборов учета энергоресурсов, потребляемых ГСО на собственные нужды.

Предиктивные функции комплекса основаны на моделировании трубопроводных систем с учетом их конструктивных параметров и пространственной конфигурации. Так, с помощью ПМ «Аварийная ситуация» моделируются ситуации, связанные с прекращением подачи газа. Программа позволяет оценить возможные последствия аварии, подсказывает действия по ее локализации, меры по обеспечению газом потребителей с учетом их категории за счет аккумулирующей способности аварийного сегмента сети.

ПМ «Гидравлический (поверочный) расчет» позволяет просчитывать варианты гидравлического режима газораспределительной сети с учетом изменения ее конфигурации и (или) подключения новых потребителей. Программа отображает расчетные давления и скорости, точки схождения потоков газа, позволяя оценить запас пропускной способности локальных сегментов сети, найти решения по оптимизации сетевой конфигурации, определить оптимальную точку подключения для конкретного потребителя [2].

Таким образом, ЕАС ГПО «Белтопгаз» выполняет функции цифровой поддержки управления газораспределительной системой на организационном и частично на технологическом уровнях, совмещая черты отраслевой АСУ (ОАСУ) организационного типа, АСУ технологическими процессами [3], объединенного (укрупненного, агрегированного) цифрового двойника (ЦД) объекта управления [2].

При этом достигнутый уровень оснащенности производства техническими и программными средствами, экспоненциальный рост количества и качества первичных электронных данных позволяют и требуют качественного повышения уровня автоматизации технологических процессов, обрабатывающих способностей и предиктивно-аналитических возможностей цифровых инструментов.

Исходя из существующего технологического базиса отрасли и ее организационно-технической специфики, здесь можно выделить ряд основных направлений. В сфере управления технологическими процессами производства к ним следует отнести:

а) в производственном секторе:

- развитие систем удаленного контроля сетевого давления газа и герметичности наружных газопроводов, автоматизированного диспетчерского контроля утечек газа в многоквартирном жилищном фонде;

- внедрение систем дистанционного управления рабочими параметрами узлов редуцирования газа (ГРП/ШРП);

- создание на базе существующих СКМ интеллектуальных систем антикоррозийной защиты, обладающих возможностями саморегулирования и самодиагностики;

- создание региональных автоматизированных систем диспетчеризации энергоресурсов (АСДЭ) – тепловой и электрической энергии, газа и воды, потребляемых ГСО на собственные нужды;

б) в научно-прикладном секторе:

- дальнейшую детализацию виртуального пространства – создание цифровых двойников технологических объектов, цифровых двойников типовых технических устройств;

- создание газодинамических моделей потоковых течений в трубопроводных элементах и сегментах сети с использованием технологии CFD-анализа (Computational Fluid Dynamics modeling);

- создание ситуационных моделей процессов, связанных с использованием газом в быту (образование взрывоопасных концентраций газовоздушных смесей, выделение продуктов сгорания в помещениях);

- разработку электронных картографических слоев (ГИС-слоев) коррозионных и грунтовых условий в местах прокладки газопроводов.

В сфере организационно-технического и административного управления приоритетными направлениями являются:

- создание на базе МПК «Вершина» интеллектуальной системы поддержки принятия решений (Intelligent Decision Support System, IDSS) для технических специалистов и руководителей газовой отрасли, основанной на интеграции машинных методов и экспертного опыта;

- внедрение гибкого (сценарного, вариантного) стратегического планирования организационно-технических мероприятий, основанного на автоматизированном анализе массивов накопленных (исторических) данных методами временных рядов и технологий искусственного интеллекта (ИИ);

- переход на проактивные системы технического обслуживания и ремонта технологических объектов: ТОиР по текущему состоянию (Condition-Based Maintenance, CBM)/предиктивный ТОиР (Predictive Maintenance,

PdM), – в зависимости от полноты, достоверности и преобладающего типа эксплуатационной информации (документальных данных/онлайн-данных дистанционного контроля).

Реализация указанных направлений, объединение их результатов, позволит вплотную подойти к основной цели цифровой трансформации газовой отрасли – созданию активно-адаптивных интеллектуальных «умных сетей» газоснабжения как одного из ключевых компонентов цифровой экономики государства [4].

Литература

1. Струцкий, Н. В. Создание цифрового двойника системы газоснабжения в контексте устойчивого развития городской среды / Н. В. Струцкий // Наука, бизнес и государство: консолидация в направлении обеспечения устойчивости регионального развития : сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2024. – Вып. 22. – С. 167–172.

2. Романюк, В. Н. Предиктивная аналитика объектов газораспределительной системы Республики Беларусь: текущее состояние и перспективы / В. Н. Романюк, А. М. Нияковский, Н. В. Струцкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – № 3 (38). – С. 12–18.

3. Автоматизированные системы управления. Общие требования : ГОСТ 24.104-2023. – М. : Российский ин-т стандартизации, 2023. – 15 с.

4. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года // Министерство экономики Республики Беларусь. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/ NSUR-2035-1.pdf> (дата обращения: 23.04.2025).

УДК 622.691.4

Оценка долговечности (остаточного ресурса работоспособности) изоляционных битумных покрытий стальных газопроводов подземного залегания

Рудковский А. Т.¹, Прокопчук Н. Р.²

¹УП «МИНГАЗ»,

²Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящей работе осуществляется оценка долговечности (остаточного ресурса работоспособности) изоляционных битумных покрытий стальных газопроводов подземного залегания. Цель работы – установить зависимость долговечности (остаточного ресурса работоспособности) битумно-

мастичных изоляционных покрытий стальных газопроводов подземного залегания от энергии активации их термоокислительной деструкции. Установлен максимальный срок эксплуатации покрытий – 72 года.

Эксплуатация объектов газораспределительной системы и газопотребления осуществляется в соответствии с требованиями законодательства в области промышленной безопасности [1] и включает, в том числе, техническое диагностирование газопроводов. Стальные газопроводы подземного залегания с битумными антикоррозионными покрытиями вводились в эксплуатацию в РБ с 1959 г. по 2005 годы. К настоящему времени суммарная протяженность газопроводов, эксплуатирующихся 50 лет и более, составляет более 10 тыс. км. Правильная и своевременная оценка остаточного ресурса работоспособности битумного защитного покрытия крайне важна. По истечении ресурса работоспособности, защитное покрытие теряет свою целостность из-за деструкции битумного связующего. В покрытии появляются трещины, через которые вода, водные растворы (электролиты) проникают к поверхности стальных труб, вызывая их коррозию.

Существует хорошо зарекомендовавший себя за два десятилетия экспресс-метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов [2; 3]. Метод определения долговечности полимерных материалов основан на взаимосвязи между долговечностью и значением энергии активации, определяемой качеством материала и уменьшающейся под воздействием эксплуатационных факторов. Эксплуатационные факторы (температура и давление жидкости) были жестко зафиксированы соответствующими нормативными документами. Это позволяло оценивать снижение параметра E_d эксплуатационными факторами на величину $\Delta E_{э.ф.}$. В уравнении долговечности использовалась величина: $\Delta E_{расч} = E_d - \Delta E_{э.ф.}$.

В результате расчетов получались реальные значения долговечности, подтверждаемые на практике.

Однако этот подход применить для битумных антикоррозионных покрытий стальных газопроводов подземного залегания оказалось затруднительным из-за невозможности корректного определения $\Delta E_{э.ф.}$. Оценить эксплуатационные факторы (температуру, механические воздействия, действие химических агрессивных сред и др.) даже в первом приближении возможно с рядом допущений. Температура битумного покрытия +10 °С в значительной степени условная, т. к. не на всех участках глубина залегания газопровода 1,6 м. Очевидно также, что температура газа внутри стальных труб в течение десятков лет в разных районах РБ не может быть постоянной и равной конкретно – 10 °С. Механические напряжения, зависящие от глубины залегания труб, их диаметра и плотно-

сти грунта также разные, трудно учитываемые. Кроме того, применение уравнения долговечности для полиэтилена низкой плотности ПЭНП в случае битумных покрытий в значительной степени условно, т. к. химический состав битума не соответствует химическому составу полиэтилена.

В связи с изложенным возникла необходимость впервые применить другой подход для оценки долговечности (остаточного ресурса работоспособности – ОР) бывших в эксплуатации разное количество лет битумных покрытий. Новый подход основан на установлении зависимости $ОР - E_d$. Аналитический характер этой экспоненциальной зависимости (ее точность) зависит от числа точек на ней, т. е. от числа образцов. Чем больше образцов с разными сроками эксплуатации (СрЭ), тем выше точность построения экспоненты, тем с меньшей погрешностью выводится уравнение зависимости $ОР - E_d$. Долговечность свежего, не бывшего в эксплуатации битума, оцененная при подстановке значения E_d в уравнение для ПЭНП, принимается равной 72 года. Срок эксплуатации: 2024 г. (время отбора образцов) минус год ввода газопровода в эксплуатацию. Тогда остаточный ресурс работоспособности равен $ОР = 72 - СрЭ$. При этом в новом подходе используется универсальность параметра E_d , его способность адекватно понижаться под воздействием эксплуатационных факторов, даже неизвестных для экспериментатора.

В процессе эксплуатации битумных покрытий они стареют тем больше, чем длительнее срок их эксплуатации. В результате воздействия всех видов эксплуатационных факторов постепенно снижается молекулярная масса олигомерных молекул битума, что приводит к адекватному снижению межмолекулярных взаимодействий $E_{м.вз.}$ (чем короче фрагменты молекул битума, тем меньше $E_{м.вз.}$). Изначально пластичный битум постепенно охрупчивается, становясь более хрупким и ломким.

Таким образом, в процессе эксплуатации газопроводов подземного залегания все эксплуатационные факторы, действующие на битумные покрытия, будут понижать межмолекулярные взаимодействия ($E_{м.вз.}$), что будет автоматически учитываться соответствующим понижением параметра E_d . Минимальному значению параметра E_d будет соответствовать образец со значением $E_{м.вз.} = 0$. Построенная зависимость $ОР - E_d$ будет соответствовать реальной кинетике процесса старения защитных битумных покрытий во время их эксплуатации.

Для исключения влияния на значения параметра E_d экспериментальных факторов были предусмотрены идентичные условия проведения термоаналитических исследований для всех образцов битумов:

1. Один принцип отбора проб образцов (проба извлекалась из внутренней части битумного покрытия возле стенки металлической трубы, т. к. внешняя поверхность покрытий была в трещинах и загрязнена).
2. Проба измельчалась до размера частиц ~ 1 мм.

3. Объем пробы, загружаемый в тигель, постоянный равный 15 мг.
 4. Тигли с крышкой из одного материала, одинаковой формы и размеров.
 5. Все исследования проводились на одном приборе: термоаналитической установке ТА-4000 «Mettler Toledo» (Швейцария) – модуль TGA/DSC 1 HT/1600 319DTA.

6. Интервал температур 20–500 °С.

7. Скорость подъема температуры 5 град/мин.

8. Работа выполнялась одним оператором.

Расчет значений параметра E_d по данным потери массы образцами в определенном интервале температур проводили методом Бройдо согласно приложению В [3]. Результаты расчетов приведены в табл.

Для получения корректных значений параметра E_d является важным правильный выбор интервала температур, в котором определяются значения Δm %. Для большинства образцов битума был установлен интервал температур 370–410 °С.

Таблица

Результаты полученных измерений с указанным остаточным
сроком эксплуатации

№ п/п	Шифр образца	Год начала эксплуатации	E_d , кДж/моль	OR, лет
1	2	3	4	5
1	№ 8	1991	113	39
2	№ 2	1995	117	43
3	№ 3	1995	116	43
4	№ 9	1997	116	45
5	№ 4	1999	118	47
6	№ 5	1999	114	47
7	№ 1	2000	118	48
8	№ 6	2004	118	52
9	№ 7	2004	119	52
10	№ 10	2004	119	52
11	Гр 3	1963	95	11
12	Гр 1	1965	95	13
13	Гр 8	1972	104	20
14	Гр 6	1975	106	23
15	Гр 9	1983	109	31
16	Гр 5	1987	112	35
17	Гр 2	1988	111	36
18	Гр 10	1992	115	40
19	Гр 7	1993	114	41
20	Гр 4	1996	116	44
21	3/1	1963	94	11
22	11/1	1985	108	33
23	12/1	1985	112	33
24	1/1	2004	117	52

Окончание табл.

1	2	3	4	5
25	2/1	2004	117	52
26	4/1	2004	118	52
28	6/1	2004	119	52
29	7/1	2004	117	52
30	8/1	2004	117	52
31	9/1	2004	117	52
32	10/1	2004	119	52
33	7М	1972	103	20
34	6М	1974	107	22
35	4М	1984	111	32
36	1М	1986	112	34
37	3М	1986	112	34
38	5М	1986	113	34
39	2М	1988	113	36
40	10М	1988	112	36
41	9М	1992	114	40
42	8М	1992	114	40
43	8/3	1967	99	15
44	1/3	1968	100	16
45	10/3	1974	105	22
46	9/3	1975	105	23
47	7/3	1977	107	25
48	3/3	1986	112	34
49	2/3	1990	113	38
50	6/3	1992	114	40
51	4/3	1994	115	42
52	5/3	1996	116	44
53	12/2	1965	99	13
54	11/2	1965	96	13
55	5/2	1991	114	39
56	6/2	1991	91	39
57	16/2	1991	113	39
58	1/2	1998	117	46
59	2/2	1998	117	46
60	13/2	1999	114	47
61	14/2	1999	115	47
62	3/2	2002	117	50
63	4/2	2002	119	50
64	7/2	2001	119	49
65	8/2	2001	119	49
66	свежий битум	2024	124	72

Анализ полученных результатов показывает, что:

1. В каждой серии образцов наблюдается четко выраженная тенденция: чем позже начало эксплуатации битумных покрытий (меньше срок их эксплуатации), тем выше значение параметра E_d . Это закономерно связано со

временем старения образцов битумных покрытий под воздействием комплекса эксплуатационных факторов. Чем глубже протекают процессы старения битумов во времени, тем меньше молекулярная масса олигомерных молекул, ниже энергия межмолекулярных взаимодействий и ниже значение параметра E_d , т. к.: $E_d = E_{х.св} + E_{м.вз}$.

2. Для значительного числа образцов с одним годом начала эксплуатации битумных покрытий значения параметра E_d совпадают с точностью их определения ± 1 кДж/моль. Например, образцы № 24–32, введенные в эксплуатацию в 2004 г., характеризуются значениями параметра E_d равными 117–119 кДж/моль. Это характерно не только для образцов из одной серии III, но и для образцов из разных серий, например, для образцов № 11 и № 21, введенных в эксплуатацию в 1963 г., значения параметра E_d составляют 95 и 94 кДж/моль, соответственно. Это указывает на то, что район залегания газовых трубопроводов не оказывает существенного влияния на процесс старения битумных покрытий, т. е. на то, что условия их эксплуатации за долгие годы выровнялись, оказались близкими, что подтверждается одинаковыми значениями параметра E_d . Это имеет место и на других образцах из разных серий, например, № 1 (113 кДж/моль), № 18 (115 кДж/моль), № 2 (117 кДж/моль), № 3 (116 кДж/моль), № 20 (116 кДж/моль).

3. Вместе с тем, наблюдаются редкие случаи, когда образцы, введенные в эксплуатацию в один год, характеризуются разными значениями параметра E_d : образцы № 4 и № 5 (эксплуатируются с 1999 г.) имеют значения параметра E_d равные 118 и 114 кДж/моль соответственно; образцы 22 и 23 (эксплуатируются с 1985 г.) – значениями параметра E_d равными 108 и 112 кДж/моль. Это указывает на то, что образцы, взятые из этих газопроводов, эксплуатировались не в одинаковых условиях или эти образцы изначально отличались своим качеством до начала их эксплуатации. Несовпадение значений параметра E_d у образцов с одним годом ввода в эксплуатацию ярко свидетельствует о том, что теоретически учесть все эксплуатационные факторы, действующие на битумные покрытия за долгие годы невозможно. На образцы со значениями параметра E_d ниже усредненных действуют более жесткие эксплуатационные факторы, а на образцы с большими значениями параметра E_d – более легкие. По значениям остаточного ресурса работоспособности битумных покрытий (OR) и параметра E_d , представленных в табл., построена зависимость (рис. 1), имеющая вид экспоненты с 66 точками.

Потенциальная устойчивость битумных покрытий воздействию эксплуатационных факторов, характеризуемая значением $\Delta E_{\text{эсп.ф.}}$, со временем их старения убывает практически до нуля.

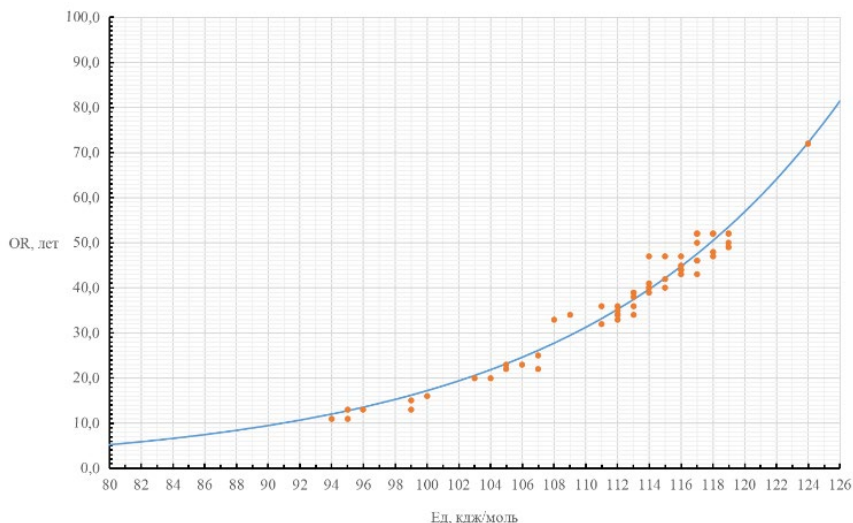


Рис.1. Графическая зависимость ожидаемой долговечности от энергии активации термоокислительной деструкции битумных покрытий

Впервые теоретически обоснован и экспериментально подтвержден универсальный характер параметра энергия активации термоокислительной деструкции (E_d) в процессе старения битумных антикоррозионных покрытий стальных газопроводов подземного залегания. Показано, что с течением времени эксплуатации газопроводов, характер E_d битумных покрытий снижается. Процесс старения обусловлен снижением молекулярной массы олигомерных молекул битума, что приводит к снижению энергии межмолекулярных взаимодействий в битумах $\Delta E_{м.вз.}$ и как следствие к адекватному понижению параметра E_d . Построена экспоненциальная зависимость OR от E_d , где OR – остаточный ресурс работоспособности (долговечность) битумного покрытия. Математической обработкой этой зависимости, минимизируя сумму квадратов ошибок между экспериментальными и модельными значениями, выведено уравнение:

$$OR = 0,541e^{0,059012 \cdot E_d}.$$

Это уравнение позволяет с достаточной точностью оценить долговечность (OR) экспресс-методом, взяв пробу битумного покрытия с газопровода и определив значение параметра E_d . Стальные газопроводы с битумантикоррозионным покрытием, введенные в эксплуатацию в начале 60-х годов прошлого сто-

летия, эксплуатируются уже около 65 лет. Максимальная долговечность битумных покрытий 72 года, поэтому остаточный ресурс работоспособности таких покрытий не более 5–7 лет. Очевидно, что уже сейчас следует планировать работы по оценке ОР битумных покрытий газопроводов, введенных в эксплуатацию до 70-х годов в конкретных районах РБ, и очередность замены газопроводов с битумными покрытиями на газопроводы из полиэтилена высокой плотности или на стальные с полиэтиленовым покрытием.

Литература

1. Техническое диагностирование и продление назначенного ресурса (назначенного срока службы) безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений : ТКП 054-2007. – Введ. 01.05.2007. – М. : Министерство по чрезвычайным ситуациям РБ, 2007. – 37 с.

2. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности труб полимерных для инженерно-технических систем : СТБ 1333.2-2002. – Введ. 28.06.2002. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.

3. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов : СТБ 1333.0-2002. – Введ. 28.06.2002. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.

УДК 697.9; 621.638

Особенности изменения содержания кислорода в газгольдере при дегазации с применением дегазационно-вентиляционного устройства

Пехота Е. А., Романюк В. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Анализируются ключевые стадии исследования разработанной технологии дегазации газгольдера с применением дегазационно-вентиляционного устройства. Отражены ключевые аспекты исследования режимов дегазации, связанных с контролем изменения содержания кислорода в процессе дегазации в условиях подготовки технологического оборудования СУГ к техническому диагностированию.

В сфере газоснабжения дегазация оборудования играет ключевую роль в поддержании промышленной безопасности и требует неукоснительного соблюдения установленных нормативов. Обеспечение качественной дегазации

газопроводных систем и газгольдеров, функционирующих под давлением, является одной из мер предосторожности для предотвращения инцидентов на объектах повышенной опасности. Надзор, отслеживание технического состояния, систематические проверки, гидроиспытания и диагностика оборудования – обязательные процедуры, которые, тем не менее, невозможны без проведения предварительной дегазации для допуска специалистов вовнутрь газгольдера [1; 2].

В ходе подготовки газгольдеров, находившихся в эксплуатации, неизбежно обнаруживаются неиспаряющиеся жидкие фракции и пирофорные отложения, скапливающиеся на внутренних поверхностях стенок и днищах.

Традиционная процедура дегазации сопряжена со значительными энергетическими затратами, использованием воды, которая требует специальной подготовки для производства пара при дегазации методом пропарки. В тоже время задействуется сложное парообразующее оборудование, а также сжигается топливо или применяется электроэнергия. Потребности расхода пара на производство работ осуществляется из расчета не менее 400 кг/пара в час. Время пропарки зависит от объема газгольдера, на практике это время для газгольдера объемом 10 м³ составляет не менее 3–4 часов. Также к одному из недостатков этого процесса, следует отнести образование и необходимость утилизации конденсата, образующегося после паровой дегазации. Это требует дополнительной механизации процесса, связанного со сбором, откачкой загрязненного остатка, образовавшегося газгольдере в результате использования пара и очистки внутренних стенок газгольдеров [1–3].

Разработанное и используемое в исследованиях дегазационно-вентиляционное устройство (ДВУ-ФС-1/450), общий вид которого и конструктивные элементы представлены на рис. 1, позволяет при дегазации поддерживать высокий уровень безопасности в зоне проведения работ за счет применения различных технических инноваций [4; 5].

Преимущества дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 для дегазации газгольдера является [4; 5]:

- возможность осуществлять фильтрацию отходящего газовоздушного потока с учетом аспектов экологичности и снижения взрывоопасности дегазации;
- конструкция подключения ДВУ-ФС с воздухопроводами обеспечивает герметичность блока подачи и поступления воздуха по воздуховоду, что позволяет экологично осуществлять контроль за ходом технологического процесса дегазации;
- обеспечение постепенного формирования максимального напора в зависимости от концентрации паров в газгольдере, за счет дозированно-регулируемой подачи атмосферного воздуха на различных скоростях начиная с 2 м/с.

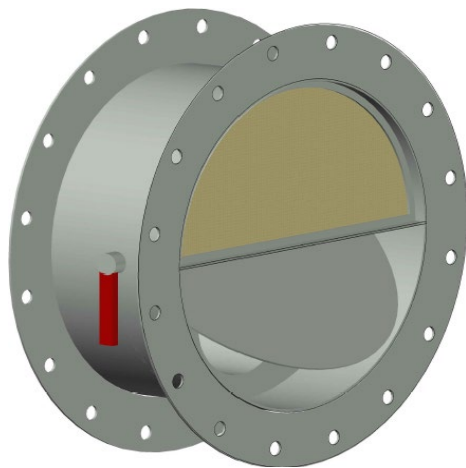


Рис. 1. 3D-модель дегазационно-вентиляционного устройства

В ходе экспериментов установлено, что в переменнo-динамичеcких режимах, характеризуемых изменением (повышением) температуры и интенсификацией за счет этого концентрации паров при дегазации. Увеличение концентрации паров, выделяемых из жидких фракций при дегазации, обуславливает на определенных этапах снижение концентрации кислорода в газовом пространстве газгольдера. А при окончании процессов полной дегазации концентрация кислорода достигает предельных значений концентрации кислорода в атмосферном воздухе. Таким образом, изменение зависимостей концентрации кислорода, позволяет учитывать этот параметр в ходе экспериментов, как показатель качества дегазации, в виду того, что правилами проведения газоопасных работ регламентируется периодическое измерение кислорода в рабочей зоне проведения работ с его обязательным содержанием не ниже 19 %.

Концентрацию кислорода в газовом пространстве газгольдера можно определять, используя формулы [6–10]:

$$k_{\text{кисл}} = 0,21 \frac{p_a - p_{\text{хв}}}{p_a},$$

где p_a – атмосферное давление, Па; $p_{\text{хв}}$ – давление насыщенных паров хранившихся веществ в газгольдере, Па.

Давление насыщенных паров жидкости определяется по уравнению Антуана, или по справочным или полученным экспериментальным данным:

$$p_{\text{ж}} = 133,3 \exp^{\frac{13,306 - 3816,44}{T - 46,13}},$$

где T – температура газового пространства аппарата, К.

Изменение концентрации кислорода в ходе проведения экспериментов определялось в зависимости от времени дегазации и основных этапов ее проведения. На рис. 2 представлен график изменения концентрации кислорода в зависимости от значения времени (t) дегазации и ее основных этапов, построенный по результатам экспериментов.

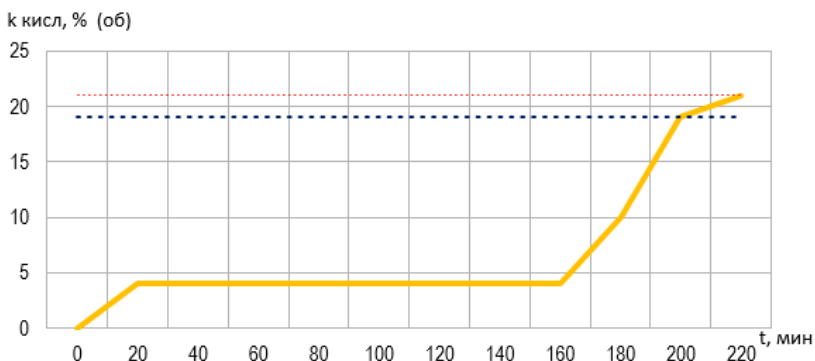


Рис. 2. График изменения концентрации кислорода при дегазации газгольдера

При этом учитываем, что дегазация газгольдеров производится в целях подготовки к проведению газоопасных и огневых работ с допуском персонала внутрь газгольдера. Для этого необходимо обеспечить достижение 0 % содержания концентрации вредных паров газообразных веществ метана и пропана и т. п., с учетом обеспечения нейтрализации имеющихся отложений на внутренней поверхности от пирофорных соединений.

В ходе экспериментальных исследований определено, что на скорости ниже 1 м/с дегазация газгольдера не должна осуществляться, так как наблюдается взрывоопасная концентрация веществ в системе отвода дегазационного устройства и внутри газгольдера в зоне скопления тяжелых остатков, что создаст образование взрывоопасной концентрации.

После 170 минут дегазации газгольдера отмечается рост содержания кислорода, что свидетельствует об окончании основного этапа дегазации в виде интенсивной окислительной реакции взаимодействия веществ и начала этапа изменения концентрации паров фазы с замещением вредных веществ атмосферным воздухом.

Литература

1. Пехота, Е. А. Оценка и прогнозирование технического состояния стальных резервуаров, и технология их восстановления / Е. А. Пехота // Инновации в технических и экономических системах : материалы VIII науч.-практ. конф. магистрантов / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель, 2022. – С. 71.
2. Пехота, А. Н. Автомобильные топливные заправки на предприятиях. Организация и эксплуатация: практическое пособие / А. Н. Пехота. – Гомель: БелГУТ, 2014. – 214 с.
3. Назаров, В. П. Теоретические основы расчета пропарки резервуаров с остатками нефтепродуктов / В. П. Назаров, Д. Ц. Ратайчак // Исследование некоторых опасных факторов пожара : сб. тр. / Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР. – М., 1985. – С. 22–32.
4. Пехота, Е. А. Повышение качества дегазации при подготовке газгольдеров к техническому диагностированию с применением дегазационно-вентиляционного устройства / Е. А. Пехота, В. Н. Романюк // Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 30 окт.–02 ноя. 2024 г. – Брест, 2024. – С. 269–275.
5. Пехота, Е. А. Обоснование создания дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 с целью обеспечения качества технического диагностирования газгольдеров / Е. А. Пехота, В. Н. Романюк, А. С. Таврель // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 17–18 окт. 2024 г. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 91–94.
6. Багманова, Р. Х. Материальные балансы химико-технологических процессов: методические указания для выполнения практических работ / Р. Х. Багманова, В. П. Дорожкин. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт, 2012. – 73 с.
7. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : ТКП 474-2013. – Минск : Минист-во по чрезвычай. ситуациям Республики Беларусь, 2022. – 55 с.
8. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 12.02.2025. – Минск : Стройтехнорм, 2025 – 52 с.
9. Строительная климатология. Строительные нормы Беларуси : СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 07.12.2000. – Минск : Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь. – 40 с.
10. Пехота, Е. А. Новые технологии в обеспечении эксплуатационной надежности резервуаров и экологической безопасности / Е. А. Пехота, А. А. Васильев, А. Н. Пехота // Актуальные научно-технические и экологи-

ческие проблемы сохранения среды обитания: в 2 ч.: сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природоустройства, Брест, 26–28 окт. 2022 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Меньшик. – Брест, 2022. – Ч. 2. – С. 170–173.

УДК 620.97

Применение накопителей тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения

Станецкая Ю. А., Канашиц В. В.

Белорусский национальный технический университет

В данной статье рассмотрены виды и технологии строительства солнечных накопителей тепловой энергии.

В настоящее время солнечная энергия является одним из наиболее перспективных альтернативных источников энергии среди всех возобновляемых источников энергии в большинстве стран.

Основным недостатком солнечной энергии, как и большинства других возобновляемых источников энергии, является ее непостоянство, колебание суточной, еженедельной и сезонной выработки. В результате часто наблюдается несоответствие между спросом на энергию и предложением. Наибольшее несоответствие наблюдается между доступностью солнечной тепловой энергии летом и высоким спросом в зимний сезон [1].

Одним из решений этой проблемы может быть интеграция накопителей тепловой энергии в системы гелиотеплоснабжения [2].

Хранилища тепловой энергии (солнечные пруды) представляют собой водоем, предназначенный для накопления и хранения тепловой энергии, получаемой от солнечного излучения круглый год. Водоем служит одновременно коллектором и аккумулятором тепловой энергии.

Существуют разные типы хранилищ (прудов). В данной работе остановимся на одной из главных их разновидностей – пруды с соленой водой (солёные) и пруды с пресной водой.

Самым эффективным из солёных прудов считается СПГСК – солнечный пруд с градиентом солевой концентрации, в которых концентрация соли растет с глубиной и соответственно растет плотность раствора.

Среди СПГСК выделяют пруды с искусственным поддержанием градиента и насыщенные пруды, в которых применяются соли со значительной зависимостью растворимости от температуры.

Градиенты концентрации и соответственно плотности раствора по глубине пруда создаются с помощью добавления различных солей.

Градиент концентрации соли в зоне стабилизации (зоне градиента концентрации (ЗГК)) должен быть таким, чтобы обеспечивать гидродинамическую устойчивость этой зоны при наличии градиента температуры, совпадающего по направлению с градиентом концентрации. В этом случае в данной зоне за счет специфических оптических и теплофизических свойств воды достаточно эффективно пропускается солнечное излучение в глубину пруда и одновременно теплоизолируются нижние слои нагретого от атмосферы раствора за счет как невысокой теплопроводности воды, так и того, что тепловое излучение нагретого дна и раствора не пропускается водой (парниковый эффект). С помощью СПГСК возможно получение температуры до 100 °С и даже несколько выше, если учесть увеличение температуры кипения солевого раствора с ростом концентрации.

Обычно глубина пруда составляет 1–3 м. Как видно из рис. 1, весь объем как бы разделен на 3 зоны, концентрация соли в которых возрастает от поверхности ко дну. Верхний тонкий слой (10–20 мм) практически пресной воды граничит с неконвективным слоем жидкости большой толщины, в котором концентрация соли по глубине постепенно увеличивается и достигает максимального значения на нижнем уровне. Толщина этого слоя составляет $\frac{2}{3}$ общей глубины водоема. В нижнем конвективном слое концентрация соли максимальна и равномерно распределена в объеме жидкости. Итак, плотность жидкости максимальна у дна пруда и минимальна у его поверхности в соответствии с распределением концентрации соли [3].

Существуют разные методы получения тепловой энергии из пруда:

- размещение змеевика в нижнем слое жидкости;
- отвод жидкости из нижнего слоя в теплообменник;
- использование теплового насоса.

Схема с тепловым насосом особо актуальна в районах с умеренным поступлением солнечной радиации.

Такая схема дает возможность получить высокие среднегодовые коэффициенты преобразования теплового насоса и по сравнению с обычно рассматриваемой схемой теплоснабжения, в которой солнечный пруд работает совместно с резервным нагревателем, позволяет при одной и той же среднегодовой доле покрытия тепловой нагрузки уменьшить площадь пруда и его глубину, сократить потребности в соли, необходимой для создания пруда [4].

Национальные программы сооружения СПЭС, реализующие аналогичные технологии, разработаны и осуществляются в США, Австралии и в некоторых других странах. Самая крупная солнечнопрудная электростанция (СПЭС) такого типа мощностью 5 МВт на базе СП площадью 0,25 км² была сооружена в Израиле в 1984 г. В СССР данная технология активно изучалась, но так и не была реализована [3].

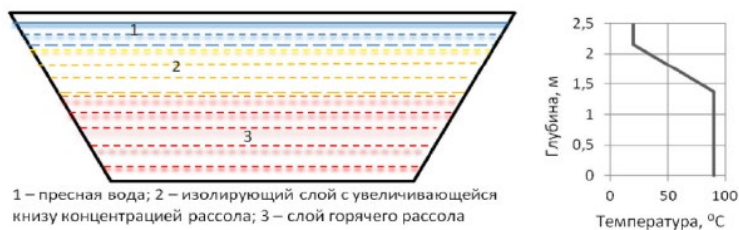


Рис. 1. Схема солнечного соляного пруда и изменение температуры жидкости по глубине пруда

Другим, более распространенным типом накопителя тепловой энергии, являются хранилища с пресной водой, пресной водой и гравием, пресной водой, гравием и галькой.

К концу 2020 года во всем мире эксплуатировалось около 470 солнечных систем централизованного теплоснабжения ($Q \geq 350$ кВт; площадью от 500 м^2) [5].

Их можно в целом разделить на четыре категории: резервуарное хранилище тепловой энергии (TTES), подземное хранилище тепловой энергии (PTES), скважинное хранилище тепловой энергии (BTES) и водоносное хранилище тепловой энергии (ATES).

Из рис. 2 видно, что большинство исследований было проведено по BTES, за которыми следуют TTES, ATES и PTES. Это связано с тем, что больше проектов для систем BTES и ATES реализуется в результате низких затрат на строительство в первые годы. TTES более гибкая по форме и менее зависима от местоположения. Однако TTES обычно изолируется изолирующим слоем из-за своей большой площади поверхности [5].

Количество исследований PTES меньше, чем других, но она превосходит другие системы с точки зрения плотности энергии, геометрических размеров, независимости от строительной площадки, эксплуатационных характеристик и стоимости строительства.

Инвестиционные затраты на 1 м^3 водного эквивалента PTES оказались самыми низкими, когда объем хранения превышает 60000 м^3 . Поэтому в последние годы PTES рассматривается как перспективная технология хранения тепла из-за потребности в большой емкости хранения [5].

Разберем технологию строительства именно PTES.

Были разработаны формы хранилища с уклонами, такие как усеченные пирамиды с прямоугольным поперечным сечением рис. 3, а и усеченные конусы с круглым поперечным сечением рис. 3, б. Форма а используется чаще из-за традиционной конструкции, чем форма б. Кроме того, для удовлетворения больших требований к объему PTES была создана форма хранилища, имеющего конфигурацию сложной усеченной пирамиды рис. 3, с.

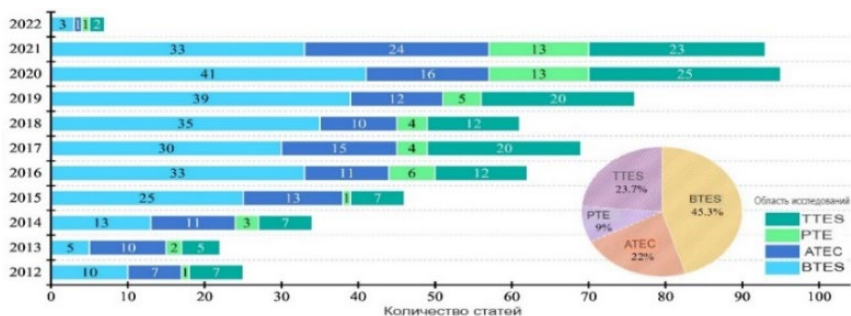


Рис. 2. Количество статей, связанных с сезонным хранением тепловой энергии с 2012 по 2022 гг. [6]

Угол наклона – это угол между боковой стеной и горизонтальной плоскостью. Угол наклона составляет около 30° для PTES объемом более 10000 м³ для предотвращения обрушения боковых стен. Помимо влияния геологических условий строительной площадки на определение угла наклона, выбор угла наклона также ограничивается тепловыми характеристиками PTES, поскольку угол наклона влияет на соотношение поверхности к объему, что, в свою очередь, влияет на потери теплоты.

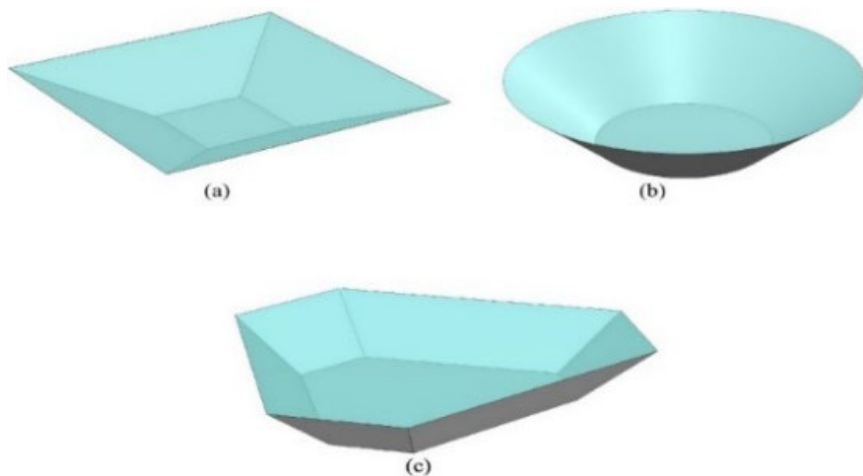


Рис. 3. Формы PTES:

a – усеченная пирамида; *b* – усеченный конус; *c* – сложная усеченная пирамида

Температурная стратификация (перемешивание) в солнечных накопителях существенно влияет на тепловые характеристики солнечных систем централизованного теплоснабжения, независимо от типа системы. Для предотвращения перемешивания используют диффузоры различной конструкции, которые в свою очередь снижают скорость воды, поступающей в накопитель тепловой энергии, и обеспечивают ламинарный поток во время процессов зарядки и разрядки.

Конструкция радиального диффузора принята в большинстве существующих PTES из-за ее простой конструкции, удобной установки, низкой стоимости и хорошей тепловой стратификации. Конструкция радиального диффузора обычно состоит из двух круглых пластин, установленных параллельно друг другу рис. 4, *a*, соединенных с впускной/выпускной трубой для формирования водного пути. Для обеспечения равномерного потока могут быть встроены направляющие элементы рис. 4, *b*.

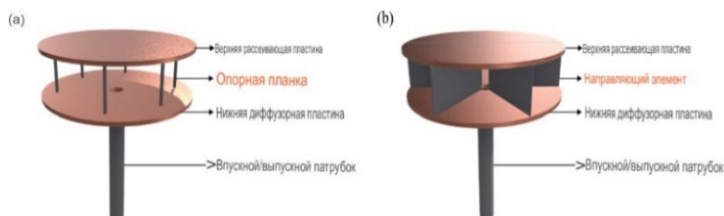


Рис. 4. Конструкция диффузора:

- a* – конструкция диффузора без направляющих элементов;
- b* – конструкция диффузора с направляющими элементами

В настоящее время существует два способа ввода ведущих труб в PTES для соединения диффузоров рис. 5.

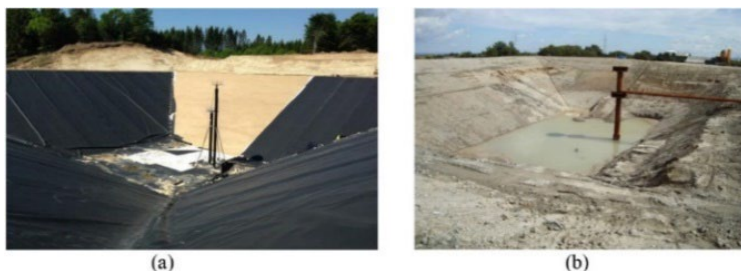


Рис. 5. Расположение входа/выхода существующего PTES:

- a* – подводящая труба, входящая через дно;
- b* – подводящая труба, входящая через боковую часть

Один способ – ввод через дно PTES рис. 5, *а*. Другой способ – ввод через боковую часть PTES рис. 5, *б*. По сравнению с конструкцией, входящей через боковую часть, ведущие трубы, входящие в дно перпендикулярно футеровке, облегчают соединение бетонной конструкции и фланца под футеровкой. Однако ведущие трубы приходится закапывать глубже в землю, что может увеличить тепловые потери [5].

Большинство тепловых потерь происходит в верхней части PTES, исходя из выводов, полученных при изучении завершенных проектов.

Обычно покрытие имеет три основных слоя – слой изоляции в середине и два слоя облицовки по обе стороны от изоляции. Также в слой изоляции следует размещать стальные стрелы, выполняющие функцию каркаса, для поддержания формы покрытия.

Из покрытия также требуется удалять влагу, которая может туда проникать вследствие диффузии воды через подкладку либо через повреждения в подкладке. При намокании изоляционный материал повышает свою теплопроводность, что ведет к увеличению теплопотерь. Для удаления влаги между слоем изоляции и подкладкой устраивается вентиляционный зазор (3–6 мм), к которому подключают вентиляционные шланги для своевременного удаления влаги [5].

Риск повреждения изоляции также создает дождевая вода – вследствие образования луж на поверхности. Из-за этого крышка обычно строится с уклоном 2 % к центру крышки.

Для направления дождевой воды и удержания крышки при сильном ветре, ее утяжеляют трубами из полиэтилена высокой плотности заполненными бетоном. Диаметр труб увеличивается к центру.

Боковые стенки и дно PTES редко изолируются, поскольку окружающая почва может выступать в качестве теплового резервуара и передавать тепло обратно в PTES во время разрядки. Тем не менее, изоляция дна рекомендуется, когда грунтовые воды залегают близко ко дну PTES.

Выбор изоляционного материала является решающим шагом, который в конечном итоге влияет на производительность PTES.

В основном применяют насыпную изоляцию, такую как гранулы керамзита (EGG) или пеностеклянного гравия (FGG) [5].

Подкладка охватывает водоем с обеих сторон крышки для защиты изоляционных материалов. Более того, предотвращая прохождение пара через изоляцию, подкладка может помочь снизить потери теплоты. Наиболее распространенные подкладки, используемые для PTES, изготавливаются из нержавеющей стали, полимеров и эластомеров.

Главным свойством подкладки является паропроницаемость. У нержавеющей стали она самая низкая, но при большой площади пруда экономически не выгодно. Экономически эффективным и самой распространенным является полиэтилен высокой плотности.

В ранних проектах в роли наполнителя использовали гравий и воду в качестве материала для хранения. Однако в новых проектах он был заменен водой по трем причинам:

- гравий и вода имеют более низкую плотность энергии, чем вода;
- необходимо использовать земеевики косвенного теплообмена из гравия и воды PTES для зарядки и разрядки, что усложняет систему и неудобно в обслуживании;
- вода может поддерживать отличную термическую стратификацию.

Первая PTES объемом 500 м³ была построена в Техническом университете Дании, где и были проведены обширные исследования. Опыт, полученный в ходе этого проекта, послужил основой для строительства крупномасштабных проектов в Дании и вдохновил отрасль геотеплоснабжения на создание большего количества установок с PTES [5].

На данный момент многие страны эффективно интегрировали PTES в солнечные централизованные теплоцентрали, причем на Данию приходится около 47 % этих установок, на Германию – 40 %, а на Швецию и Китай – 13 % [5].

Республика Беларусь – страна со значительным потенциалом солнечной энергии, сопоставимым с показателями большинства европейских государств. Это дает возможности для использования разработанных технологий, которые могут способствовать более эффективному использованию данного вида возобновляемой энергии.

Выводы

1. Интеграция PTES в геотеплоустановки централизованного теплоснабжения имеет много преимуществ, таких как достижение более высокой доли солнечной энергии и эффективности системы. Однако только 15 из 470 крупномасштабных систем централизованного теплоснабжения с использованием солнечной энергии, которые были успешно реализованы во всем мире, интегрированы с PTES, что означает, что применение PTES остается сложным.

2. Выбор между солеными и пресными хранилищами тепловой энергии зависит от конкретных условий эксплуатации, доступных ресурсов и целей проекта. В некоторых случаях пресные хранилища могут быть более подходящими из-за своей простоты и доступности, тогда как в других ситуациях соленые хранилища могут предложить преимущества в плане плотности энергии и устойчивости к замерзанию.

Литература

1. IEA, Heating, Paris 2020 : [сайт] . – URL: <https://www.iea.org/reports/heating>. – (дата обращения: 15.03.2025).
2. Alva, G. An overview of thermal energy storage systems / G. Alva, Y. Lin, G. Fang // Energy. – 2018. – Vol. 144. – P. 341–378.

3. Богачев В. В. Перспективы применения соляных прудов для получения тепловой и электрической энергии в ставропольском крае / В. В. Богачев, С. В. Буслов // Вестник Северо-кавказского федерального университета. – 2013. – № 3(36). – С. 93–96.

4. Солнечные пруды // Oz-Lib. – URL: https://oz-lib.com/838630/tehnika/solnechnye_prudy (дата обращения: 25.03.2025).

5. Journal of Energy Storage // Sciencedirect. – URL: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22017042#f0090 (дата обращения: 5.04.2025).

УДК 697.352.8

Современные методы очистки атмосферного воздуха

Золотарева И. М., Костенко Д. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассматривается вопрос об эффективности применения различных очистительных устройств для очистки воздуха. Подробное их описание позволит дать более объективную оценку с целью подбора более подходящих приборов для создания комфортных условий внутри конкретного помещения.

Цель статьи – рассказать о различных методах очистки воздуха, которые применяются на сегодняшний день. Выделить особенности, достоинства и недостатки устройств.

Чистый воздух сегодня – настоящая глобальная проблема. Постоянный рост числа промышленных предприятий, автомобилей на дорогах, свалок негативно сказывается не только на окружающей среде, но и на нашем здоровье. По диаграмме можно отследить увеличение выброса углерода после промышленной революции с развитием тяжелой промышленности, роста потребления нефтепродуктов, загрязнение природы, и в частности атмосферы стало глобальным (рис. 1).

Как мы знаем, источником всех выбросов вредных веществ по большей части являются заводы [1]. Больше всего загрязняют воздух предприятия в таких сферах, как металлургия (черная и цветная), горно-обогатительные комбинаты, нефтеперерабатывающая промышленность, химических производства, ТЭС и АЭС, фармацевтика, пищевое производство и многие другие.

Существует два типа технологий очистки воздуха: активные и пассивные [2].



Рис. 1. Динамика выброса углерода в атмосферу

Активные очистители воздуха выделяют в воздух отрицательно заряженные ионы, в результате чего загрязняющие вещества прилипают к поверхностям, тогда как *пассивные* очистители воздуха используют воздушные фильтры для удаления загрязняющих веществ. Пассивные очистители более эффективны, поскольку вся пыль и твердые частицы удаляются из воздуха и собираются в фильтрах.

Примерами *пассивных* очистителей являются фильтры НЕРА (система высокоэффективной фильтрации воздуха), угольные фильтры и большинство УФГИ (система ультрафиолетового бактерицидного облучения). *Пассивные* очистители делятся на 6 общих категорий:

Волокнистый фильтрующий материал. Самые известные волокнистые фильтры – это фильтры НЕРА (High Efficiency Particulate Air). Фильтры НЕРА обычно изготавливаются из стекловолоконных нитей размером 1/75 человеческого волоса (рис. 2).

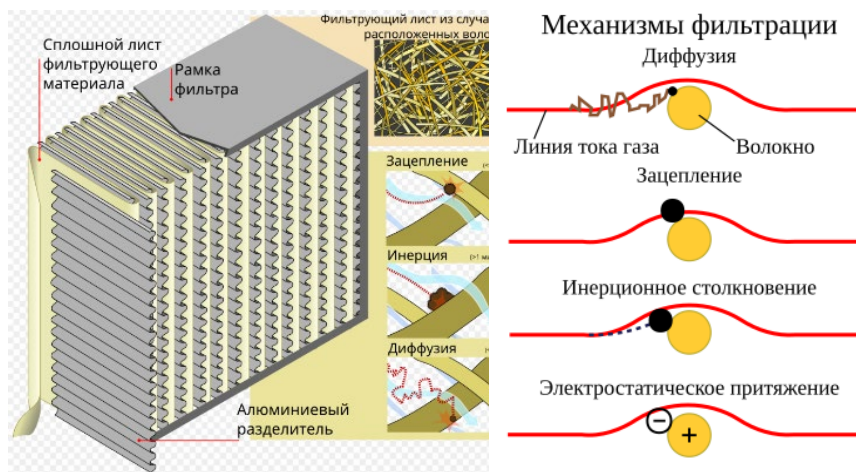


Рис. 2. Схема HEPA-фильтра с описанием механизма очистки

Различные исследования подтверждают преимущества портативных воздухоочистителей на основе HEPA для снижения концентрации аэрозолей из многих источников, включая снижение рисков передачи COVID-19, а также улучшают клинические проявления у пациентов с аллергическим ринитом за счет уменьшения количества твердых частиц и аллергена пылевых клещей [3].

На рис. 3 показан принцип работы электростатического фильтра.

Основным недостатком таких фильтров является их частая замена вследствие их быстрого загрязнения и механических повреждений.

Адсорбирующие среды. Наиболее распространенной формой адсорбирующего материала является активированный уголь (рис. 4). Это пористый материал, который может адсорбировать летучие органические соединения (ЛОС), но не удаляет более крупные частицы. Процесс адсорбции при использовании активированного угля должен достичь равновесия, поэтому полное удаление загрязнений может оказаться затруднительным.

Активированный уголь – это всего лишь процесс перевода загрязняющих веществ из газообразной фазы в твердую фазу, когда отягченные или нарушенные загрязнения могут быть регенерированы в источниках воздуха в помещении [2]. Обычно он используется в сочетании с другими технологиями фильтрации, особенно с HEPA. Другие материалы также могут поглощать химические вещества, но стоят дороже.

Преимущества: адсорбирующие среды хорошо очищают воздух от газа и запахов, хотя их эффективность зависит от типа и концентрации газа. Ак-

тивированный уголь могут применять совместно с устройствами, предназначенными для устранения загрязнения сигаретным дымом и дымом лесных пожаров.

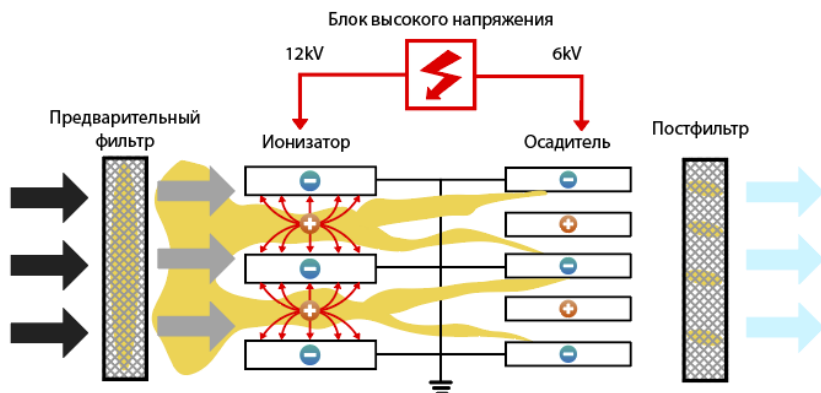


Рис. 3. Принцип работы электростатического фильтра



Рис. 4. Адсорбционные фильтры с активированным углем

Недостатки: адсорбционные фильтры необходимо регулярно менять. Кроме того, очистители с небольшим количеством углерода могут оказаться недостаточными для очистки больших помещений.

Ультрафиолетовое бактерицидное облучение (УФГИ). Ультрафиолетовое бактерицидное облучение – можно использовать для стерилизации воздуха (рис. 5). Эти системы представляют собой устройства с экранированными УФ-лампами, в которых используется вентилятор, пропускающий воздух мимо УФ-излучения [3]. Они как правило устанавливаются в системах вентиляции для удаления микроорганизмов. Ультрафиолетовый свет (он же ультрафиолетовое излучение, он же УФ) можно использовать для пассивной и активной очистки.

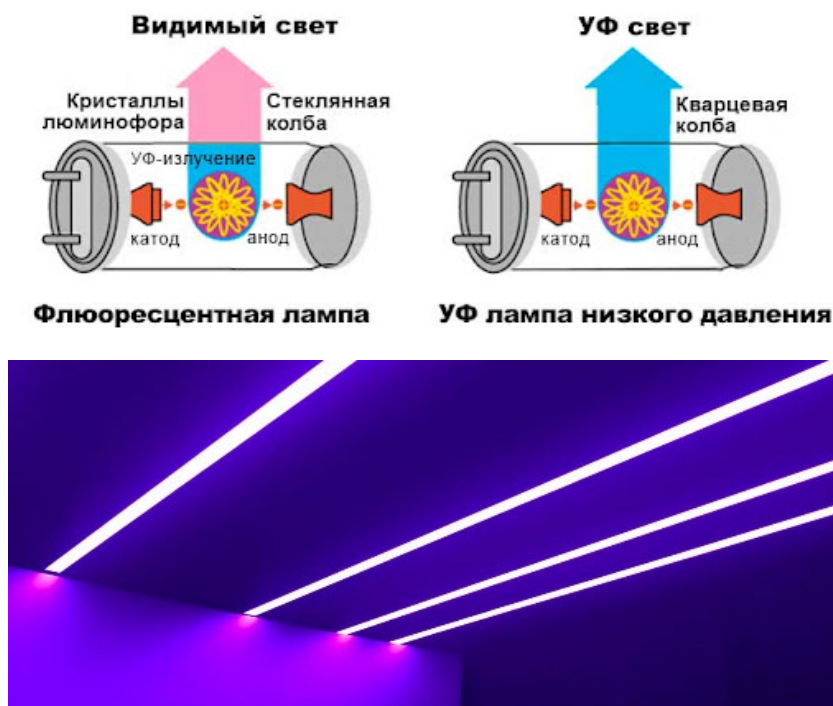


Рис. 5. Ультрафиолетовые бактерицидные лампы

Преимущества: УФ-очистка воздуха использовалась в течение столетия для снижения распространения туберкулеза в переполненных учреждениях, таких как больницы и убежища. Правильно откалиброванный УФГИ достаточно эффективен для дезинфекции любых непористых и незагрязненных

поверхностей в профессиональных условиях. УФГИ-очистка также полезна для предотвращения размножения микробов на охлаждающих змеевиках и воздушных фильтрах.

Недостатки: если УФ-лампа не покрыта нужным катализатором, она может производить озон. Озон прекрасен в верхних слоях атмосферы, но не полезен вблизи земли, где люди могут им дышать. При повреждении защитного экрана УФ-очистителя возможна травма глаз или повреждение кожи находящихся в помещении людей. Такие лампы не действуют на пыль, твердые частицы и вредные газы.

Термодинамическая стерилизация (ТСС). Термодинамическая стерилизация является недавно запатентованным методом очистки и мало изученным (рис. 6).



Рис. 6. Очиститель воздуха Airfree E60 с технологией ТСС

По известным данным, ТСС нагревает воздух в камере до 200 °С, чтобы буквально стерилизовать его [4]. Применяемая технология, основанная на естественных процессах окисления (сгорания) органических соединений, является наиболее экологичной из всех, не использует химические соединения, катализаторы, источники электромагнитного излучения, не «выжигает» кислород.

Подача воздуха в прибор осуществляется без участия электродвигателя, путем создания конвекционных потоков, что многократно повышает надежность приборов, делает их экономичными, абсолютно бесшумными.

При постоянной работе в помещении, даже при отсутствии вентилятора, за несколько суток достигают и поддерживают такую же степень очистки воздуха, что и приборы с мощными и шумными вентиляторами, использующие HEPA-технологию.

Преимущества: ТСС не использует вентиляторы, а пропускает воздух через себя посредством конвекции; это делает его тихим и сохраняет низкое потребление энергии. Предполагается, что это замедляет скорость, с которой воздух проходит через него, позволяя бактериям, вирусам и плесени дольше подвергаться воздействию.

Недостатки: так как этот метод очистки новый и им пользуются единичные компании, данные о методе ограничены. Поэтому как именно будут удаляться частицы (такие как аллергены и табачный дым) неизвестно. По полученной информации можно предположить, что сжигание частиц может создавать более мелкие частицы, которые еще более опасны, чем крупные.

Примером *проактивной* очистки является **ионизация**. В ионизаторах используются заряженные электрические поверхности или иглы для генерации электрически заряженных ионов воздуха (рис. 7). Эти ионы соединяются с частицами в воздухе, которые затем электростатически притягиваются к заряженной коллекторной пластине. Этот механизм производит следовые количества озона и других окислителей в качестве побочных продуктов. Большинство ионизаторов производят озон в соотношении 1:20000000, что соответствует стандарту промышленной безопасности [3].

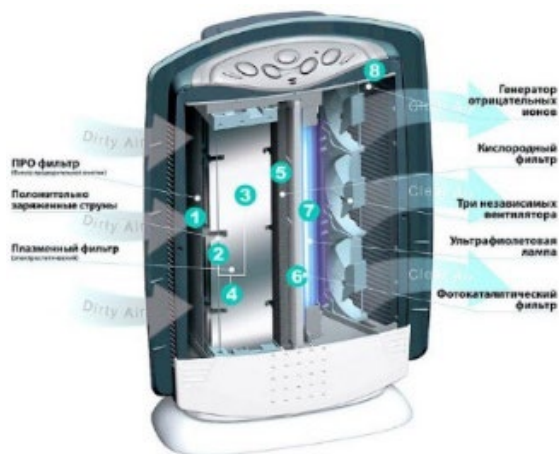


Рис. 7. Устройство ионизатора воздуха

Преимущества: ионизация воздействует на аллергены и частицы и даже имеет некоторую способность реагировать на патогены. Безвентиляторные ионизаторы также имеют преимущество в том, что они бесшумны.

Недостатки: главный недостаток ионизации в том, что она ухудшает состояние поверхностей, поскольку они становятся резервуаром, на который

ионизаторы осаждают загрязняющие вещества. Эти загрязняющие вещества можно легко поднять обратно в воздух.

Очистители воздуха прошли долгий процесс исследований и разработок на протяжении десятилетий от масок до современных автономных систем очистки, используемых сегодня. Современные технологии в сфере очистки атмосферного воздуха, как мы сегодня убедились, позволяют улавливать до 99 % вредных веществ. Несмотря на это, не стоит забывать о необходимости постоянного мониторинга вредных выбросов в атмосферу и совершенствования технологий для обеспечения экологической безопасности в мире.

Литература

1. Методы очистки воздуха на промышленных предприятиях // ПЗГО. – URL: <https://gas-cleaning.ru/article/metody-ochistki-vozduha-na-promyshlennyh-predpriyatiyah/> (дата обращения: 04.04.2025).

2. Passive vs Proactive Purification : a Guide to 11 Air Filtration Technologies // ActivePure – URL: <https://activepure.com/blog/11-air-filtration-technologies/> (дата обращения: 04.04.2025).

3. История очистителей воздуха // Habr. – URL: <https://habr.com/ru/companies/mvideo/articles/770578/> (дата обращения: 04.04.2025).

4. Воздухоочистители // Аллергодом. – URL: <https://www.allergodom.ru/catalog/vozduho-ochistiteli/e60/> (дата обращения: 04.04.2025).

УДК 692.23

Особенности температурного режима техподполий и подвалов существующих зданий

Крутилин А. Б., Костенко Д. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предложена формула для определения температуры воздуха в подвалах и техподпольях эксплуатируемых зданий. Приведены рекомендации по улучшению их температурного режима.

Наружные ограждающие конструкции зданий проектируются с уровнем теплозащиты, главным показателем которого является приведенное сопротивление теплопередаче, нормируемое в СН 2.04.02-2020 [1]. Уровень теплозащиты перекрытий над техническими подпольями и подвалами (далее – подвалами) рассчитывается на основе решения уравнения теплового баланса, которое имеет «типовой вид» и приведено в приложении К СП 2.04.01-2020 [2].

Использование данного уравнения для определения температурного режима в эксплуатируемых зданиях имеет ряд трудностей:

- в уравнение теплового баланса входят нормативные значения линейных плотностей теплового потока через изолированные поверхности расположенных в подвале труб систем отопления, горячего водоснабжения и в некоторых случаях – тепловых сетей, которые приведены в СП 2.04.01-2020 [2];

- фактические линейные плотности теплового потока через изолированные поверхности труб в эксплуатируемых зданиях (например, поставленных на капитальный ремонт) в большинстве случаев не соответствуют нормативным вследствие отличающихся толщин теплоизоляции труб (например, рассчитанных по «старым» нормам), физического износа утеплителя и ряда других причин;

- нормативные значения линейных плотностей теплового потока через изолированные поверхности труб зависят от искомой температуры воздуха в подвале, что предполагает для расчетов использование метода последовательного приближения, вызывая дополнительные трудозатраты.

Следует отметить, что для расчета температуры воздуха в подвале у разных зданий не может быть использована конечная формула вследствие различного конструктивного решения инженерных сетей, наличия или отсутствия какого-то вида сетей (например – центральной системы горячего водоснабжения), наличия или отсутствия встроенных отапливаемых помещений и других причин.

Для определения температурного режима подвалов эксплуатируемых зданий предлагается примерная формула следующего вида:

$$t_{\text{п}} = \frac{\left(\frac{t_{\text{н}} F_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} + \frac{t_{\text{н}} F_{\text{пол}}}{R_{\text{пол}}} + 0,28 c_{\text{в}} n_{\text{А}} V_{\text{п}} \rho_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}} \right) + \left(\frac{t_{\text{в}} F_{\text{пер}}}{R_{\text{пер}}} + \frac{t_{\text{под}}^{\text{CO}} F_{\text{под}}^{\text{CO}}}{R_{\text{из}}^{\text{CO}}} + \frac{t_{\text{обр}}^{\text{CO}} F_{\text{обр}}^{\text{CO}}}{R_{\text{из}}^{\text{CO}}} + \frac{t^{\text{ГВ}} F^{\text{ГВ}}}{R_{\text{из}}^{\text{ГВ}}} \right)}{\left(\frac{F_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} + \frac{F_{\text{пол}}}{R_{\text{пол}}} + 0,28 c_{\text{в}} n_{\text{А}} V_{\text{п}} \rho_{\text{н}} \right) + \left(\frac{F_{\text{пер}}}{R_{\text{пер}}} + \frac{F_{\text{под}}^{\text{CO}}}{R_{\text{из}}^{\text{CO}}} + \frac{F_{\text{обр}}^{\text{CO}}}{R_{\text{из}}^{\text{CO}}} + \frac{F^{\text{ГВ}}}{R_{\text{из}}^{\text{ГВ}}} \right)},$$

где $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; $t_{\text{под}}^{\text{CO}}$, $t_{\text{обр}}^{\text{CO}}$ – расчетные температуры теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах системы отопления, °С; $t^{\text{ГВ}}$ – расчетная температура воды в трубопроводах системы горячего водоснабжения, °С; $F_{\text{ц}}$, $F_{\text{пол}}$, $F_{\text{пер}}$ – площади, соответственно, цокольных стен, пола «по грунту» и перекрытия над подвалом здания, м²; $F_{\text{под}}^{\text{CO}}$, $F_{\text{обр}}^{\text{CO}}$ – площади поверхности подающих и обратных трубопроводов системы отопления, м²; $F^{\text{ГВ}}$ – площадь поверхности трубопроводов системы горячего водоснабжения, м²; $R_{\text{ц}}$, $R_{\text{пол}}$, $R_{\text{пер}}$ – сопротивление теплопередаче, соответственно, цокольных стен,

пола «по грунту» и перекрытия над подвалом, $(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $R_{\text{из}}^{\text{CO}}$, $R_{\text{из}}^{\text{ГВ}}$ – сопротивление теплопередаче изоляции, соответственно, на трубах систем отопления и горячего водоснабжения, $(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$; $n_{\text{д}}$ – расчетная кратность воздухообмена подвала здания, ч^{-1} ; $V_{\text{н}}$ – объем подвала здания, м^3 ; $\rho_{\text{н}}$ – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Первая часть формулы теплового баланса в числителе и знаменателе определяет теплотери, вторая часть – теплопритоки. Формула видоизменяется под конкретный подвал здания или его часть. Например, при отсутствии в подвале труб системы горячего водоснабжения во второй части формулы из числителя и знаменателя убираются слагаемые, определяющие теплоприток от системы горячего водоснабжения.

Теплопритоки от трубопроводов сетей могут быть разделены при разной толщине теплоизоляции, разному виду изоляции и разному диаметру труб. Предлагаемая формула теплового баланса может быть использована и для нового строительства, когда предварительно рассчитаны толщины слоя изоляции трубопроводов инженерных сетей.

Установлено, что уменьшение температурного перепада между воздухом и поверхностью пола в помещениях первого этажа здания, прежде всего, рекомендуется достигать утеплением цокольных стен здания. Если это решение не обеспечивает требования СН 2.04.02-2020 [1] то рекомендуется минимальное утепление перекрытия над подвалом и максимальное утепление цокольных стен. При капитальном ремонте, реконструкции и модернизации в зданиях с холодными чердаками рекомендуется предусматривать системы отопления с нижней разводкой магистральных труб.

Литература

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02-2020. – Введ. 12.11.2020. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 24 с.
2. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Введ. 18.11.2020. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 72 с.

**Теплопроизводительность солнечных коллекторов
в условиях пустыни Каракумы**

Пенджиев А. М.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

На основе проведенных исследований получены систематизированные, научно обоснованные солнечные теплоэнергетические ресурсные потенциалы от внедрения и использования солнечных теплоэнергетических технологий в условиях пустыни Каракум. Оценены технико-экономические, экологические потенциалы теплоэнергетических гелиоколлекторов по параметрам энергоэффективности, экономия топлива и снижения вредных веществ на окружающую среду.

Задачи устойчивого развития экономики Туркменистана основаны на использовании современных и инновационных энергетических технологий во всех отраслях промышленности [1; 2].

Восемьдесят процентов территорий Туркменистана занимает пустыня Каракумы и проблема борьбы с опустыниванием и освоения является одной важнейших проблемой страны [1; 3–5].

Решения проблемы теплоэнергообеспечение для освоения пустынной зоны могут сыграть энергетические технологии на основе солнечного излучения. Энергообеспечение линией электропередачи из-за низкой плотности населения экономический не выгодно [3–5].

Для разработки, создания, внедрения инновационных солнечных энергетических систем в обеспечении электроэнергией и теплом жителей пустыни Каракум необходимо комплекс теоретических, экспериментальных исследований и расчеты всех составляющих компонентов энергооборудования, их конструктивные особенности, начиная от оптимального угла наклона гелиоприемника, максимальную и минимальную энергопроизводительность системы. Для внедрения солнечных энергетических технологии необходимо составления проектно-сметную документацию. Существующие инженерные расчеты не достаточной точны при расчетах технико-экономического обосновании (ТЭО) в пустынной зоне Туркменистана, поэтому решение этих проблем, является весьма актуальной [3–5].

Туркменскими учеными проделаны и добились достигнуты большие успехи в научно-исследовательской работе по использованию солнечной энергии [3–5].

В настоящее время в мире возрастает требования к качеству энергетических технологий и систем, созданию новых приоритетных теплоэнергетически эффективных конструкций на основе солнечной энергии. Научной основой современного и перспективного солнечно-энергетических технологий является комплекс теоретических, расчетно-аналитических и экспериментальных исследований, они базируется на общих принципах фундаментальной науки и научных основах инновационной техники и технологии. Конечной целью и задачей является решения конкретных производственных условий при изготовлении солнечных энергоустановок и систем в суровых условиях пустыни Каракумы [3–5].

Для выполнения выше названных требований в работе рассмотрены и использованы инновационные методики, научно-обоснованы, систематизированы и теоретический, практический и экспериментально исследованы ресурсные валовые, технические, экономические и экологические потенциалы с учетом природно-климатических условий пустыни Каракумы [4–8].

В работе приведены теоретические и методические расчеты валовых, технических, экономических и экологических потенциалов солнечной энергии, определены теплоэнергетическая эффективность, определены оптимальный угол наклона по временам года солнечных коллектора в Центральных Каракумах.

При теоретических расчетах Центральные Каракумы представляется, как совокупность зоны, в которых интенсивность солнечного излучения, альbedo местности, географические, природно-климатические условия являются однородными по всей исследуемой площади [3–5].

Методика и методология определения. Для определения валового, технического, экономического и экологического ресурсного потенциала Центральных Каракум учтены следующие основные среднесезонные параметры на единицу поверхности площади солнечного приемника в течение i -й месяца, кВт·ч/(м²·год): поступления солнечного излучения на поверхность приемника; горизонтальной поверхности в год; приход прямого потока солнечного излучения горизонтальной поверхности; поступление рассеянного излучения при безоблачном небе; эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной зоны в течение i -го месяца, ч/год; астрономическая возможная продолжительность солнечного сияния для данной местности в i -й месяц, ч/год [3–8].

Методика оценка ресурсных энергетических потенциалов солнечного излучения.
Валовый потенциал – среднесезонная суммарная солнечная энергия, падающая на площадь Центральных Каракум (ЦК) в течение одного года [4–7].

Валовый энергетический потенциал определяется по формуле месячного прихода солнечного излучения на горизонтальную поверхность $E_{ор}$ ($i = 1, 2, \dots$,

12). Средний параметр угла наклона прямого солнечного излучения к нормали $\langle \cos \theta \rangle$ и месячное поступление прямого солнечного излучения на нормально ориентированную поверхность за 10 часов (с 7 до 17 ч) [3–5].

$$E_{\text{оп}i} = \frac{E_{\text{пл}}}{\langle \cos \theta \rangle} = \frac{(1 - \varepsilon) E_i}{\langle \cos \theta \rangle}, \quad (1)$$

где $E_{\text{оп}}$, кВт·ч/(м²·мес.) – среднееголетний приход солнечного излучения на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года при безоблачном небе; $E_{\text{пл}}$, кВт·ч/(м²·мес.) – среднееголетний приход прямого потока солнечного излучения на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года; E_i , кВт·ч/(м²·мес.) – среднееголетний приход солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года; ε – коэффициент излучения [4; 6–8].

Суммарное поступление солнечного излучения (валовый в ЦК) на единицу горизонтальной поверхности в год за 10 часов в сутки (7–17 ч), равно 1844,6· S кВт·ч/год:

Технический потенциал представляет сумму солнечного излучения преобразованная в тепловую энергию приемником [4–6].

Технический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения, рассчитанный с учетом продолжительности солнечного сияния в течение i -го месяца t_{Ci} , ч/мес., число ясных и полупасмурных часов, продолжительность рабочего времени t_{pi} , ч/мес.

Технический энергопотенциал, приходящихся на единицу отводимой площади в течение рабочего времени (с 7 до 17 ч) на один квадратный метр в Центральных Каракумах теплопроизводительность равно 1227,58 кВт·ч/год.

В осенне-зимние месяцы (октябрь–февраль) использование коллекторов с представленными техническими параметрами для получения горячей воды с температурой $T_{\Gamma} = 60$ °С, т. е. соответствующие W_{Ti} равны нулю.

Графическое изображения в виде гистограммы энергетических показателей, преобразованных в тепловую энергию в течение года в Центральных Каракумах приведены на рис. 1.

Экономический потенциал – величина годовой выработки тепловой энергии в регионе от солнечного излучения, получение которой экономически оправдано для региона в данном случае Центральных Каракумах при существующем уровне цен на энергии, получаемую от традиционных источников, и соблюдении экологических норм [3–6].

Оценка экономического энергопотенциала солнечного излучения преобразованная тепловым коллектором, ориентированный под углом наклона к горизонту β , при нормативных условиях соответствию эквивалентного расхода органического топлива. В результате теплопроизводительность

с одного метра квадратного гелиоколлектором эквивалентна расходу органического топлива соответствует 502,61 кг у. т./м²/год.

Экологический потенциал – часть технического энергопотенциала, преобразованная в полезную используемую энергию экологической целесообразно при данном уровне сокращения вредных выбросов в окружающую среду от ископаемого, органического топлива при преобразовании в тепловую, электрическую энергию и других видов энергии от оборудования, установок, станций, транспортных средств и других загрязнителей.

Экологический потенциал представляет сумму экономических потенциалов тепловой энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения [4; 5; 8].

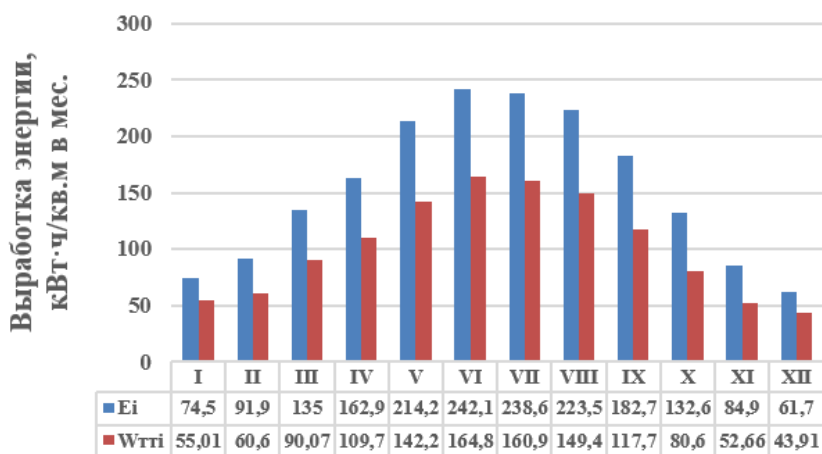


Рис. 1. Гистограмма энергетических показателей валового (E_i), технического потенциалов, преобразованных в тепловую ($W_{ти}$) энергию гелиоколлектором по месяцам в течение года

Возможности сокращения выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Центральных Каракумах при использовании солнечного теплового коллектора составляет: при годовой выработке с 1 кв. м тепловой – 1256,44 кВт·ч/год, экономия расхода топлива составляет 502,6 кг у. т./год, выбросы вредных веществ снижаются: диоксид серы SO_2 – 10,4; оксид азота NO_x – 5,62; оксид углерода CO – 0,72; метан CH_4 – 1,54; двуокись углерода CO_2 – 803,68; твердых веществ – 1,09 кг/год.

Определение оптимального угла наклона солнечных модулей в Центральных Каракумах. Результаты расчета для определения оптимального

угла наклона гелиоколлектора в Центральных Каракумах с учетом реального поступления солнечной энергии включает определение полного потока солнечной энергии на наклонную поверхность в течение определенного периода времени (например, за месяц в течение года) при различных углах наклона посредством интегрирования по времени. Расчеты показывают наиболее эффективное значение $\beta = 60^\circ$ для января, февраля, ноября, декабря; $\beta = 30^\circ$ с апреля по сентябрь; $\beta = 45^\circ$ – март, октябрь [4; 5; 8].

Таким образом, на основании теоретических исследований и методических расчетов солнечно – энергетических ресурсных потенциалов с учетом интенсивности солнечного излучения, альбеда, географических, климатических и неблагоприятных погодных условий получены энергетические потенциалы теплопроизводительности с одного квадратного метра в Центральных Каракумах составляет: валовый потенциал – 1844,6 кВт·ч/м²·год; техническая потенциал теплопроизводительность гелиоколлектора – 1256,44 кВт·ч/м²·год.

Технико-экономические и теоретические расчеты экономических потенциалов позволят составить технико-экономическое обоснования при строительстве солнечно-энергетических станции, установок, сооружений для внедрения дадут возможность экономии органического топлива от преобразования в тепловую – 1354,58 кВт·ч/год.

Экологический потенциал снижение антропогенных нагрузок в окружающую среду в Центральных Каракумах при использовании тепловых гелиоколлекторов составит: при годовой выработке с 1 кв. м – 1256,44 кВт·ч/год, экономия расхода органического топлива – 502,61 кг у. т./год, сокращение выбросов в окружающую среду: SO₂ – 10,44; NO_x – 5,62; CO-0,72; CH₄ – 1,54; CO₂ – 803,68; твердых веществ – 1,09 кг/год.

Литература

1. Бердымухамедов, Г. М. Туркменистан на пути достижения Целей устойчивого развития / Г. М. Бердымухамедов. – Ашгабад : Туркменская государственная издательская служба, 2018. – 465 с.
2. Бердымухамедов, Г. М. Электроэнергетическая мощь Туркменистана / Г. М. Бердымухамедов. – Ашгабад : Туркменская государственная издательская служба, 2022. – 130 с.
3. Использование солнечной энергии / под общ. ред. Л. Е. Рыбаковой. – Ашгабад : Ылым, 1985. – 280 с.
4. Пенджив, А. М. Экоэнергетические ресурсы возобновляемых источников энергии: монография / А. М. Пенджив. – М. : Русайнс, 2023. – 400 с.
5. Стребков, Д. С. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане: монография / Д. С. Стребков, А. М. Пенджиев, Б. Д. Мамедсахатов. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2012. – 498 с.

6. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов / под ред. В. И. Виссарионова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

7. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких, Ю. Д. Арбузов, Г. А. Борисов [и др.]. – СПб. : Наука, 2002. – 314 с.

8. Пенджиев, А. М. Экологические проблемы освоение пустынь: монография / А. М. Пенджиев. – Германия : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 с.

УДК 504.064.4; 628.51

**Интеграционные системы очистки воздуха:
многофункциональная система очистки воздуха с плазменной
ионизацией, фотокатализом и замкнутым циклом переработки CO₂**

Золотарева И. М., Холодов А. С., Брановицкий Н. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье предложена теоретическая модель комплексной модульной установки для очистки промышленных выбросов с многоступенчатой переработкой загрязнителей.

Современные промышленные предприятия остаются одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, осуществляя выбросы вредных веществ, концентрации которых зачастую достигают, а иногда и превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) (рис. 1). Например, в отличие от 2022 г., превышения норматива ДВ по формальдегиду в 2023 г. фиксировалось однократно на источнике выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух цеха пропитки и обработки тканей филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот» в 2,75 раза [1].

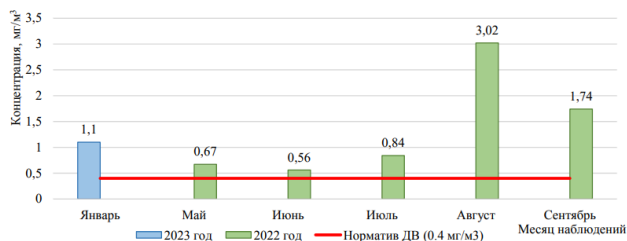


Рис. 1. Концентрация загрязняющих веществ по месяцам за 2022 и 2023 годы [1]

Несмотря на соблюдение формальных экологических нормативов, выбросы продолжают оказывать негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения.

Несмотря на активное продвижение концепции «зеленого перехода», практическая реализация масштабного внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) сталкивается с существенными технологическими и экономическими ограничениями. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), в 2023 году глобальные инвестиции в сектор ВИЭ сократились на 18 %, при этом в странах-лидерах энергетического перехода, таких как Германия и США, объем государственных субсидий уменьшился на 23–27 % [2]. Основными причинами этого тренда стали низкая энергетическая плотность возобновляемых источников, требующая в 5–7 раз больших территорий по сравнению с традиционной генерацией, а также значительные экологические издержки производства ключевых компонентов – от токсичных отходов при добыче редкоземельных металлов до проблемы утилизации отработавших лопастей ветрогенераторов.

Загрязнение воздуха остается одной из ведущих причин преждевременной смертности в мире. По данным ВОЗ (2021), ежегодно около 8,1 млн человек умирают из-за последствий воздействия загрязненного воздуха [3], включая респираторные, сердечно-сосудистые и онкологические заболевания. Особую опасность представляют мелкодисперсные частицы (PM_{2.5} и PM₁₀), диоксиды серы и азота (SO₂, NO_x), а также летучие органические соединения (ЛОС), которые в высоких концентрациях присутствуют в промышленных зонах. PM_{2.5} легко проникают сквозь биологические барьеры и поэтому представляют наибольшую угрозу для организма (рис. 2).

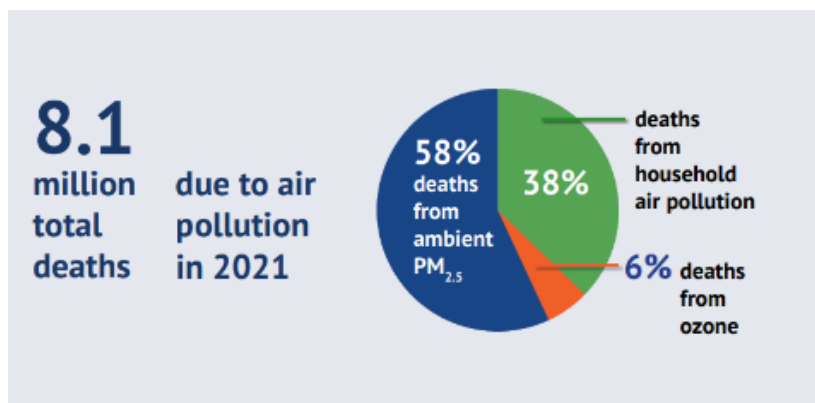


Рис. 2. Доли смертей от основных типов загрязнения воздуха: PM_{2.5} (58 %), бытовое загрязнение (38 %), озон (6 %) [3]

В современных условиях промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью не только эффективного удаления вредных выбросов, но и интеграции процессов ресурсосбережения и минимизации углеродного следа. Развитие технологий очистки воздушных выбросов привело к созданию multifunctional систем, сочетающих различные методы обезвреживания загрязнителей. Одним из перспективных решений в этой области является применение комбинированных методов очистки. На основе данных принципов в качестве примера теоретически была разработана система, интегрирующая несколько последовательных стадий обработки загрязненного воздуха (рис. 3). Данная установка может позволить не только эффективно снижать концентрацию вредных примесей, но и использовать побочные продукты процессов для последующего ресурсного использования.

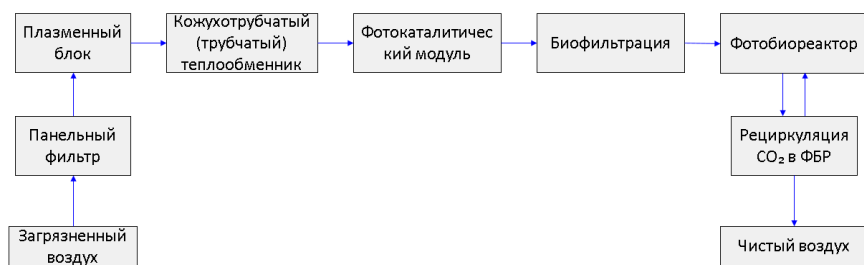


Рис. 3. Блок-схема предлагаемой комбинированной системы очистки воздуха

Функциональное назначение ключевых блоков, их последовательность и вклад в поэтапную очистку воздуха данной рассматриваемой установки представлены в табл. 1.

На входе в систему очистки перед плазменным блоком требуется расположить карманный или панельный фильтр для улавливания частиц размером от 0,4 до 10 мкм:

- плазменный блок особенно чувствителен к частицам, которые могут создавать непредсказуемые искровые разряды или нагар на электродах;
- в фотокатализе важно отсутствие загрязнений на поверхности фотокатализатора;
- биофильтрация и фотобиореактор работают стабильно при микробиологически чистом, но не стерильном воздухе.

Плазменный блок выполняет роль одной из первых стадий очистки воздуха, где происходит предварительная обработка за счет ионизации молекул. При использовании технологии диэлектрического барьерного разряда (ДБР) воздух проходит через зону, где под воздействием высоковольтного импульса

и присутствия диэлектрического материала происходит ионизация молекул. Это приводит к образованию свободных электронов, ионов и активных радикалов, в частности гидроксильных (ОН), которые обладают высокой реакционной способностью. Благодаря их активности сложные органические загрязнители, такие как летучие органические соединения (ЛОС), формальдегид и толуол, разлагаются на более простые молекулы – в основном на углекислый газ и воду [4]. Значительная доля энергии, затрачиваемой плазменным блоком, расходуется на нагрев электродов и диэлектрика. Оптимизация работы плазменного блока достигается путем использования игольчатых электродов, которые способствуют равномерному распределению электрического поля, а также импульсных генераторов на частоте 1 кГц, сокращающих время разряда, что позволяет снизить общую мощность [5].

Таблица 1

Основные блоки установки и их назначение

Блок системы	Краткая характеристика	Примечание
Плазменный блок	Ионизация молекул и разложение загрязнителей	Включает ДБР-разряд, игольчатые электроды и импульсные генераторы
Кожухотрубчатый (трубчатый) теплообменник	Теплопередача нагретого воздуха охлажденной воде. Охлаждение нагретого воздуха плазменным блоком	Температура на выходе из плазменного блока примерно 40–65 °С. В дальнейших модулях поддерживается температура около 25–30 °С.
Фотокаталитический модуль	Окисление загрязнителей под воздействием УФ-излучения	Используется TiO ₂ с защитным покрытием Al ₂ O ₃ .
Биофильтрация с электростимуляцией	Биологическое разложение органических веществ с усилением электрическим полем.	Основана на активных микроорганизмах, оптимальный ток 75 мкА.
Фотобиореактор	Поглощение CO ₂ и его переработка в биомассу микроводорослей.	Работает в диапазоне pH 6,5–7,5, температура 25–30 °С.

В табл. 2 приведено краткое сравнение альтернативных методов генерации плазмы, которые потенциально могли бы быть использованы вместо диэлектрического барьерного разряда (ДБР).

Перед тем, как очищенный воздух попадет в фотокаталитический модуль, его необходимо привести к оптимальным температурным условиям. Для этого в системе используется кожухотрубчатый теплообменник, который эффективно отводит избыточное тепло, снижая температуру воздуха до требуемого диапазона (обычно 25–30 °С) без значительного сопротивления воздушному потоку [7].

Таблица 2

Сравнительный анализ методов генерации плазмы

Метод генерации плазмы	Преимущества	Недостатки
Коронный разряд	Низкое энергопотребление при ионизации; простота конструкции; эффективен для быстрого ионизирования газов	Образование озона и оксидов азота (NO_x); неоднородное распределение плазмы и слабая стабильность.
Микроволновая плазма	Высокая плотность плазмы и быстрое ее образование; равномерное распределение на больших площадях	Высокая стоимость оборудования; сложность в управлении процессом; возможны нежелательные термические эффекты
Дуговой разряд (Gliding Arc Plasma)	Работает при атмосферном давлении; высокая реакционная способность, эффективен для разрушения сложных органических молекул	Менее стабильное и равномерное распределение плазмы; риск перегрева и термической деградации компонентов; возможны значительные тепловые эффекты

Фотокаталитический модуль в системе предназначен для дальнейшего окисления органических загрязнителей, остающихся после плазменной обработки. В этом модуле используется наноструктурированный фотокатализатор на основе TiO_2 , модифицированного серебром (TiO_2/Ag), что позволяет активировать его в видимом спектре (при длинах волн выше 400 нм) [8]. Благодаря воздействию света на катализатор происходят процессы генерации электронно-дырочных пар, которые приводят к образованию высокореакционных радикалов, таких как гидроксильные (ОН). Эти радикалы, обладая высокой реакционной способностью, разлагают сложные органические загрязнители (например, ЛОС, формальдегид, толуол) до простых продуктов – углекислого газа и воды.

Табл. 3 отражает возможные технологии окислительной очистки воздуха, которые при определенных условиях могут рассматриваться как функциональная альтернатива фотокатализу в составе очистных систем данного принципа.

После обработки воздуха в плазменном и фотокаталитическом модуле, где сложные загрязнители уже частично разложены, воздух попадает в биофильтр. Биофльтрация – это этап очистки в системе, где с помощью специально подобранных микроорганизмов остаточные органические загрязнители окончательно разлагаются до CO_2 и H_2O [9]. Дополнительно применяется электростимуляция (подача слабого электрического тока, обычно около 75 мкА), которая ускоряет обменные процессы в клетках за счет улучшения передачи электронов, что повышает скорость и эффективность биологической очистки.

Таблица 3

Сравнение методов окислительной обработки газовых выбросов

Метод очистки	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
Адсорбция	Загрязняющие вещества удерживаются на поверхности сорбента (обычно активированного угля) за счет физических или химических взаимодействий	Простота реализации, высокая селективность к определенным загрязнителям	Не разрушает загрязнители, требует регулярной замены или регенерации сорбента
Химическое окисление	Загрязнители разлагаются при взаимодействии с сильными окислителями (озон, пероксид водорода), образуются безопасные продукты.	Способно разрушать широкий спектр загрязнителей, высокая скорость реакции	Образование побочных продуктов, потенциальная токсичность избытка реагентов
Термическое окисление	Загрязняющие вещества сжигаются при высоких температурах (600–1200 °C), превращаясь в CO ₂ и H ₂ O	Полное разрушение загрязнителей, высокая эффективность	Высокие энергозатраты, сложность оборудования, образование NO _x
Каталитическое окисление	Окисление загрязнителей при более низких температурах (~250–500 °C) за счет катализатора (обычно Pt, Pd, MnO ₂)	Более низкие энергозатраты по сравнению с термическим окислением, высокая эффективность	Дороговизна катализаторов, чувствительность к загрязнению катализатора

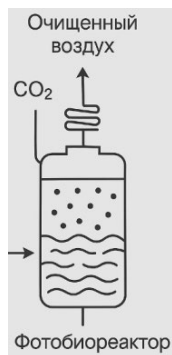


Рис. 4. Схема работы фотобиореактора с участием микроводорослей

Фотобиореактор (рис. 4) в составе установки представляет собой замкнутую биосистему, в которой специально отобранные штаммы микроводорослей активно поглощают углекислый газ (CO₂) из очищаемого воздуха и с помощью фотосинтеза преобразуют его в органическую биомассу [10].

Для стабильной работы фотобиореактор освещается искусственным или естественным светом и поддерживается в температурном диапазоне 25–30 °C, что обеспечивает активный фотосинтез и рост микроводорослей [11]. Такая система не только снижает концентрацию CO₂ на выходе, но и замыкает углеродный цикл за счет частичной рециркуляции воздуха обратно в фотобиореактор с помощью дат-

чика CO₂ и регулируемого от него клапана на обратной линии, а также позволяет использовать образовавшуюся биомассу в биофильтрации для поддержания и усиления микробной активности, обеспечивая экологически устойчивую и энергоэффективную работу всей установки по утилизации CO₂

Литература

1. Локальный мониторинг атмосферного воздуха в районе промышленных предприятий г. Гродно за 2023 год // Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – URL: <https://nsmos.by/sites/default/files/2024-06/11-lokalnyy-monitoring.pdf> (дата обращения: 11.04.2025).
2. Global Energy Investment 2023 // International Energy Agency. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023> (дата обращения: 11.04.2025).
3. Состояние глобального воздуха – 2024 // Health Effects Institute. – URL: <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024> (дата обращения: 10.04.2025).
4. Ефимов, А. Е. Очистка воздуха от формальдегида активными частицами барьерного разряда / А. Е. Ефимов, А. Г. Бубнов // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 38. – С. 38–42.
5. Шведов, А. В. Исследование и разработка процессов модификации поверхности полимерных материалов микро- и оптоэлектроники на основе низкочастотного газового разряда плазмы атмосферного давления : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / Шведов Андрей Викторович ; Московский авиационный институт. – М. : 2020. – 147 с.
6. Структура барьерного разряда и синтез озона // Лаборатория катализа и газовой электрохимии. – URL: https://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/PichuginStruktura.pdf (дата обращения 12.03.2025).
7. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 320 с.
8. Recent progress on Ag/TiO₂ photocatalysts: photocatalytic and bactericidal behaviors / H. Chaktouna, H. Benzeid, N. Zari [at al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28, № 33. – P. 44638–44666.
9. Кузнецова, И. Г. Биоремедиация промышленных выбросов с использованием микроорганизмов / И. Г. Кузнецова, А. В. Яковлев // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 5. — С. 28–33.
10. Сидоров А. В. Фотобиореакторы в экологических биотехнологиях: улавливание CO₂ / А. В. Сидоров, Н. П. Козлова // Биотехнология. – 2021. – Т. 37, № 4. – С. 34–41.
11. Ричмонд, А. Руководство по культивированию микроводорослей: прикладная фикология и биотехнология / А. Ричмонд, К. Ху. – Оксфорд : Wiley-Blackwell, 2013. – 738 p.

**Обеспечение организованного притока частично подогретого
наружного воздуха в помещениях жилых зданий**

Хрусталеv Б. М., Сизов В. Д., Якимович Д. Д.,
Лешкевич В. В., Черванева Е. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены вопросы обеспечения воздухообмена в помещениях жилых зданий путем организованного притока частично подогретого наружного воздуха и его организованного последующего удаления системой вентиляции с естественным побуждением. Подогрев холодного наружного воздуха осуществляется в межстворчатом пространстве оконных заполнений в раздельных переплетах.

В связи с установлением достаточного высоких нормативных значений сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий значительно возросла доля энергопотребления системами вентиляции. В то же время проблема обеспечения притока воздуха в помещения жилых зданий с вытяжной вентиляцией с естественным побуждением не имеет устоявшихся технических решений [1, п. 7.2.9, ч. 3, с. 15]. Обеспечение притока наружного воздуха в помещения жилых зданий может быть организовано с частичным его подогревом в межстворчатом пространстве оконных заполнений в раздельных переплетах.

В лаборатории строительной теплофизики и инженерных систем зданий БНТУ (НИИЛСТИСЗ БНТУ) проведены теплофизические испытания оконных заполнений указанного типа и определен ряд показателей. В ходе экспериментальных исследований получены значения температуры воздуха в прослойке между наружной и внутренней оконными створками, а также изменения значений плотности теплового потока [2, п. 4.1, с. 2] через наружную и внутреннюю светопрозрачные части оконного заполнения.

Приток наружного воздуха в межстворчатое пространство осуществлялся в нижней части рамы под наружной створкой и с последующей подачей внутрь помещения через клапан в верхней части окна над внутренней створкой. Использование клапана позволило обеспечить быстрое затухание струи.

Схема организации притока наружного воздуха и установки датчиков представлена на рис.

Для оконного заполнения с тройным остеклением в раздельных переплетах (одинарное стекло в наружной створке и однокамерный стеклопакет во внутренней) с заявленным сопротивлением теплопередаче $0,6 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

в квартире верхнего этажа здания с теплым чердаком возможно обеспечение количества удаляемого воздуха 44–71 м³/ч при удельной воздушной нагрузке на 1 м² оконного заполнения 7,40–11,84 м³/(ч·м²) и на 1 метр погонный оконного притвора 1,45–2,33 м³/(ч·м. п.). Использование осевого вентилятора, установленного в вытяжном отверстии, увеличивает объем удаляемого воздуха при закрытых окнах до 150 м³/ч при удельной воздушной нагрузке соответственно 8,88–25,15 м³/(ч·м²) и 1,75–4,95 м³/(ч·м. п.). При этом фильтрацией воздуха через закрытые притворы окон в одинарных и спаренных переплетах можно пренебречь, что подтверждается как величиной располагаемого давления, так и результатами измерений относительной влажности воздуха в жилых комнатах квартиры, представленными ниже. Работа осевого вентилятора при максимальной производительности (150 м³/ч) в течение 15 минут обеспечила снижение относительной влажности внутреннего воздуха в комнатах, в которых установлены окна в раздельных переплетах, с 65 % и 67 % до 40 % и 43 % соответственно.

В комнатах с окнами с двухкамерным стеклопакетом в одинарных переплетах, ни температура, ни относительная влажность внутреннего воздуха не изменилась, во всяком случае, в пределах чувствительности психрометра. Обеспечение притока наружного воздуха в помещение квартиры через окна в одинарных переплетах оказалось практически невозможным без их разгерметизации.

Для оконного заполнения с тройным остеклением в раздельных переплетах (одинарное стекло в наружной створке и однокамерный стеклопакет во внутренней) с заявленным сопротивлением теплопередаче 1,0 м² °C/Вт, при обеспечении притока наружного воздуха в объеме 12,7 м³/ч (кратность воздухообмена в комнате 0,46 ч⁻¹) в помещение через воздушную прослойку между наружной и внутренней оконными сворками, годовые теплопотери в наружную среду через светопрозрачную часть снижаются на 93,8 кВт·ч в год – с 101,7 кВт·ч в год до 7,9 кВт·ч в год через одно окно, т. е. на 92 %. Приточный воздух поступает в помещение с температурой на 12,6 °C выше температуры наружного воздуха. Воздухопроницаемость погонного метра оконных притворов за период измерения составила 0,83–1,27 м³/(ч·м. п.). Для 2-х комнатной квартиры (три оконных и один балконных) снижение теплопотерь через светопрозрачные части окон данного типа составляет около 330 кВт·ч в год.

Для оконного заполнения с двойным остеклением в раздельных переплетах с сопротивлением теплопередаче 0,379 м² °C/Вт при обеспечении притока наружного воздуха через воздушную прослойку между наружной и внутренней оконными рамами в объеме 20 м³/ч на двух комнатную квартиру или не менее 5,8 м³/ч на одну комнату (кратность воздухообмена составляет 0,2 ч⁻¹) снижение теплопотерь через светопрозрачные части окон будет около 120 кВт·ч в год.

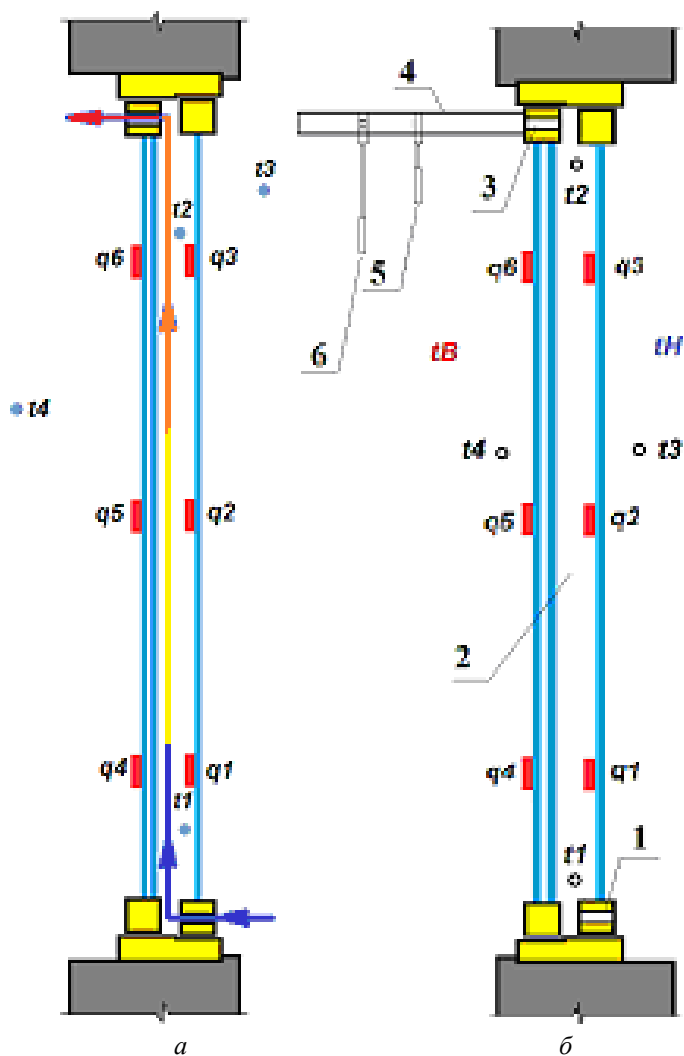


Рис. Схема оконного заполнения с тройным остеклением в отдельных переплетах с указанием расположения экспериментального оборудования и датчиков:

- a* – места установки датчиков (датчики температуры воздуха: t_1 – t_4 ; датчики плотности теплового потока: q_1 – q_6) и путь движения воздуха;
- б* – конструктивные элементы и экспериментальное оборудование:
- 1 – входное отверстие; 2 – воздушная прослойка; 3 – выходное отверстие (клапан); 4 – воздухопровод; 5 – датчик температуры приточного воздуха; 6 – анемометр

Для оконного заполнения с тройным остеклением в отдельных переплетах (одинарное стекло в наружной створке и двойное (не стеклопакет) во внутренней) с сопротивлением теплопередаче $0,438 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, при обеспечении притока наружного воздуха в помещение через воздушную прослойку между наружной и внутренней оконными рамами в объеме $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 2-х комнатную квартиру или не менее $5,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одну комнату (кратность воздухообмена $0,2 \text{ ч}^{-1}$) для 2-х комнатной квартиры (три оконных блока и один балконный) снижение теплопотерь через светопрозрачные части окон составляет около $95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ в год. Увеличение расхода воздуха в 2–3 раза позволит сократить теплопотери через оконные заполнения в наружную среду в значительно больших объемах. Однако для окна с двойным остеклением это предположение нуждается в проверке температуры поверхности стекла со стороны помещения.

Для оконного заполнения с тройным остеклением в отдельных переплетах (одинарное стекло в наружной створке и двойное (не стеклопакет) во внутренней) сравнение количества теплоты, обеспечившей подогрев наружного воздуха до температуры приточного воздуха, с количеством теплоты, переданным воздуху на участке светопрозрачной части, показало, что доля теплоты, полученная непосредственно в светопрозрачной части оконного заполнения составляет 37–47 % от общего количества переданной приточному воздуху теплоты. При снижении температуры наружного воздуха эта доля возрастает. Также при снижении температуры наружного воздуха возрастает и разность температуры приточного и наружного воздуха. В условиях проведенного эксперимента приточный (наружный) воздух подогревался на $7,7\text{--}11,8 \text{ °C}$.

По результатам проведенных исследований установлено, что организация притока наружного воздуха через воздушную прослойку между оконными створками позволяет одновременно со снижением затрат на подогрев вентиляционного воздуха снизить и трансмиссионные потери теплоты через оконные заполнения, т. е. значительно увеличивает фактическое сопротивление теплопередаче светопрозрачной части оконного заполнения без каких либо изменений его конструкции – за счет снижения значения средней температуры наружного стекла. Такой способ обеспечения притока наружного воздуха в помещения квартир помимо существенного снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию, позволяет обеспечить постоянный воздухообмен в жилых помещениях и, кроме того, осуществлять интенсивное проветривание квартир в течение отопительного периода с помощью бытовых вентиляторов без открывания форточек. Подача приточного воздуха через клапаны, установленные в верхних перемычках оконных рам, осуществляется быстро затухающими струями, что позволяет осуществлять подачу воздуха в значительно больших объемах при соответствующей форме воздухораспределителей направлении струй.

Литература

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Ацяпленне, вентыляцыя і кандыцыянаванне паветра : СН 4.02.03-2019. – Взамен СНБ 4.02.01-03 ; введ. 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2019. – 73 с.

2. Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. Будынкi і збудаванні. Метад вымярэння шчыльнасці цеплавых патокаў, якія праходзяць праз агароджваючыя канструкцыі : ГОСТ 25380-2014. – Взамен ГОСТ 25380-82 ; введ. 01.04.2017. – М. : Стандартинформ, 2019. – 11 с.

УДК 697.1+699.86

К вопросу об обеспечении требуемого уровня тепловой защиты вентилируемыми фасадными системами

Сизов В. Д., Якимович Д. Д., Лешкевич В. В., Черванева Е. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты натурных исследований теплозащитных характеристик наружных стен с вентилируемыми фасадными системами. Указаны причины снижения сопротивления теплопередаче стен с вентилируемыми фасадными системами, связанные с ошибками проектирования, в том числе в связи с несовершенством нормативных документов.

Вентилируемые фасады изначально предназначались для отделки наружных поверхностей зданий с влажным и мокрым режимом эксплуатации: бассейны, хоккейные арены, бани. Возможность обеспечить презентабельный внешний вид, не теряющий своих эстетических свойств в течение длительного периода времени, привела к тому, что в настоящее время вентилируемые фасады используют для отделки фасадов всех без исключения типов зданий. Изначальная мотивация к применению таких дорогостоящих систем в составе наружных ограждающих конструкций опиралась на возможности эффективного удаления влаги из конструкции наружных стен зданий с обеспечением высоких теплозащитных свойств и долговечности. Для зданий с мокрым режимом эксплуатации теплопроводность слоя теплоизоляции принималась по параметрам «А» [1, табл. 5.2, с. 5], что обеспечивало эксплуатацию утеплителя в самом эффективном режиме.

В Республике Беларусь активное применение вентфасадов началось более 20 лет назад. По способу обеспечения вентилирования воздушной прослойки применяемые вентфасады можно разделить на два типа:

– тип 1 (вентилируемый фасад со сплошным экраном): вход наружного воздуха осуществляется в нижней части фасада, выход – в верхней; панели экрана стыкуются между собой вплотную;

– тип 2: между отдельными панелями экрана вентфасада имеются зазоры (щели); поступление наружного воздуха внутрь прослойки и выход из нее происходит по всей площади экрана.

– в 2024 году лабораторией строительной теплофизики и инженерных систем зданий (НИИЛСТИСЗ) БНТУ выполнены натурные исследования наружных стен, теплоизолированных по системе «вентилируемый фасад» на объектах различной этажности в г. Минске. Нормативное значение сопротивления теплопередаче для рассматриваемого вида наружных стен составляло $R_{тн} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Характеристики ограждающих конструкций объектов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики наружных стен на объектах исследований

Наименование	Описание	Конструкция наружных стен
Здание 1	Жилой дом восьмизэтажный трехсекционный. Здание каркасного типа	Наружные стены выполнены из кирпича $\delta = 250 \text{ мм}$, утеплены плитами минераловатными толщиной $\delta = 150 \text{ мм}$, с отделкой фасадов по навесной фасадной системе с воздушным зазором – вентилируемый фасад (тип 2) и с участками легкой штукатурной системой. Ветрозащитная пленка не предусмотрена
Здание 2	Административно-торговое здание, двухэтажное	Наружные стены выполнены из кирпича $\delta = 510 \text{ мм}$, утеплены плитами минераловатными толщиной $\delta = 100 \text{ мм}$, с отделкой фасадов по навесной фасадной системе с воздушным зазором – вентилируемый фасад (тип 1). Ветрозащитная пленка не предусмотрена
Здание 3	Административное здание, двухэтажное	Наружные стены выполнены из кирпича $\delta = 380 \text{ мм}$, утеплены плитами минераловатными толщиной $\delta = 120 \text{ мм}$, с отделкой фасадов по навесной фасадной системе с воздушным зазором – вентилируемый фасад (тип 1) и с участками легкой штукатурной системы. Ветрозащитная пленка предусмотрена

На объектах были оборудованы измерительные участки и определены значения сопротивления теплопередаче наружных стен. Результаты представлены в табл. 2–4.

Максимальные значения сопротивления теплопередаче участков наружных стен с системой «вентфасад» не превысили $1,97 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, в то время как для участков наружных стен этого же здания с легкой штукатурной системой значение составило $2,65 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормативном значении сопротивления теплопередаче $R_{тн} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Таким образом, максимальные

значения сопротивления теплопередаче участков стен с системой «вентфасад» составляют 62 %, а приведенного сопротивления теплопередаче 58 % от нормативного значения. Для стен с легкой штукатурной системой значения сопротивления теплопередаче таких участков составляет 83 % от нормативного.

Таблица 2

Результаты натурных исследований сопротивления
теплопередаче наружных стен здания 1

Описание ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$		
	максимальное для участка	минимальное для участка	приведенное для стены
Наружная стена квартиры 3 этажа, секция 1 (вентфасад тип 2)	1,83	1,76	1,82
Наружная стена квартиры 3 этажа, секция 2 (вентфасад тип 2)	1,97	1,48	1,86
Наружная стена квартиры 5 этажа, секция 3 (вентфасад тип 2)	1,83	1,61	1,78
Наружная стена квартиры 2 этажа, секция 2 (легкая штукатурная система)	2,65	1,09	2,16

Таблица 3

Результаты натурных исследований сопротивления
теплопередаче наружных стен здания 2

Описание ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$		
	максимальное для участка	минимальное для участка	приведенное для стены
Наружная стена 1-го этажа (вентфасад тип 1)	2,34	1,95	2,13

Также необходимо учитывать, что здание 1 является вновь построенным объектом, т. е. находится в стадии просушки – строительная и технологическая влажность материалов конструкций стен со штукатурной системой значительно выше, чем для стен с системой «вентфасад», а минераловатный утеплитель для стен с системой «вентфасад» имеет влажность близкую к эксплуатационным значениям.

Максимальное значение сопротивления теплопередаче участка стен с системой «вентфасад» составляют 73 %, а приведенного сопротивления теплопередаче 66,5 % от нормативного значения. Здание 2 так же, как и зда-

ние 1, находится в стадии просушки конструкций. Следует принять во внимание, что для здания 2 проектная организация при проведении расчета сопротивления теплопередаче наружных стен не учитывала термическую неоднородность от дюбелей крепления минераловатного утеплителя и от конструкции каркаса вентфасада.

Таблица 4

Результаты натурных исследований сопротивления
теплопередаче наружных стен здания 3

Описание ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$		
	максимальное для участка	минимальное для участка	приведенное для стены
Наружная стена 1-го этажа (вентфасад тип 1 с ветрозащитной пленкой)	3,12	2,70	2,93
Наружная стена 1-го этажа (легкая штукатурная система)	3,49	2,92	3,22

Максимальное значение сопротивления теплопередаче участка стен с системой «вентфасад» составляет 97,5 %, а приведенного сопротивления теплопередаче 91,5 % от нормативного значения (табл. 5).

Таблица 5

Отклонение результатов определения сопротивления
теплопередаче от нормативного значения

Объект	Значения сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			Фактическое сопротивление теплопередаче в % от нормативного	
	максимальное для участка	минимальное для участка	приведенное для стены	максимальное для участка	приведенное для стены
Здание 1	1,97	1,48	1,86	61,5	58,1
Здание 2	2,34	1,95	2,13	73,0	66,5
Здание 3	3,12	2,70	2,93	97,5	91,5

Выполнен расчет температурных полей конструкций наружных стен для расчетных условий: температура наружного воздуха минус 24 °С, внутреннего 18 °С, а также для условий проведения измерений. На основе результатов расчета составлена табл. 6, отображающая значения температуры на стыке «кирпичная стена – теплоизоляция» и разность между температурой наружного воздуха и температурой на стыке «кирпичная кладка – теплоизоляция».

Как следует из табл. 6, прогнозируемое значение сопротивления теплопередаче стен для здания 3 должно было находиться между значениями для зданий 1 и 2, однако этого не произошло. Причиной тому является наличие в составе конструкции венфасада здания 3 ветрозащитной пленки, которая является существенной преградой для конвективного теплопереноса между воздухом на границе «кирпичная стена – теплоизоляция» и наружным воздухом.

Для зданий 1 и 2 разница значений приведенного сопротивления теплопередаче (здание 1: 1,86 м²·°С/Вт; здание 2: 2,13 м²·°С/Вт) обусловлена различием значений термического сопротивления кирпичной кладки, а также ее влажностью. Т. е. теплоперенос за счет фильтрации и конвекции в слое утеплителя фактически нивелировал различия в толщине слоев наружной теплоизоляции (100 мм для здания 1 и 150 мм для здания 2).

Таблица 6

Данные анализа расчетов температурного поля
конструкций наружных стен

Объект	Значения при расчетных условиях		Значения при условиях проведения измерений	
	температура на границе кирпичной стены и теплоизоляции, °С	перепад между температурой в слое и наружным воздухом, °С	температура на границе кирпичной стены и теплоизоляции, °С	перепад между температурой в слое и наружным воздухом, °С
Здание 1	8,1	32,1	14,2	12,4
Здание 2	13,5	37,5	16,6	17,7
Здание 3	9,8	33,8	9,1	14,4

Минимальные значения сопротивления теплопередаче участков наружных стен в данном случае являются функцией от параметров конструктивных особенностей наружных ограждающих конструкций (например, железобетонные элементы конструкций лоджий или примыкания кирпичной кладки по «косому» углу), расположения анкеров венфасада, и от параметров, описывающих расположение стыков минераловатного утеплителя (участков про-

никновения холодного наружного воздуха в зазоры между наружной теплоизоляцией и капитальной конструкцией наружной стены). Максимальные значения сопротивления теплопередаче отдельных участков относятся к участкам «по глади», которые и дают ориентир перспектив возможной величины сопротивления теплопередаче конструкции.

В стенах с легкой штукатурной системой фильтрационный и конвективный теплоперенос в зазорах между наружной поверхностью капитальной стены и слоем теплоизоляции хоть и присутствует, но имеет значительно меньшую интенсивность, чем в стенах с системой «вентфасад», особенно в случаях отсутствия в последних ветрозащитной пленки.

Необходимо также отметить, что нормативные методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций [1, прил. А, Б, стр. 17–31] не предусматривают учет переноса теплоты за счет конвекции и фильтрации внутри конструкций.

Важность устройства ветрозащитных пленок в вентилируемых фасадных системах подчеркивается и другими исследованиями. Лабораторией строительной физики ГБУ «ЦЭИИС» (г. Москва) осуществлялись комплексные инструментальные обследования 82 зданий различных типов. В числе обследованных зданий представлены объекты с конструкциями стен и покрытий практически всех наиболее распространенных и применяемых решений в современной строительной практике застройки Москвы. В том числе проведены приборные исследования 30 зданий с вентилируемым фасадом. Результаты обследований показали снижение приведенного сопротивления теплопередаче стен зданий с вентилируемым фасадом к проектным значениям на 8,9–53,5 % [2, табл. 2, с.4].

В 2004–2010 годах в рамках хоздоговорных работ НИИЛСТИСЗ БНТУ выполнены натурные исследования на эксплуатируемых объектах различной этажности в г. Минске, теплоизолированных по системе «вентилируемый фасад». Капитальные стены зданий, преимущественно, были представлены толщиной 510 мм с наружным теплоизоляционным слоем из минераловатных плит толщиной 60–80 мм. На объектах были использованы теплоизоляционные материалы с различной защитой поверхности от возникновения фильтрации воздуха. В большинстве случаев это были минераловатные плиты с наружным уплотненным ветрозащитным слоем или укрытием теплоизоляции ветрозащитными пленками с конструкцией экрана по типу 1. Исследования выявили, что минераловатные плиты, имеющие волокнистую структуру и используемые в качестве теплоизоляции в вентилируемых фасадах, не являются существенным препятствием для перемещения воздуха, которое происходит в виде продольных и поперечных потоков внутри слоя теплоизоляции, подосновы и/или между ними (в стыках между плитами утеплителя, в зазоре между плитами утеплителя и стеной).

Фильтрация холодного воздуха в слое утеплителя ухудшает теплозащитные качества и снижает значение приведенного сопротивления теплопередаче стены на 10–20 % даже при наличии ветрозащитных покрытий. Нормативные значения сопротивления теплопередаче на тот момент составляло $R_{тн} = 2,0\text{--}2,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, и, как видно, повышение его до $3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ не решило обозначенных проблем.

Значительно пониженные значения сопротивления теплопередаче наружных стен зданий с системой вентилируемого фасада обусловлены завышенными проектными ожиданиями теплозащитных характеристик. Обусловлено это главным образом конвективным теплопереносом между воздухом на границе «капитальная стена – теплоизоляция» и наружным воздухом. Прямым подтверждением этому являются результаты натурного определения сопротивления теплопередаче стен с легкой штукатурной системой теплоизоляции.

Как показано выше, применение ветрозащитных пленок в конструкции вентфасадов зданий является объективной необходимостью. При выборе способа устройства ветрозащиты следует обратить внимание на условия эксплуатации применяемых пленок:

- в вентфасадах типа 1 ветрозащитные пленки полностью закрыты от солнечного облучения по всей площади поверхности вентфасада;
- в вентфасадах типа 2 ветрозащитные пленки открыты для солнечного облучения по всем стыкам панелей экрана вентфасада.

Таким образом, ветрозащитные пленки для вентфасадов типа 2 должны обладать стойкостью к солнечному облучению и не разрушаться в течение всего периода эксплуатации вентфасадов.

Наружные поверхности кладки стен, выполненных из керамзитобетонных блоков, поризованной керамики и других материалов с высокой воздухопроницаемостью, должны в обязательном порядке оштукатуриваться перед креплением конструкций вентфасадов и наружной теплоизоляции. В противном случае процесс фильтрационного и конвективного теплопереноса распространится и на эти элементы конструкций, что, приведет не только к значительному снижению сопротивления теплопередаче, но и к возникновению на внутренних поверхностях наружных стен обширных участков с пониженными температурами.

Литература

1. Строительная теплотехника = Будаўнічая цеплатэхніка : СП 2.04.01-2020. – Взамен ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) ; введ. 20.01.2021. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2020. – 76 с.
2. Крышов С. И. Оценка соответствия нормативных, проектных и фактических теплотехнических показателей вводимых в эксплуатацию строительных

УДК 696+697

Сизов В. Д., Якимович Д. Д., Черванева Е. А., Лешкевич В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью исследований являлось определение удельных потерь на трение для пяти типоразмеров полимерных труб (тип 16, тип 20, тип 25, тип 32 и тип 40) при движении в них воды с температурой 20 °С и 80 °С.

74

При выполнении исследований с температурой воды 80 °С трубопроводы теплоизолировались мягким минераловатным плитным утеплителем.

Места расположения измерительных сечений I и II выбирались с учетом требований [1, раздел 6, стр. 8] из условия стабилизации потока жидкости на прямолинейном участке после прохождения местного сопротивления (сечение I) и до местного сопротивления (сечение II).

По результатам исследований получены зависимости удельных потерь давления от скорости движения воды, представленные на рис. 2.

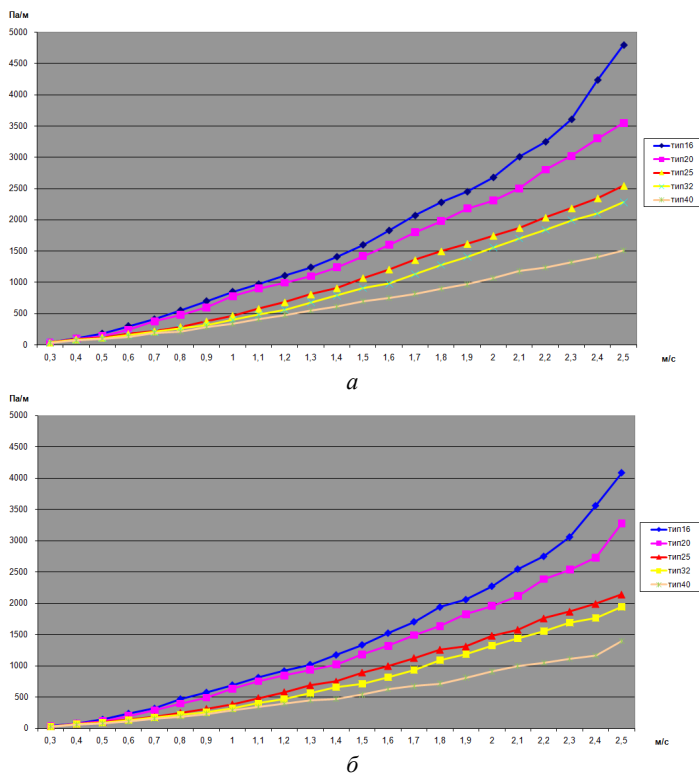


Рис. 2. Удельные потери давления по длине
в трубопроводах при температуре воды:
 $a - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $б - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Традиционно данные об удельных потерях давления в трубопроводах представляются в виде номограмм. На основе данных, полученных в ходе описанных экспериментов построены номограммы, которые могут быть использованы для определения удельных потерь давления с целью последующего их применения в инженерной практике (рис. 3).

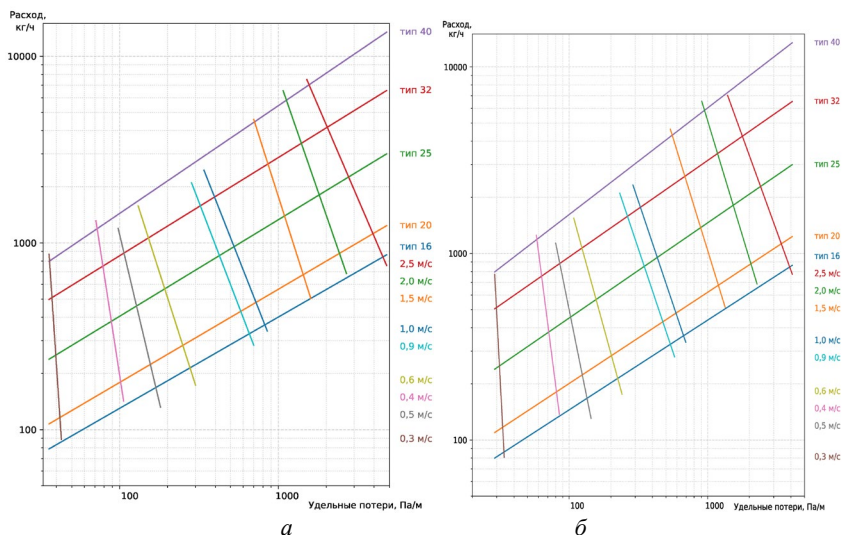


Рис. 3. Удельные потери давления для труб тип 16, тип 20, тип 25, тип 32 и тип 40 воды при температуре воды:
а – 20 °С; б – 80 °С

Анализ полученных данных показал, что для трубопроводов тип 16, тип 25 и тип 32 удельные потери давления по длине при движении воды с температурой 80 °С на 15–21 % ниже, чем при движении воды с температурой 20 °С. Для трубопроводов тип 20 и тип 40 потери давления по длине при движении воды с температурой 80 °С на 8–21 % ниже, чем при движении воды с температурой 20 °С.

Литература

1. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Трубы Вентури. Технические требования. = Дзяржаўная сістэма забеспячэння адзінства вымярэнняў. Вымярэнне расходу і колькасці вадкасцяў і газаў з дапамогай стандартных звужаючых прылад. Трубы

Вентуры. Технічний патрабаванні : ГОСТ 8.586.4-2005 (ISO 5167-4:2003). – Введ. 01.09.2007. – Минск : БелГИСС : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2007. – 32 с.

УДК 697.3/4

**Разновидности теплоступлений в тоннель метрополитена
города Минска как фактор обуславливающий
температурный режим тоннеля**

Белениник О. И.^{1, 2}, Кононов Д. А.^{1, 2}, Сизов В. Д.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены особенности формирования температурного режима в подземных сооружениях, виды теплоступлений в тоннели Минского метрополитена, роль тоннельной вентиляции в формировании температурного режима тоннелей метрополитена.

Метрополитен является самым эффективным видом общественного транспорта для крупных городов. Он отличается высокой скоростью, регулярностью движения маршрутных поездов и большой провозной способностью.

Линии Минского метрополитена прокладываются в подземных тоннелях, на мелком заложении от поверхности земли и имеют особенности формирования температурного режима. Для людей, находящихся на станциях и в тоннелях метрополитена, необходимо создавать комфортные температурные условия. Для этих целей используются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, ключевую роль из которых занимает тоннельная вентиляция.

Особенности формирования температурного режима в тоннелях Минского метрополитена. Температура внутреннего воздуха в тоннелях и на станциях метрополитена зависит от температуры атмосферного воздуха и от глубины заложения подземного сооружения. Минский метрополитен является метрополитеном мелкого заложения и изменения температуры атмосферного воздуха значительно влияет на воздушную среду тоннелей и станций. Самыми главными отличиями формирования температурного режима в подземных сооружениях являются:

а) характер теплообмена с окружающей средой. В наземных объектах такой средой является атмосферный воздух, а в подземных сооружениях

мелкого заложения окружающей средой является массив грунтовых пород с переменной температурой. Поэтому теплопотери в наземных сооружениях можно считать постоянными во времени и зависящими от разности температур внутреннего и наружного воздуха, а теплопотери в подземных сооружениях необходимо рассчитывать для двух этапов: для периода прогрева массива грунта и ограждающих конструкций; для периода стационарного режима;

б) отсутствует инфильтрация воздуха через ограждения. Воздухообмен происходит только за счет естественной и механической вентиляции. Соответственно температурный режим определяется параметрами подаваемого воздуха и интенсивностью процессов тепломассобмена с массивом грунта [2, с. 13].

Система вентиляции тоннелей метрополитена предусматривается для разбавления выделяющихся в них вредных веществ (тепло, влага, пыль, газы и др.), а также поддержания на станциях заданных метеорологических условий и химического состава воздуха [1, с. 32]. Основная часть вредных веществ, поступающих в тоннель метрополитена – это тепловыделения от поездов, оборудования, электрических кабелей, людей и т. д. Рассмотрим подробнее поступающие в тоннель тепловыделения.

Тепловыделения в тоннелях Минского метрополитена. Самыми значительными тепловыделениями в тоннель являются тепловыделения от тяговых электродвигателей подвижных составов поездов. Их доля составляет 50 % от общих теплоступлений [4, с. 9].

Количество теплоты от тяговых электродвигателей подвижного состава рассчитываются по выражению:

$$Q_1 = 864 n_{\text{ваг}} N_{\text{уд}} L_{\text{пер}} (G_{\text{ваг}} + G_{\text{пас}} \cdot n_{\text{пас. ваг}}) 2 n_n,$$

где 864 – тепловой эквивалент 1 кВт электрической энергии, ккал/кВт·ч; 2 – значение парности поездов; n_n – число пар поездов, движущихся по трассе в час; $n_{\text{ваг}}$ – число вагонов в поезде; $N_{\text{уд}}$ – удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на движение поездов и потери в токоведущем рельсе, кВт/т·км; $L_{\text{пер}}$ – длина перегона участка, км; $G_{\text{ваг}}$ – масса одного вагона, т; $G_{\text{пас}}$ – средняя масса одного пассажира, т; $n_{\text{пас. ваг}}$ – расчетное количество пассажиров в вагоне.

Значения n_n , $n_{\text{ваг}}$ и $n_{\text{пас. ваг}}$ принимаются на основании специальных расчетов пропускной способности и пассажиропотока проектируемого метрополитена при его перспективном развитии и для первого периода эксплуатации (10 лет) [1, с. 69].

В Минском метрополитене используются 3 вида пятивагонных подвижных составов: составы типа 81-717/714 производства АО «Метровагонмаш»

и ЗАО «Вагонмаш», типа Stadler M110/M111 производства ЗАО «Штадлер Минск» и типа «Минск-2024» произведенный АО «МЕТРОВАГОНМАШ» специально для Минского метрополитена. Каждый состав имеет отличные друг от друга технические характеристики и, соответственно, тепловыделения, что необходимо учитывать при расчете тепlopоступлений.

Количество теплоты от пассажиров:

$$Q_2 = q_n n_{\text{пас.уч.}}$$

где q_n – полное количество теплоты, выделяемое одним человеком, ккал/ч; $n_{\text{пас.уч.}}$ – расчетное количество пассажиров на участке.

Количество теплоты от освещения, стационарного энергетического и вентиляционного оборудования:

$$Q_3 = 864(2n_n n_{\text{ф}} N_{\text{ф}} ((L_{\text{пер}} - l_{\text{ст}}) / v_n + t_{\text{ст}}) + N_{\text{осв.ср}} + N_{\text{энерг.обор}} + N_{\text{вент}}),$$

где $n_{\text{ф}}$ – число фар в поезде; $N_{\text{ф}}$ – мощность электролампы одной фары поезда; $l_{\text{ст}}$ – длина платформы станции, км; v_n – средняя эксплуатационная скорость движения по перегону, км/ч; $t_{\text{ст}}$ – продолжительность стоянки поезда на платформе, ч; $N_{\text{осв.ср.}}$ – количество энергии переходящее в тепло от электроосвещения станций и перегонов, кВт; $N_{\text{энерг.обор}}$ – количество энергии стационарного энергетического оборудования, кВт; $N_{\text{вент}}$ – потребляемая мощность электродвигателей систем тоннельной вентиляции работающих на приток, кВт.

Значительную роль в формировании температурного режима играют тепlopоступления из грунта в тоннель в холодный период года и тепlopоступления из тоннеля в грунт в теплый период года. На рис. 1 представлена схема тепlopоступлений для теплого периода года, а на рис. 2 – схема тепlopоступлений для холодного периода года.

Очень важно, чтобы грунтовый массив не переохлаждался и не перегревался. Процесс теплообмена между грунтом и воздухом в тоннеле является нестационарным и зависит от множества факторов: видов грунтов и ограждающих конструкций тоннелей и их теплофизических характеристик; от количества тепловыделений в тоннелях, которые различны в различные периоды суток; от толщины прогрева грунтового массива за ограждающими конструкциями тоннеля; от аккумулирующей способности грунтов и т. д.

От влажности, температуры, пористости и структуры материала зависит его теплопроводность.

Структура ограждающих конструкций тоннелей неоднородна, так как заделка стыков между тубингами производится быстросхватывающейся

уплотняющей смесью, характеристики которой отличны от железобетона и чугуна. Отличные характеристики имеют и болты крепления тубингов, резиновые прокладки, свинцовая проволока.

Многообразие факторов, влияющих на теплофизические характеристики материалов, требует экспериментального их определения в каждом отдельном случае для конкретных грунтов и строительных конструкций.

Сложнее обстоит дело с определением теплофизических характеристик грунтов, окружающих тоннельные сооружения. Они зависят от типа грунта, его структуры, пористости, влажности, температуры, льдистости и засоленности и изменяются в широком диапазоне.

Для решения данной задачи необходимо проводить экспериментальные исследования теплофизических свойств грунтов в г. Минске [3, с. 82–83].

Роль тоннельной вентиляции в формировании температурного режима в метрополитене. Задачей тоннельной вентиляции является обеспечение комфортной температуры воздуха на пассажирских платформах метрополитена. В холодный период года воздух проходя через тоннель подогревается за счет ассимиляции теплопоступлений в тоннель, а в теплый период года – охлаждается за счет теплоотдачи в грунт.

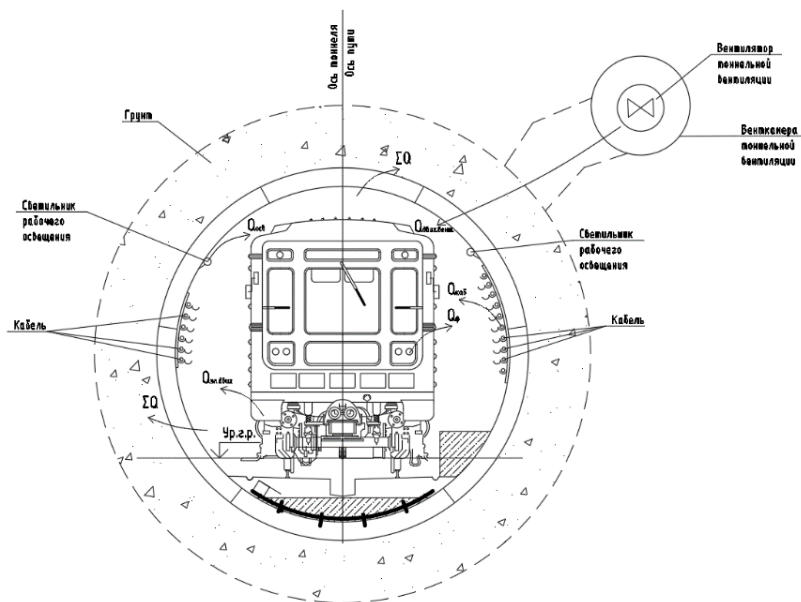


Рис. 1. Схема теплопоступлений в тоннель в теплый период года

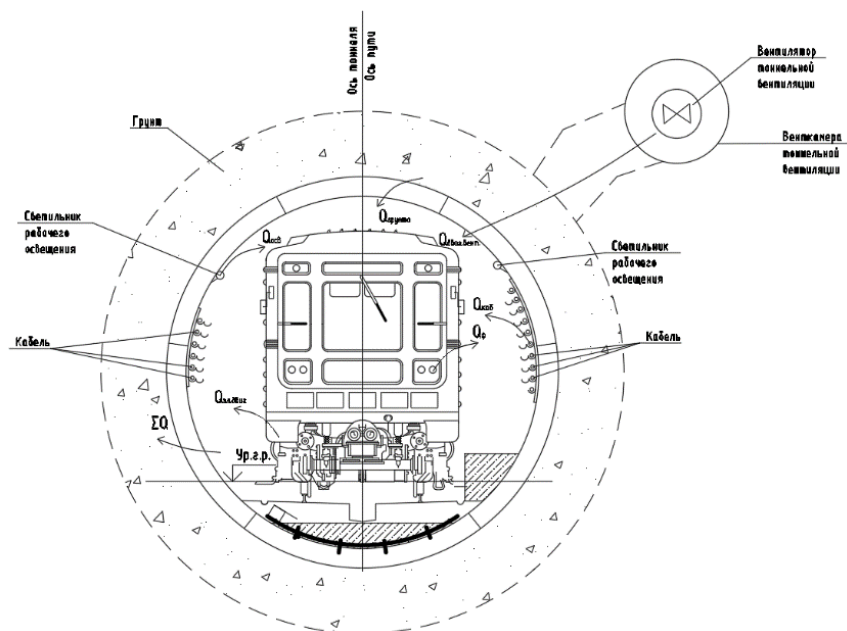


Рис. 2. Схема тепlopоступлений в тоннель в холодный период года

Расчетный объем вентиляционного воздуха на 1 м.п трассы рассчитывается по выражению:

$$L = \frac{Q_{изб}}{cp(t_{ст} - t_r) + rm} ,$$

где $n_{ф}$ – количество теплоизбытков на 1 м.п. тоннеля, ккал/час; c_v – теплоемкость воздуха, ккал/(кг·К); γ_v – удельный вес воздуха, кг/м³; $t_{ст}$ – конечные температуры вентиляционного воздуха, °С; t_r – расчетная температура наружного воздуха, °С; r – удельная теплота парообразования воды, ккал/(кг·К); m – коэффициент влагопоступлений, (г/м³) м.

Из выражения видно, что для поддержания требуемой температуры воздуха необходимо правильно рассчитать избыточные тепlopоступления, которые непостоянные во времени.

Минский метрополитен является подземным сооружением с отсутствием инфильтрации воздуха, поэтому важно правильно вентилировать

тоннели и станции с помощью механических систем вентиляции. От тоннельной вентиляции в большой степени зависит температурный режим на пассажирских платформах станций.

Таким образом необходимо правильно и точно рассчитывать воздухообмен тоннельной вентиляции для теплого и холодного периодов года. Для корректного выполнения данной задачи необходимо более подробно изучить процесс теплопереноса из тоннеля в грунт и обратно.

Литература

1. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1975. – 568 с.
2. Сухов В. В. Формирование параметров микроклимата в подземных пешеходных переходах: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Сухов Вячеслав Васильевич. – Н. Новгород, 2009. – 194 с.
3. Белениник, О. И. Структура и виды ограждающих конструкций тоннелей Минского метрополитена и их теплофизические характеристики / О. И. Белениник, Д. А. Кононов, В. Д. Сизов // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 17–18 окт. 2024 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2024. – С. 78–84.
4. Красюк, А. М. Вентиляция метрополитенов / А. М. Красюк, И. В. Лугин. – Новосибирск : Наука, 2019. – 316 с.

УДК 622.691.4: УДК 620.193.01

Почвенно-грунтовые факторы процесса коррозии стального подземного трубопровода

Романюк В. Н.¹, Струцкий Н. В.², Свистун А. Л.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²Государственное предприятие «НИИ Белгипрогаз»

Минск, Республика Беларусь

Почвенная среда создает условия, наиболее благоприятные для электрохимической коррозии. Электрохимическая коррозия возникает в результате взаимодействия металла газопровода, который выполняет роль электродов, с агрессивной средой грунта, выполняющей роль электролита. Металл газопровода испускает в грунт свои положительно заряженные ионы, в результате чего металл приобретает отрицательный потенциал.

В силу физико-химической неоднородности металла и грунта, где протекает процесс растворения металла, по длине газопровода располагаются участки, характеризующиеся большей или меньшей упругостью растворения. Первые становятся анодными зонами, а вторые катодными. Катодный участок газопровода приобретает положительный потенциал по отношению к аноду. Электроны перетекают от анода к катоду по металлу газопровода. В грунте происходит перемещение ионов: катионов (заряженных положительно) к катоду, а анионов (заряженных отрицательно) к аноду. Металл корродирует на участках в анодных зонах, так как в них наблюдается выход ионов металла в грунт.

В результате электрохимической коррозии происходит как образование нерастворимых продуктов (ржавчины), так и растворение металла в электролите.

Если механизм почвенной коррозии определяется электрохимической гетерогенностью (неоднородностью) на границе раздела «металл-внешняя среда», то сама эта неоднородность в свою очередь складывается из неоднородности металла (химической, структурной и др.) и неоднородности внешней среды. При этом степень гетерогенности вмещающей среды при подземной прокладке стального газопровода неизмеримо выше, чем у материала трубы, вследствие чего именно почвенно-грунтовые факторы определяют протекание процесса коррозии и требуют изучения в первую очередь. Вместе с тем, отмеченная чрезвычайная изменчивость почвенных условий одновременно и усложняет задачу их изучения и анализа [16; 17].

На основании информации из зарубежных и отечественных источников ниже в табл. 1 приведены диапазоны изменения перечисленных факторов с указанием авторов источников и механизмов влияния данных факторов на протекание почвенной коррозии.

Традиционно к влияющим на протекание подземной коррозии стальных трубопроводов относят следующие основные факторы: структура грунта; влажность грунта; температура грунта; солевой состав грунтового электролита (в первую очередь, концентрация хлоридов и сульфатов); водородный показатель (pH); воздухопроницаемость, аэрация (содержание кислорода); газовый состав грунта (в первую очередь, содержание углекислого газа); электропроводность грунта; микробиологический состав (наличие сульфатвосстанавливающих бактерий, аэробных серобактерий).

Таким образом, число влияющих на процесс электрохимической коррозии факторов, даже если говорить об основных из них, чрезвычайно велико, к тому же практически все они в различной степени связаны между собой и имеют разнонаправленное взаимное влияние, давая в различных комбинациях различный результат.

Перечислим некоторые взаимосвязи факторов:

– влажность ↔ гранулометрический состав: глина удерживает воду, усиливая коррозию;

– рН ↔ Cl⁻: кислые почвы с высоким содержанием Cl⁻ наиболее агрессивны;

– аэрация ↔ бактерии: низкая аэрация активирует сульфатредуцирующие бактерии.

– удельное сопротивление ↔ солевой состав: высокие концентрации солей снижают сопротивление.

Таблица 1

Основные факторы, влияющие на протекание почвенной коррозии

Параметр	Диапазон изменения фактора	Автор(ы) и источники	Примечание
Температура, °C	1–18 °C	Wasim et al., 2018 [1]; Маскаленко С. С. и др. [2]; Benkhedda F. et al. 2024 [3]; Chung N. T. et al. 2022 [4]; Qi G. et al. 2022[13] [5].	Ускорение коррозии при повышении температуры
Влажность, %	5–95 %	Маскаленко С. С. и др. [2]; Azoor R. et al. 2019 [7], 2018 [6], 2021 [8]	Максимальная коррозия при 30–70%
Удельное сопротивление, Ом·см	100–10000 Ом·см	Маскаленко С. С. и др. [2]; Cervová J. и др. 2015 [9]; Azoor R. et al. 2018 [6], 2021 [8]	< 1000 Ом·см – высокая агрессивность
Кислотность рН /	3,5–9,5	Cervová J. и др. 2015 [9]; Yegorchenko R. et al. 2023 [10]; Amaya-Gómez R. et al. 2021 [11]; Benkhedda F. et al. 2024 [3]; Chung N. T. et al. 2022 [4]	Критичен рН < 5 (кислые почвы) и > 8 (щелочные с высоким содержанием солей)
Бактериальная активность (сульфатредуцирующие бактерии)	0–10 ⁶ КОЕ/г	Маскаленко С. С. и др. [2]; Cervová J. и др. 2015 [9]; Su H. et al. 2019 [12]	Активны при рН 6–8 и низкой аэрации
Хлориды (Cl ⁻)	0–10 000 мг/кг	Cervová J. и др. 2015 [9]; Yegorchenko R. et al. 2023 [10]; Chung N. T. et al. 2022 [4]; Qi G. et al. 2022 [13]	Концентрации >500 мг/кг считаются опасными
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	0–10 ⁴ мг/кг	Cervová J. и др. 2015 [9]; Yegorchenko R. et al. 2023 [10]; Su H. et al. 2019; Qi G. et al. 2022 [13].	Влияют совместно с бактериями
Аэрация	0–21 % (объемная доля O ₂)	Cervová J. и др. 2015 [9]; Azoor R. et al. 2019 [7], 2021 [8].	Высокая аэрация усиливает катодные реакции.

Исходя из этого, все перечисленные выше факторы как правило не учитываются в факторной модели, и важным аспектом становится подходы, применяемые различными исследователями к структурированию и группировке факторов, выявлению их взаимосвязей, выделению ключевых параметров, определяющих итоговое воздействие почвенно-грунтовой среды на коррозионные процессы. Тогда тип почвы может определяться сочетанием некоторых ключевых параметров. Например, агрессивной почвой будет считаться почва с высокой влажностью (60–80 %), низким pH (4–5), высокими концентрации Cl^- (> 1000 мг/кг), содержанием глины > 50 %, наличием сульфатредуцирующих бактерий ($> 10^3$ КОЕ/г).

Подходы к моделированию процесса почвенной коррозии с перечислением программных комплексов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Подходы к моделированию процесса почвенной коррозии
с перечислением программных комплексов

Программ- ный ком- плекс	Авторы	Год	Описание подхода к моделированию
1	2	3	4
COMSOL Multiphysics 5.6, Solid- Works (геометрия)	Yegorchenko R. [10]	2023	Моделирование процесса питтинговой коррозии и механико-электрохимического взаимодействия стальных дегазационных трубопроводов под землей
COMSOL Multiphysics® 5.3	Azoor R. M. [6]	2018	Конечно-элементное моделирование, связывающее электрохимию коррозии (реакции, поляризация, распределение потенциала) и гидрологию почвы (удержание влаги, диффузия кислорода)
COMSOL Multiphysics 5.6 (Corrosion Module)	Кутепов С. Н. [14]	2021	Моделирование процесса коррозионного растрескивания подземных трубопроводов. Используется МКЭ, модель пластичности при малых деформациях, критерий течения фон Мизеса, выражения Тафеля для электрохимических реакций (растворение железа, выделение водорода)
ANSYS	Овчинников И. Г., Бубнов С. А. [15]	2011	Метод конечных элементов (МКЭ). Моделирование нестационарной задачи теплопроводности для определения поля температур, затем решение структурной задачи для расчета напряженно-деформированного состояния толстостенного трубопровода с учетом изменения механических свойств из-за водородной коррозии (описывается параметром химического взаимодействия μ)

В условиях стремительного развития цифровых технологий, в исследованиях почвенной коррозии подземных стальных трубопроводных коммуникаций, с учетом высокой сложности и вариативности коррозионных процессов и почвенной среды как таковой, свое применение находят компьютерные методы, в частности, моделирование в программных средах, реализующих метод конечных элементов (SolidWorks Simulation, ANSYS).

Нейросетевое моделирование – мощный инструмент для анализа и прогнозирования сложного процесса почвенной коррозии, способствующий повышению надежности трубопроводных систем.

Нейросети моделируют сложные взаимосвязи между факторами (рН, влажность, Cl^- , SO_4^{2-} , температура, свойства трубы и т. д.), способны работать с большими данными (эффективно обрабатывают большие объемы диагностической и мониторинговой информации), могут дообучаться при поступлении новых данных, показывают лучшие результаты по сравнению с некоторыми статистическими и экспертными методами.

Выводы

1. Почвенно-грунтовые факторы образуют сложный комплекс воздействий, определяющий коррозию стальных трубопроводов.
2. Ключевыми параметрами являются влажность, аэрация, УЭС, рН, хлор-ионы, микробиологическая активность.
3. Современные методы компьютерного моделирования (МКЭ, ИНС) предоставляют широкие возможности для анализа, прогнозирования и понимания этих процессов.
4. Нейросетевое моделирование – мощный инструмент для анализа и прогнозирования сложного процесса почвенной коррозии, способствующий повышению надежности трубопроводных систем.
5. Применение моделирования необходимо для повышения надежности и долговечности подземных трубопроводов.

Литература

1. Factors influencing corrosion of metal pipes in soils / M. Wasim, S. Shoaib, N. Mubarak [et al.] // *Environ. Chem. Lett.* – 2018. – Vol. 16. – P. 861–879.
2. Маскаленко, С. С. Особенности коррозии магистральных трубопроводов под действием почв и грунтов / С. С. Маскаленко, Е. С. Куликова Е. С. // *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке.* – 2018. – Т. 1. – С. 400–404.
3. Benkhedda, F. Corrosion of API 5L X60 Pipeline Steel in Soil and Surface Defects Detection by Ultrasonic Analysis / F. Benkhedda // *Metals.* – 2024. – Vol. 14, № 4. – P. 388.

4. Chung, N. T. Comparison of Response Surface Methodologies and Artificial Neural Network Approaches to Predict the Corrosion Rate of Carbon Steel in Soil / N. T. Chung, S. R. Choi, J. G. Kim // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2022. – Vol. 169, № 5. – P. 51503.
5. Qi, G. Electrochemical corrosion behaviour of four low-carbon steels in saline soil / G. Qi // *RSC Advances*. – 2022. – Vol. 12, № 32. – P. 20929–20945.
6. Azoor R. M. Coupled electro-chemical-soil model to evaluate the influence of soil aeration on underground metal pipe corrosion / R. M. Azoor // *Corrosion*. – 2018. – Vol. 74, № 11. – P. 1177–1191.
7. Azoor, R. Modelling and testing of optimum soil moisture levels in the corrosion of underground pipelines / R. Azoor, R. Deo, J. Kodikara // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 92. – P. 16002. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/18/e3sconf_isg2019_16002/e3sconf_isg2019_16002.html (дата обращения: 15.03.2025).
8. Predicting pipeline corrosion in heterogeneous soils using numerical modelling and artificial neural networks / R. Azoo, R. N. Deo, B. Shannon [et al.] // *Acta Geotechnica*. – 2021. – Vol. 17, № 4. – P. 1463–1476.
9. Cervová, J. The effect of soil environment on the corrosion of pipeline / J. Cervová, M. Hagarová // *Acta Metallurgica Slovaca*. – 2015. – Vol. 21, № 2. – P. 102–110.
10. Yegorchenko, R. Modeling the corrosive destruction of underground degassing pipelines / R. Yegorchenko, A. Yavorskyi, P. Dyachkov // *Mining Machines*. – 2024. – № 4. – P. 220–230.
11. Amaya-Gómez, R. Statistical Soil Characterization of an Underground Corroded Pipeline Using In-Line Inspections/ R. Amaya-Gómez // *Metals*. – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 292–314.
12. The mutual influence between corrosion and the surrounding soil microbial communities of buried petroleum pipelines / H. Su, S. Mi, X. Peng [et al.] // *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9, № 33. – P. 18930–18940.
13. Electrochemical corrosion behaviour of four low-carbon steels in saline soil / G. Qi, X. Qin, J. Xie [et al.] // *RSC Advances*. – 2022. – Vol. 12, № 32. – P. 20929–20945.
14. Моделирование процесса коррозионного растрескивания подземных трубопроводов / С. Н. Кутепов, А. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев [и др.] // *Чебышевский сборник*. – 2021. Т. 22, № 5 (81). – С. 372–381.
15. Овчинников, И. Г. Применение программного комплекса ANSYS к расчету толстостенного трубопровода, подвергающегося высокотемпературной локальной водородной коррозии / И. Г. Овчинников, С. А. Бубнов // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Математика. Механика. Информатика*. – 2011. – Т. 11, № 3–2. – С. 100–102.

16. Струцкий, Н. В. Организация электрохимической защиты стальных подземных трубопроводов от коррозии в газораспределительной отрасли Республики Беларусь / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – Т. 67, № 3. – С. 257–267.

17. Окоелова, А. А. Экологическое почвоведение и законы экологии: учебное пособие / А. А. Окоелова, В. Ф. Желтобрюхов, Г. С. Егорова. = Волгоград ; ВГАУ-ВолгГТУ, 2017. – 216 с.

УДК 620.98

Моделирование влияния роста доли местных возобновляемых ТЭР на себестоимость производства тепловой энергии

Любчик О. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе рассматривается оптимизация структуры производства тепловой энергии в Республике Беларусь с целью снижения себестоимости, включая увеличение доли местных горючих возобновляемых источников энергии. Целевой функцией является минимум совокупных системных затрат при соблюдении ряда ограничений. Результаты моделирования показывают, что интеграция повышение доли местных возобновляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) позволяет снизить себестоимость производства тепловой энергии.

Снижение затрат на производство электрической и тепловой энергии остается одной из ключевых задач развития энергетического сектора. Достижение этой цели обеспечивается посредством комплекса мероприятий, в том числе, благодаря оптимизации структуры производства энергии.

В качестве основы моделирования была принята концепция энергетических цепочек, отражающих движение энергетических потоков от добычи и импорта энергоресурсов через этапы преобразования энергии, транспортировки и распределения до конечного потребителя [1, с. 5–6; 2, с. 6–7]. Такой подход позволяет комплексно оценивать эффективность проводимой энергетической политики, анализировать и оптимизировать сценарии развития энергетического сектора и модернизации энергосистемы [3; 4; 5, с. 127–131]. Из модели исключены процессы импорта и экспорта электроэнергии. Ключевым принципом построения модели является оптимизация целевой функции при наличии системы ограничений, определяющих допу-

стимое множество решений. Целевая функция позволяет выбрать наилучший вариант в рамках заданных критериев. В исследуемой модели энергосистемы Беларуси в качестве целевой функции используется минимизация совокупных системных затрат с учетом действующих ограничений на элементы энергосистемы.

Стандартный набор ограничений, учитываемых в процессе моделирования, включает баланс энергетических потоков, мощность генерирующего оборудования, прогнозируемый спрос на энергию, объемы импорта топлива, а также технические возможности по передаче, распределению и накоплению энергии. Детальное описание приведено в [5, с. 19–36]. Особое внимание уделено ограничениям на использование местных топливных ресурсов, в особенности, древесного топлива. Помимо физического объема запасов, при моделировании учитываются требования устойчивого природопользования: годовой объем заготовки древесного топлива не должен превышать прирост древесины за вычетом ее части, идущей на производство неэнергетической продукции.

Была произведена оценка теоретического и технически возможного потенциала возобновляемых источников энергии. Доля уже реализованного технически возможного потенциала древесной биомассы по состоянию на 2020 год заключалась в пределах 65–67 %, биогаза – только 1,5–3,5 %.

Необходимость более активной интеграции местных возобновляемых ТЭР в энергетическую систему Беларуси, в первую очередь, обусловлена задачами декарбонизации, диверсификацией источников энергии и поставщиков, а также задачей увеличить долю местных источников энергии в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов. В качестве горизонта расчета был выбран 2030 год.

Недостающие входные данные для моделирования, в том числе экономические характеристики, были заимствованы из проведенных ранее исследований [6, с. 541–542; 7; 8, с. 5; 9, с. 67–68]. При расчете производственной себестоимости тепловой энергии использовались финансовые показатели, приведенные в [10, с. 124], а также учтены текущие и прогнозируемые изменения цен на топливо [10, с. 116–117; 26].

Поскольку данные о стоимости ядерного топлива для Белорусской АЭС в открытых источниках не публикуются и не поддаются достоверному косвенному определению (в отличие от природного газа), в расчетах использовались значения из работы [6, с. 541–542] для новых атомных электростанций (подход 1) и для уже длительно функционирующих мощностей (подход 2). Значения представлены отдельно с указанием используемого подхода. Стоимость ядерного топлива в расчетах принята как неизменная на всем периоде расчета.

Потребление тепловой энергии в стране довольно стабильно и имеет лишь незначительные колебания [11], что отражено и в прогнозе потребления тепловой энергии [12, с. 5]. По этой причине при прогнозировании себестоимости производства тепловой энергии принимаем допущение о том, что суммарное производство тепловой энергии останется постоянным на всем периоде расчета.

В структуру производства тепловой энергии включены электродкотлы, где источником энергии является электроэнергия. В ранее проведенном автором исследовании был сделан прогноз себестоимости производства электроэнергии для различных вариантов комбинации энергоисточников [13, с. 575–577]. Поэтому для расчета работы электродкотлов при различных подходах будет учитываться различная стоимость электроэнергии. Коэффициент полезного действия для электродкотлов принят в размере 98 %.

Итоговая агрегированная себестоимость производства электроэнергии по различным источникам приведена в табл. 1.

Ограниченность технически возможного потенциала древесной биомассы, несмотря на то что этот вид биомассы позволяет произвести тепловую энергию с наименьшей себестоимостью, не позволяет активно внедрять новые энергоисточники. Отношение уже реализованного потенциала топливной древесной биомассы к среднему технически возможному ее потенциалу, как было отмечено выше, в среднем составило в 2020 г. 66 % [15, с. 29].

Биогаз является наиболее дорогим среди топлив для производства тепловой энергии, однако его стоимость имеет тенденцию к снижению, в отличие от других видов топлива. К тому же, получение биогаза для энергетических целей производит косвенный экологический эффект, выраженный в утилизации отходов. Несмотря на экономическую нецелесообразность в настоящее время использования биогаза по сравнению с природным газом, при моделировании было поставлено дополнительное условие о необходимости ежегодно увеличивать производство энергии за счет биогаза.

Результаты расчета производственной себестоимости выработки тепловой энергии с учетом предложенной структуры представлены на рис. 1–2 для подхода 1 и подхода 2 соответственно.

Для сравнения приведена прогнозируемая динамика себестоимости при отсутствии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в структуре производства тепловой энергии (объем производимой тепловой энергии за счет возобновляемых источников энергии заменен на производство за счет котельных, работающих на природном газе). При всех подходах наблюдается рост себестоимости производства тепловой энергии без включения в структуру горючих возобновляемых источников энергии. Как и в случае с производством электроэнергии [13, с. 575–578], наиболее экономически выгодны

варианты с использованием возобновляемых источников энергии, где себестоимость ниже на 2,0–2,8 долл. США/Гкал, чем в вариантах без возобновляемых источников энергии.

Таблица 1

Агрегированная себестоимость производства тепловой энергии,
доллар США/Гкал

Год	Источник					
	ТЭЦ, природный газ	котельные, при- родный газ	энергия биогаза	энергия био- массы	электрокотлы, подход 1	электрокотлы, подход 2
2026	28,32	29,69	34,42	13,35	77,66	47,23
2027	28,81	30,20	34,01	13,42	78,13	47,68
2028	29,08	30,48	33,60	13,48	78,38	47,88
2029	29,18	30,59	33,19	13,55	78,45	47,88
2030	29,27	30,68	32,78	13,62	78,54	47,88

Примечание. Источник: собственная разработка на основе [6–10; 14].

Проведем моделирование и представим результаты в виде табл. 2.

Таблица 2

Структура производства тепловой энергии в Республике Беларусь
по результатам моделирования, тыс. Гкал

Год	ТЭЦ	Электрокотлы	Котельные, природный газ	Биогаз	Древесная биомасса	Суммарное производство	Доля ВИЭ, %
2026	28330	1673	21209	66	6995	58273	12,33
2027	28330	1673	20535	86	7649	58273	13,55
2028	28330	1673	19856	111	8302	58273	14,79
2029	28330	1673	19 170	145	8956	58273	16,08
2030	28330	1673	18473	188	9609	58273	17,41

Примечание. Источник: собственная разработка.

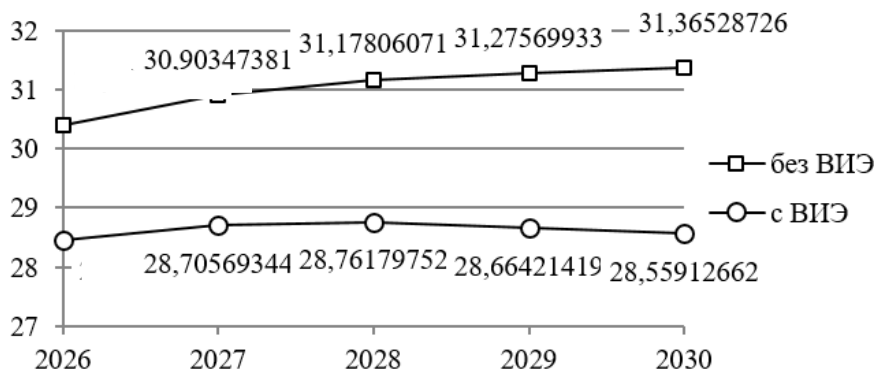


Рис. 1. Себестоимость производства тепловой энергии, подход 1, доллар США/Гкал

Примечание. Источник: собственная разработка

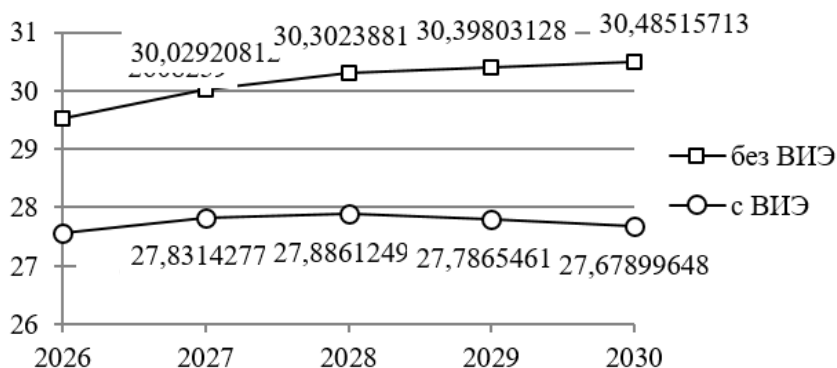


Рис. 2. Себестоимость производства тепловой энергии, подход 2, доллар США/Гкал

Примечание. Источник: собственная разработка

Рост производственной себестоимости тепловой энергии обусловлен несколькими факторами: ростом цен на природный газ, необходимостью использования электрод котлов, как наиболее доступного в существующих условиях средства прохождения ночного минимума и регулирования электрической нагрузки в энергосистеме в целом, а также ограниченностью технически возможного потенциала древесной биомассы – наиболее экономически выгодного источника тепловой энергии в Республике Беларусь.

Дальнейшее развитие возобновляемой энергетики и включения в энергобаланс местных источников энергии будет способствовать повышению уровня устойчивого развития, о чем свидетельствует определенная в исследовании возможность снижения себестоимости производства тепловой энергии, сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу и укрепления энергетической безопасности Республики Беларусь.

Литература

1. Rečka, L. The MESSAGE model description. – URL: https://www.czpcuni.cz/ekonomie/MESSAGE%20description_CUNI.pdf. – (дата обращения: 02.02.2025).
2. Modelling Nuclear Energy Systems with MESSAGE: A User's Guide // International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2016. – 140 p.
3. MESSAGE // Energy Plan. – URL: <https://www.energyplan.eu/other-tools/global/message/> (date of access: 02.02.2025).
4. Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE) // International Institute for Applied Systems Analysis. – URL: <https://webarchive.iiasa.ac.at/Research/ENE/model/message.html> (дата обращения: 03.02.2025).
5. Messner, S. User's Guide for MESSAGE III / S. Messner, M. Strubegger // Laxenburg : International Institute for Applied Systems Analysis, 1995. – 160 p.
6. Разработка методических подходов к повышению энергетической безопасности в рамках концепции устойчивого развития с учетом интеграции возобновляемых источников энергии и АЭС в энергобаланс : отчет о НИР (заключит.) / РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси» ; рук. А. А. Михалевич. – Минск, 2020. – 569 с. – № ГР 20190609.
7. Global Trends // International Renewable Energy Agency. – URL: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/ Costs/Global-Trends> (дата обращения: 06.09.2024).
8. Stacy, Th. S. The Levelized Cost of Electricity Form Existing Generation Resources / Th. S. Stacy, G. S. Taylor // Washington : Institute for Energy Research. – 2016. – 62 p.
9. Зорина, Т. Г. Интеграция возобновляемых источников энергии в структуру энергопроизводства Республики Беларусь: сценарное моделирование / Т. Г. Зорина // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 1(21). – С. 66–79.
10. Обзор сектора электро- и теплоэнергетики в Республике Беларусь: отчет о НИР (заключит.) / РУП «БЕЛТЭИ»; рук. Ф. И. Молочко. – Минск, 2018. – 296 с. – № NEEP/CQS/17/01.

11. Любчик, О. А. Анализ существующей структуры производства и потребления тепловой энергии / О. А. Любчик // Молодежь в науке-2021 : тезисы докл. XVIII Международной науч. конф. молодых ученых, Минск, 27–30 сент. 2021 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси ; редкол: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2021. – Ч. 2. – С. 268–271.

12. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года : приложение к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь. – Введ. 25.02.2020. – Минск : Министерство энергетики Республики Беларусь, 2020. – 50 с.

13. Любчик, О. А. Влияние возобновляемых источников энергии на себестоимость производства электрической энергии / О. А. Любчик // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2023. – Т. 66, №. 6. – С. 567–581.

14. Uranium market outlook // UxC. – URL: https://www.uxc.com/p/products/rpt_umo.aspx (дата обращения: 07.09.2023).

15. Любчик, О. А. Использование древесной биомассы в качестве топлива как направление укрепления энергетической безопасности Республики Беларусь: оценка и прогноз потенциала / О. А. Любчик // Агропанорама. – 2021. – № 4. – С. 26–30.

УДК 620.179.16:621.791.05

Применение ультразвуковой дефектоскопии при контроле сварных швов полиэтиленовых газопроводов

Пехота А. Н., Адашкевич С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Показаны актуальность и преимущества ультразвуковой дефектоскопии, а также специфика ее использования при контроле сварных швов полиэтиленовых газопроводов.

Актуальность контроля сварных швов газовых трубопроводов из полиэтилена определяется тем, что к настоящему времени в Республике Беларусь существует настоятельная необходимость замены устаревших стальных распределительных газопроводов, обеспечивающих газом как население, так и промышленные предприятия. При этом в связи с увеличением количества потребителей газа, стремлением газоснабжения максимального числа населенных пунктов, а, соответственно, увеличения протяженности газопроводов и необходимости снижения их себестоимости, обоснованно

встает вопрос об использовании при строительстве газопроводов не стали, а полиэтилена высокой плотности.

Полиэтиленовые трубы составляют до 90–95 % новых газораспределительных трубопроводов в Европе и США. В нашей стране этот процент значительно ниже, но он увеличивается с каждым годом. Полиэтилен, в качестве материала для труб имеет ряд значительных преимуществ, таких как легкий вес, более высокая гибкость и устойчивость к химическому воздействию по сравнению со стальными трубопроводами. Эти трубы также отличаются более прочными соединительными швами, но учитывая тот факт, что полиэтиленовые трубы используются для транспортировки природного газа к густонаселенным коммерческим и жилым объектам, аварии на газовом трубопроводе могут привести к человеческим жертвам и нанести серьезный экономический ущерб [1; 2].

Полиэтиленовые трубы соединяются встык с помощью сварки давлением с сопутствующими прогревом токами высокой частоты. Армированные трубы сочленяются муфтовыми соединениями. В муфту введена нагревательная электрообмотка. При пропускании через нее тока муфта нагревается и по внутреннему диаметру сваривается с концами трубы, образуя сварное соединение [3].

Как известно, основная угроза целостности полиэтиленового трубопровода, помимо повреждения третьей стороной, – плохое качество сварных швов. Ведь именно соединения – это наиболее уязвимое место в любой технической системе. Осевое напряжение или напряжение при изгибе, образовавшиеся в результате теплового расширения или сжатия, или перемещение грунта, длительный срок эксплуатации, воздействие ультрафиолетового излучения, внесение при сварке загрязняющих примесей, а также неправильная обработка свариваемых поверхностей повышают риск повреждения некачественных соединений.

Как следует из вышеизложенного для обеспечения функционирования газораспределительной системы, ее надежности, безопасности и эффективности эксплуатации при снижении нагрузки на окружающую среду вытекает необходимость изучения и/или модернизации существующих и разработки новых методик контроля сварных швов газовых трубопроводов из полиэтилена.

На настоящий момент существует большое количество методик контроля сварных швов, основанных на различных физических и химических принципах. Различают два больших класса: разрушающие и неразрушающие методики контроля. В силу экономических и целого ряда других причин наиболее целесообразным является использование неразрушающих методик контроля сварных швов (радиационная дефектоскопия, магнитная и вихретоковая дефектоскопия и др.). В силу удобства применения, компактности и безопасности использования в отдельную группу относят ультразвуковую методику контроля

сварных швов (ультразвуковая дефектоскопия). Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых волн направленно распространяться в средах и отражаться от границ сред или нарушений сплошности (дефектов), обладающих другим акустическим сопротивлением. В табл. представлены основные характеристики методов ультразвуковой дефектоскопии [3].

В практике контроля качества сварных соединений используют в основном эхо-импульсный метод (или метод эхолокации). Он заключается в озвучивании изделия короткими импульсами I ультразвука и регистрации эхосигналов 3 , отраженных от дефекта к приемнику. Признаком дефекта является появление эхосигнала (импульса) 3 на экране дефектоскопа (рис. 1).

Таблица

Характеристика методов ультразвуковой дефектоскопии

Название	Основа метода	Особенности	Примечание
Эхо-импульсный	Регистрация отраженных эхо-сигналов	Только один преобразователь	Точное определение координат дефекта, глубины и положения
Теневой	Измерение изменения интенсивности отражения сигнала	2 преобразователя	Определение наличия неисправностей
Эхо-зеркальный	Регистрация отражения сигналов в стороны приемника	2 преобразователя для генерации и регистрации по 2 сторонам шва	Поиск дефектов, расположенных перпендикулярно поверхности, трещин
Зеркально-теневой	Пропадание отраженных колебаний	2 преобразователя располагаются на одной стороне шва	Чаще всего применяется для контроля железнодорожных рельсов
Дифракционно-временный	Использование дифракции волн на дефекте, регистрация времени прихода	2 преобразователя располагаются друг напротив друга	Швы любой сложности, точное определение размеров дефекта

В некоторых случаях ультразвуковой контроль целесообразно осуществлять теневым (рис. 2) или зеркально-теневым методом.

При теневом методе признаком дефекта является уменьшение амплитуды сигнала 4 , прошедшего от излучателя к приемнику. Теневой метод позволяет использовать не импульсное, а непрерывное излучение (рис. 2). Признаком дефекта при зеркально-теневом методе является уменьшение амплитуды сигнала 2 (рис. 1), отраженного от противоположной (донной) поверхности изделия.

На рис. 3 представлен внешний вид современного ультразвукового дефектоскопа Smartor SIUI. Цифровой ультразвуковой дефектоскоп Smartor предназначен для ультразвукового контроля поверхностных и внутренних дефектов металлических и неметаллических материалов в промышленных областях. Основные достоинства прибора:

- компактный размер: 198 мм (Ш)×128 мм (В)×52 мм (Г);
- большой экран: 5,7-дюймовый ЖК-дисплей высокой яркости с разрешением 640×480 пикселей, обновляется аппаратным обеспечением;
- прост в эксплуатации: всего несколько кнопок, четко определенный интуитивный интерфейс, поддержка право-ориентированного и лево-ориентированного режима, защищенный режим для работы вне помещения;
- малый вес: вся система – всего 0,9 кг, включая батарею;
- обработка передачи/приема коммуникационным процессором – регулируемая длительность импульса с отрицательной квадратурой излучения, амплитуда до 350 В; диапазон рабочих частот 0,1–20 МГц, выбор из нескольких широкополосных и узкополосных фильтров;
- многофункциональность: мастера настройки для работы со сварными швами, пластинами и поковками.

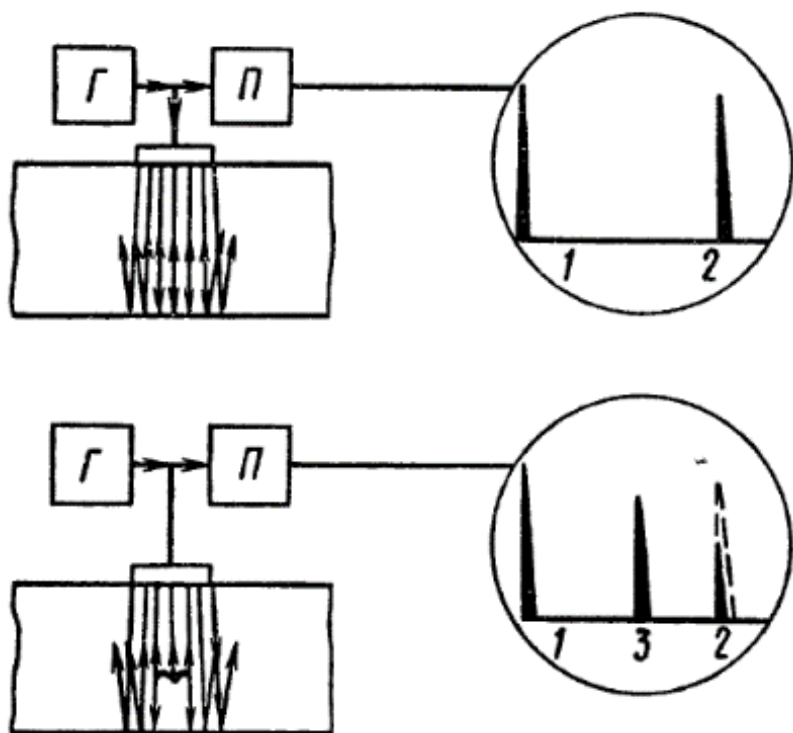


Рис. 1. Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным методом:
Г – генератор зондирующих импульсов; П – приемник

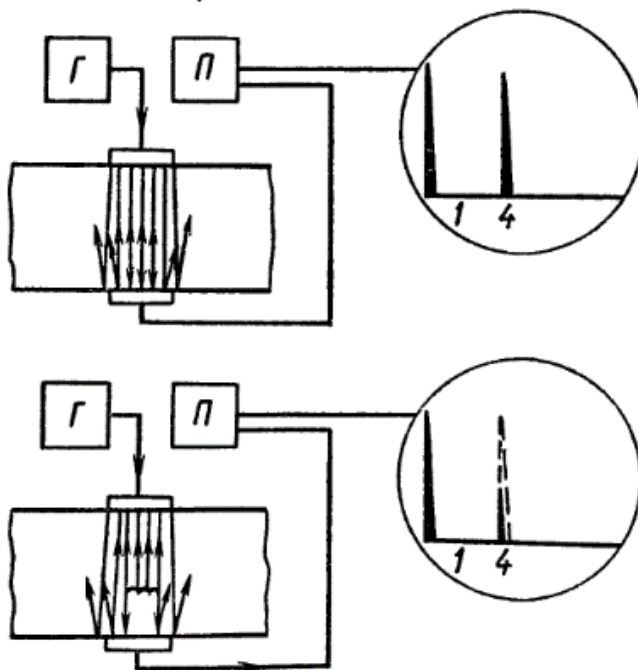


Рис. 2. Схема ультразвукового контроля теньвым методом:
Г – генератор зондирующих импульсов; П – приемник

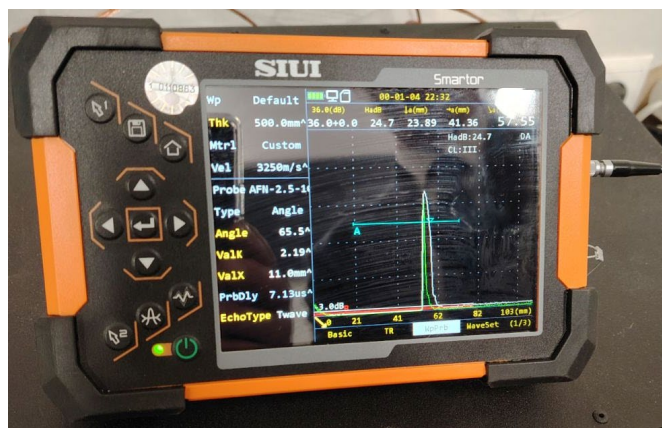


Рис. 3. Внешний вид ультразвукового дефектоскопа Smartor SIUI

Итак, к основным преимуществам ультразвуковой дефектоскопии относятся высокая чувствительность, мобильность аппаратуры, оперативность в получении результатов, низкая стоимость контроля, отсутствие радиационной опасности. Метод широко распространен в промышленности для выявления дефектов: трещин, непроваров, шлаковых и других включений в сварных швах толщиной от 1,0 до 2800 мм. Например, в энергомашиностроении, судостроении, химическом машиностроении, газовой и других отраслях промышленности ультразвуковая дефектоскопия является основным методом неразрушающего контроля ответственных сварных швов как при их изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Вместе с тем, спецификой полиэтиленовых конструкций является низкая скорость и очень большое затухание волн в материале. Это приводит к необходимости разработки и сертификации нормативной документации для корректной интерпретации практических данных, получаемых с помощью ультразвуковых дефектоскопов при контроле сварных швов полиэтиленовых газопроводов.

Литература

1. Каргин, В. Ю. Полиэтиленовые газовые сети / В. Ю. Каргин, А. И. Бухин. – М. : Академия, 2002. – 400 с.
2. Howard, A. Second Edition of AWWAM55 HDPE Pipe / A. Howard, C. Rubeiz // Reston : Pipelines. – 2020. – P 277–287.
3. Щербицкий, В. Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений / В. Г. Щербинский. – СПб. : СВЕН, 2014. – 495 с.
4. Ермолов, И. Н. Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. – М. : Машиностроение, 2004. – 864 с.

УДК 621.644.8; 621.644.01

Анализ методов, применяемых в исследованиях шероховатости материалов

Пехота А. Н., Пристромова К. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Обосновано влияние шероховатостей поверхностей на гидродинамический расчет. Описаны основные методы определения шероховатостей поверхностей. Проведен анализ актуальных зарубежных статей.

Шероховатость поверхности является одним из ключевых параметров, влияющих на гидродинамические характеристики потоков жидкости. Она опреде-

ляется как отклонение профиля поверхности от идеальной гладкой линии. Шероховатые поверхности могут значительно изменить поведение жидкости, проходящей по ним, что, в свою очередь, влияет на такие параметры, как скорость потока, давление, сопротивление и другие важные характеристики.

В гидравлических расчетах шероховатость играет критическую роль. Чем более шероховатой является поверхность, тем больше энергозатрат требуется для преодоления сопротивления, возникающего при движении жидкости. Это особенно актуально для инженерных систем, таких как трубопроводы, каналы и насосные установки, где оптимизация расхода энергии и обеспечение эффективной работы системы являются ключевыми задачами.

Изучение влияния шероховатостей на гидродинамические характеристики имеет важное значение для проектирования и эксплуатации различных гидравлических систем. Понимание этих процессов позволяет более точно моделировать поведение жидкости, что в свою очередь помогает минимизировать затраты и повысить эффективность работы систем.

Существует несколько методик определения шероховатости поверхностей, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее распространенные методы включают:

- контактные методы: использование профилометров для измерения шероховатости. Эти устройства могут точно измерять высоту и глубину неровностей на поверхности, что позволяет получить детальные характеристики шероховатости. Однако они требуют прямого контакта с поверхностью, что может быть ограничением для некоторых материалов;
- бесконтактные методы: включают лазерные сканеры и оптические системы, которые позволяют получать данные о шероховатости без физического контакта. Эти методы обеспечивают высокую точность и позволяют проводить измерения на сложных геометрических поверхностях;
- статистические методы: основаны на анализе значений шероховатости, полученных из большого числа измерений. Эти подходы часто используются для обработки данных и получения обобщенных характеристик шероховатости.

Каждый из этих методов имеет свои особенности и может быть применен в зависимости от конкретных условий и требований исследования. В современной науке уделяется особое внимание развитию новых методов и усовершенствованию существующих технологий для более точного и быстрого определения шероховатости. Это позволит не только получать качественные показатели, но и анализировать их с учетом специфики материалов и условий эксплуатации.

Последние исследования в области анализа шероховатости различных материалов и ее влияния на гидродинамические характеристики теплоносителя активно развиваются в рамках междисциплинарных направлений, объединяющих материаловедение, гидродинамику и теплотехнику.

В 2021–2023 годах были опубликованы работы, посвященные экспериментальному и численному исследованию влияния микроскопической шероховатости поверхностей на поточные характеристики жидкостей.

Одним из актуальных направлений является использование современных методов поверхностного моделирования и высокоточного измерения шероховатости с помощью лазерной микроскопии и профилометров. Например, в статье [1] представлена жидкоструйная полировка, которая может решить проблему обработки различных видов оптически структурированных поверхностей. Проводился гидродинамический расчет для моделирования процесса на поверхности V-образной канавки, чтобы продемонстрировать движение потока жидкости. Кроме того, также изучалось и обсуждалось влияние ключевых параметров полировки. Результаты показывают, что данная обработка может значительно улучшить качество оптической поверхности, сохраняя при этом начальную форму при определенных условиях. Это может стать конкурентоспособным методом для прецизионной полировки оптически структурированных поверхностей.

Также значительный интерес вызывают исследования влияния шероховатости на течение в трещинах и в трубопроводах подверженных коррозии [2; 3]. Термин «эффект шероховатости» трещин в данной работе включает в себя влияние различных геометрических параметров, таких как сопряженность, распределение отверстий, пространственная корреляция, площадь контакта и извилистость. В этом обзоре обобщаются и анализируются методы количественной оценки и определения характеристик шероховатости трещин, которые применяются в настоящее время, а также перспективные направления.

Исследования потерь давления на трение в трубопроводах из различных материалов приобретают особую актуальность в связи с появлением новых материалов для трубопроводов, что приводит к изменениям в гидродинамических характеристиках теплоносителя и гидравлическом расчете систем. Повышение точности описания гидродинамического влияния реальной (а не идеализированной) шероховатости становится критичным фактором энергетической и экономической эффективности.

Для проведения таких испытаний понадобится лабораторная установка, основными элементами которой будут являться: термостат, теплоизолированный бак-аккумулятор с электронагревателем воды и погружным термометром, электрический насос, комплект шаровых кранов, счетчики жидкости, шланги подключения с герметичными быстросъемными муфтами (для подключения исследуемых трубопроводов), пьезометры устанавливаемые в измерительных сечениях исследуемого трубопровода, измерительные шкалы для визуальной фиксации высоты расположения менисков в пьезометрах при различных режимах исследований.

Таким образом, понимание и исследование шероховатостей поверхностей открывает новые горизонты для оптимизации гидравлических процессов и систем.

Литература

1. Maskless fluid jet polishing of optical structured surfaces / W. Chunjin, Z. Zhang, C. F. Cheung [at al.] // Precision Engineering. – 2022. – Vol. 73. – P. 270–283.
2. Jungin Lee. Effect of roughness on fluid flow and solute transport in a single fracture: A review of recent developments, current trends, and future research / J. Lee ungin, T. Babadagli // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2021. – Vol. 91, July. – P. 103971.
3. Пехота, А. Н. Коррозия трубопроводов / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталев, К. С. Пристромова // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы международной научно-технической конференции, БНТУ, Минск, 17–18 октября 2024 г. – Минск, 2024. – С. 95–98.

УДК 697.1:697.7:697.9

Практический опыт применения геотермального отопления, вентиляции с рекуперацией и пассивного охлаждения в жилом доме площадью 390 м² (д. Ельница, Республика Беларусь)

Ливанский Д. Г., Позняк И. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрен опыт эксплуатации энергоэффективных инженерных систем в частном жилом доме площадью 390 м², расположенном в деревне Ельница Минской области. Представлены результаты работы геотермального теплового насоса Viessmann мощностью 17,4 кВт. Коэффициент преобразования теплового насоса (COP) зафиксирован на уровне 4,2, что подтверждает высокую эффективность выбранных решений.

В условиях Беларуси, где отопительный сезон длится до 7 месяцев в году, вопросы энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат приобретают особую значимость. Одним из наиболее перспективных решений является применение геотермальных тепловых насосов в сочетании с системами вентиляции, оснащенными рекуперацией тепла. Дополнительным преимуществом таких систем является возможность организации

пассивного охлаждения помещений летом, что повышает комфорт проживания без значительных затрат электроэнергии.

Цель данной статьи – представить результаты практического опыта эксплуатации таких систем на примере жилого дома в деревне Ельница.

Объектом исследования является двухэтажный жилой дом общей площадью 390 м², построенный в 2024 году в деревне Ельница Минской области. Конструктивные решения здания включают (рис. 1):

- наружные стены из газосиликатных блоков толщиной 400 мм с дополнительным утеплением минеральной ватой толщиной 100 мм;
- энергоэффективные окна с двухкамерными стеклопакетами;
- кровля утеплена слоем минеральной ваты толщиной 300 мм.

Расчетные теплопотери здания, выполненные согласно СП 2.04.01-2020, составили 14,8 кВт.

Для отопления и горячего водоснабжения дома установлен геотермальный тепловой насос Viessmann Vitocal 200-G мощностью 17,4 кВт. Геотермальный контур состоит из трех вертикальных скважин глубиной по 100 м каждая. Тепловой насос работает в паре с буферной емкостью объемом 300 л, что позволяет минимизировать количество циклов включения компрессора и продлить срок службы оборудования.

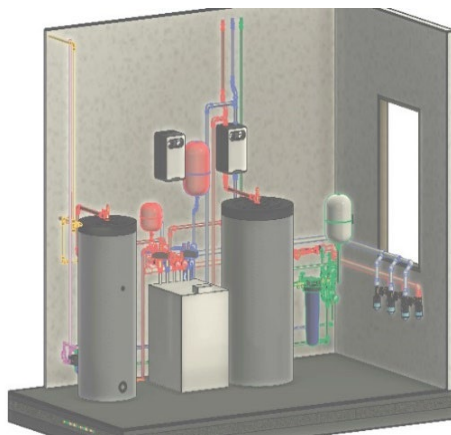


Рис. 1. 3D-вид расположения оборудования в котельной

Горячее водоснабжение реализовано через бойлер косвенного нагрева объемом 200 л с проточным нагревом воды через встроенный теплообменник, что обеспечивает высокую гигиеничность и комфорт.

Отопление дома выполнено системой теплых полов с полиэтиленовыми трубами и стандартными распределительными гребенками.

Для обеспечения качественного воздухообмена и минимизации теплопотерь установлена приточно-вытяжная вентиляционная установка Viessmann производительностью 600 м³/ч. Расчет воздухообмена выполнен по европейской методике, исходя из количества постоянно проживающих в доме людей. Эффективность рекуперации тепла составляет до 92 %, что существенно снижает затраты на отопление.

В летний период реализована система пассивного охлаждения, использующая существующие геотермальные скважины. В теплое время года теплоноситель циркулирует через геотермальный контур, охлаждаясь до температуры грунта (около 8–10 °С), после чего поступает в теплообменник вентиляционной установки. Это позволяет снизить температуру приточного воздуха на 5–7 °С без использования компрессора теплового насоса, что значительно экономит электроэнергию.

В данной системе для охлаждения приточного воздуха в помещения применяется охладитель Systemair CWK 200 (рис. 2), который устанавливается в приточном воздуховоде вентиляционной установки (рис. 3).

Охлажденный в геотермальном контуре теплоноситель поступает в теплообменник охладителя CWK 200, где происходит теплообмен с приточным воздухом. В результате температура поступающего в помещения воздуха понижается, обеспечивая комфортные условия в летний период.

В процессе работы охладителя CWK 200 на поверхности теплообменника образуется значительное количество конденсата, так как температура теплоносителя ниже точки росы приточного воздуха. Для предотвращения накопления влаги и возможного повреждения оборудования предусмотрена система отвода конденсата: собранная вода по специальному дренажу отводится в канализацию. Это обеспечивает бесперебойную и безопасную работу системы охлаждения.

Расчет теплопотерь здания выполнен согласно нормативным документам Республики Беларусь [1; 2] с помощью программы KAN OZC приведены в табл. Для проверки расчетных данных в январе 2025 года проведено тепловизионное обследование здания с использованием профессионального тепловизора НІТ НТ 18 [3].

Эффективность работы теплового насоса оценивалась по коэффициенту преобразования (COP), рассчитанному на основе измерений потребляемой электроэнергии и вырабатываемой тепловой энергии за отопительный сезон 2024–2025 гг.

Тепловизионное обследование подтвердило высокое качество теплоизоляции здания. Фактические теплопотери практически совпали с расчетными значениями (14,8 кВт), что свидетельствует о точности расчетов и качественном выполнении строительных работ.



Рис. 2. Фото охладителя Systemair CWK 200



Рис. 3. Фото обвязки приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуперацией тепла и системой пассивного охлаждения через геотермальный контур

Таблица

Расчетные параметры теплопотерь здания

Показатель	Количество	Единица измерения
Отапливаемая площадь здания A_H	390	м^2
Отапливаемый объем здания V_H	1019,1	м^3
Проектные потери тепла за счет теплопередачи Φ_T	10691	Вт
Проектные потери тепла на вентиляцию Φ_V	4147	Вт
Проектная тепловая нагрузка здания Φ_{HL}	14838	Вт

Средний коэффициент преобразования теплового насоса за отопительный сезон составил 4,2, что является высоким показателем для климатических условий Беларуси и подтверждает экономичность выбранного решения. Следует отметить, что данный показатель был достигнут при параллельном использовании теплового насоса не только для отопления, но и для приготовления горячей воды (ГВС). Если бы тепловой насос использовался исключительно для отопления, без одновременного приготовления ГВС, средний коэффициент преобразования был бы значительно выше и мог бы превышать 5 (рис. 4).

Система пассивного охлаждения летом 2024 года обеспечила снижение температуры приточного воздуха на 5–7 °С по сравнению с наружной температурой, что позволило поддерживать комфортный микроклимат без дополнительных затрат электроэнергии.

Опыт эксплуатации геотермального теплового насоса, системы вентиляции с рекуперацией тепла и пассивного охлаждения в жилом доме площадью 390 м² подтвердил высокую эффективность и экономичность данных решений. Полученные результаты позволяют рекомендовать подобные системы для широкого применения в жилых зданиях Республики Беларусь.



Рис. 4. Фото со схемой работы геотермального теплового насоса: преобразование тепла геотермального контура в систему отопления здания

Литература

1. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Взамен ТКП 45-2.04-43-2006 ; введ. 20.01.2021. – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 77 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Взамен СНБ 4.02.01-03 ; введ. 16.12.2019. – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 52 с.
3. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций : ГОСТ 26629-85. – Введ. 01.07.86. – Минск ; Государственный комитет по делам строительства, 1986. – 16 с.
4. Руководство по проектированию геотермальных систем Viessmann / Viessmann. – М. : Viessmann group, 2020. – 484 с.

УДК 697.352.8

Формирование микроклимата в спальном помещении детского дошкольного учреждения

Ливанский Д. Г., Воробьева А. С., Сокол Д. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассматривается проектное решение радиаторного отопления в спальном помещении детского дошкольного учреждения. С помощью методов математического моделирования температурных и скоростных полей был проведен анализ работы проектного. Рассмотрены особенности распределения параметров микроклимата внутри помещения и предложено решение использовать дополнительный отопительный прибор.

Цель статьи – определить особенности формирования микроклимата в спальном помещении детского дошкольного учреждения при использовании радиаторного отопления, выявить преимущества и недостатки, а также предложить возможные пути их устранения.

Объектом исследования послужило государственное учреждение образования «Ясли-сад № 28» расположенное в городе Минск, в котором была выбрана спальная комната с габаритными размерами 3×5×3 м (рис. 1).

Помещение располагается на первом этаже и имеет две наружных стены с окнами. В проектном решении внутри данного помещения по наружным стенам под окнами (1,4×2 м) расположены радиаторы (0,6×0,5×0,1 м – 1 шт, 0,7×0,5×0,1 м – 2 шт.) В предложенном решении внутри данного помещения по наружным стенам под окнами (1,4×2 м) расположены радиаторы

($0,6 \times 0,5 \times 0,1$ м – 1 шт, $0,7 \times 0,5 \times 0,1$ м – 2 шт) и контур теплого пола (шаг 0,3 м, $dn = 16$ мм, $S = 39,94$ м²).

Предполагается, что по бокам и над помещением располагаются аналогичные спальные и игровые помещения с расчетной температурой воздуха равной $+21$ °С, а под помещением располагается подвал с температурой $+5$ °С. Расчетная температура наружного воздуха холодного периода для г. Минска равна -24 °С. Средняя температура поверхности теплого пола

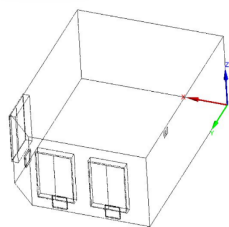


Рис. 1. Расчетная схема помещения

в детских учреждениях принята $+26$ °С. Удаляемый расход воздуха из помещения спальни определен из расчета 1,5 кратного воздухообмена и равен 200 м³/час, компенсация которого осуществляется за счет поступления в помещение равного количества инфильтрующегося воздуха. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных и внутренних ограждающих конструкций принято в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Указанные особенности помещения обуславливают необходимость применения математического моделирования физических процессов тепломассообмена с помощью решения трехмерных дифференциальных уравнений переноса теплоты, сохранения массы, движения, радиационного теплового потока. Решение этих уравнений осуществлялось с использованием универсальной программной системы анализа ANSYS.

Граничные условия для системы вентиляции помещения задаются на основании [1;3] данных о величине инфильтрующегося наружного воздуха и расчетной его температуры в холодный период года.

$$T|_{\text{инф}} = t_{\text{инф}}, w|_{\text{инф}} = w_{\text{инф}}.$$

Теплопоступления от отопительного прибора учитываются как равномерно распределенные источники теплоты по поверхности: $q_{\text{пр}}$.

В результате моделирования получено распределение температуры воздуха в сечении по центру окна, расположенного в наружной стене вдоль оси Y , и представлено на рис. 2.

Как видно из рис. 2, температура по высоте помещения увеличивается по высоте помещения от пола к потолку. При этом изменение температуры составляет примерно 1 °С на метр высоты. Исходя из оценки распределения температуры по сечению, условно помещение можно разделить на три температурные зоны по

1 м: в верхней зоне температура воздуха составляет примерно 20–23 °С, в средней – 18–19 °С, а в нижней – 16–18 °С. Следует отметить, что возрастная категория детей в яслях – от 1 до 3 лет, а средний рост таких детей составляет от 70 до 105 см. Поэтому дети располагаются преимущественно в средней и нижней зонах, параметры которых не соответствуют требованиям для спальных помещений дошкольных учреждений и при длительном воздействии могут негативно сказаться на здоровье ребенка.

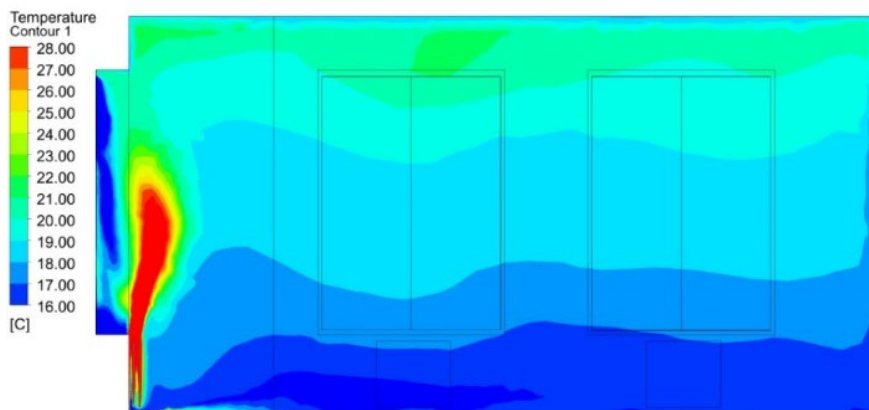


Рис. 2. Распределение температуры в сечении по центру окна, расположенного в наружной стене вдоль оси Y (проектное решение)

Рассмотрим предложенное решение с использованием теплого пола в качестве дополнительного отопительного прибора (рис. 3).

Как видно из рис. 3, также можно условно разделить сечение по высоте помещения на три температурные зоны. В этом случае значение температуры во всех трех зонах находится в допустимых пределах. В средней и нижней зонах в предложенном решении создаются наиболее благоприятные условия микроклимата по сравнению с проектным решением.

Стоит отметить, что из-за требования к обеспечению нормативной величины воздухопроницаемости оконных проемов, и, как результат, наличия в окнах неплотностей, холодный воздух поступает в помещение. Холодный воздух опускается вниз по внутренней поверхности окна до подоконника, после чего встречается с восходящим потоком нагретого воздуха от радиатора, обходит его по краям (рис. 4, 5), из-за чего происходит минимальное попадание холодного воздуха в зону под окнами. Это наблюдение требует дальнейших исследований для уточнения влияния таких неплотностей на распределение температур и комфорт внутри помещения.

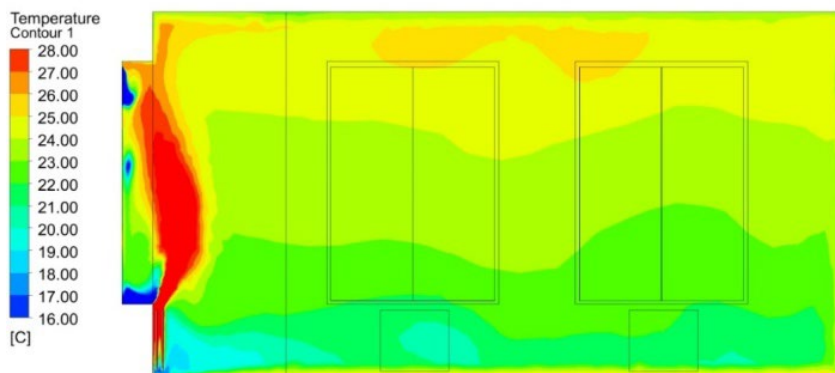


Рис. 3. Распределение температуры в сечении по центру окна, расположенного в наружной стене вдоль оси Y (предложенное решение)

На рис. 4 и рис. 5 представлена трехмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения: от радиатора и холодного потока воздуха через неплотности окна.

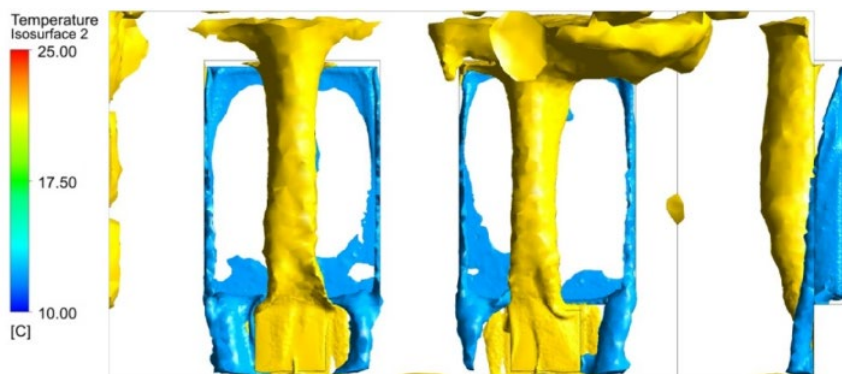


Рис. 4. Трехмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения с использованием только радиаторного отопления (проектное решение)

Можно наблюдать восходящий поток воздуха от отопительных приборов к потолку, который ранее отмечался (выделен оранжевым цветом), однако здесь более подробно прослеживаются зоны проникновения холодного инфильтриру-

ющегося воздуха, проходящего мимо отопительных приборов. Следует отметить, что при использовании теплого пола объем холодного потока воздуха значительно снижается. Этот поток было невозможно заметить при анализе только центрального продольного сечения.

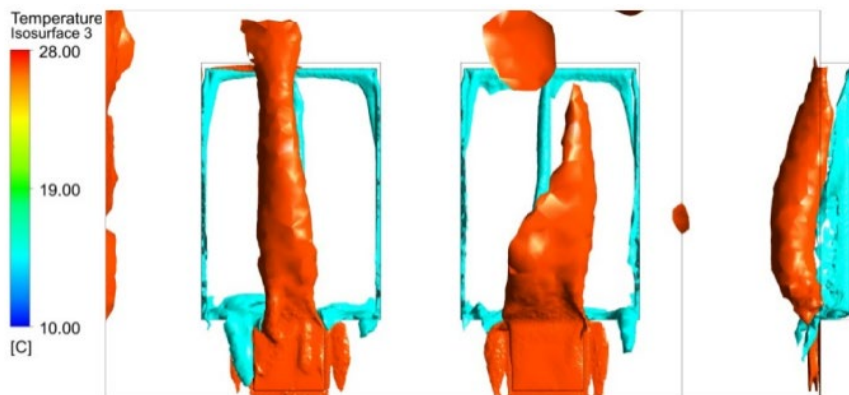


Рис. 5. Трехмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения с использованием радиаторного отопления и теплого пола в качестве дополнительного отопительного прибора (предложенное решение)

Приведенный на рис. 6 график отображает изменение температуры по высоте в центре помещения при использовании проектного решения.

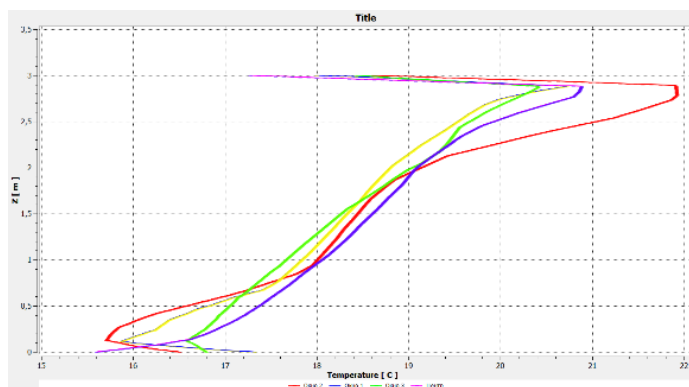


Рис. 6. График распределения температуры воздуха по высоте помещения (проектное решение)

Значения температур в обслуживаемой зоне помещения не находятся в пределах допустимых значений в соответствии с [2]. Стоит отметить, что характер распределения температуры по высоте полностью не соответствует эталонному, при котором наибольший комфорт для человека обеспечивается при постепенном охлаждении воздуха от пола к потолку [3].

Приведенный на рис. 7 график отображает изменение температуры по высоте в центре помещения при совместном использовании напольного отопления и радиаторов.

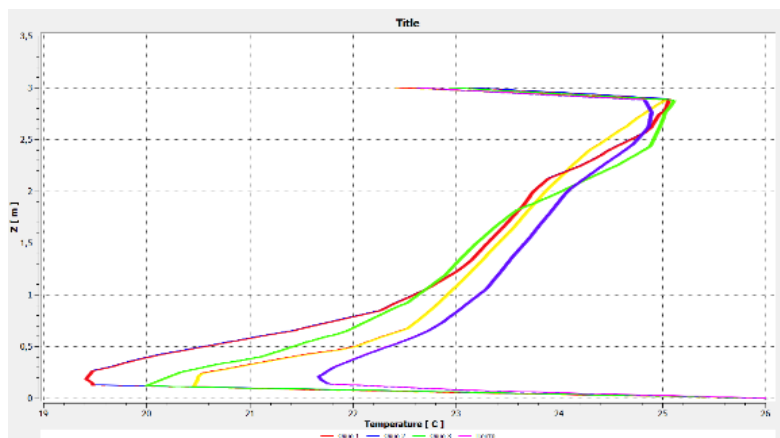


Рис. 7. График распределения температуры воздуха по высоте помещения (предложенное решение)

Значения температур в обслуживаемой зоне помещения находятся в пределах допустимых значений. Стоит отметить, что характер распределения температуры по высоте так же не соответствует эталонному, при котором наибольший комфорт для человека обеспечивается при постепенном охлаждении воздуха от пола к потолку.

На рис. 8 и 9 представлены распределения скоростей движения воздуха внутри помещения в сечении по центру окна, расположенного в наружной стене вдоль оси Y для проектного и предложенного решения. Как видно из рис. 8 и 9, над отопительным прибором располагается зона повышенных скоростей, которая создает барьер для поступления холодного воздуха со стороны окна.

Подвижность воздуха в помещении находится в пределах оптимальных значений, кроме зон над отопительными приборами, что допускается нормами. Можно заметить, что в случае применения проектного решения скорость равномерно снижается от потолка к полу, а с применением теплого пола происходит смешивание потоков.

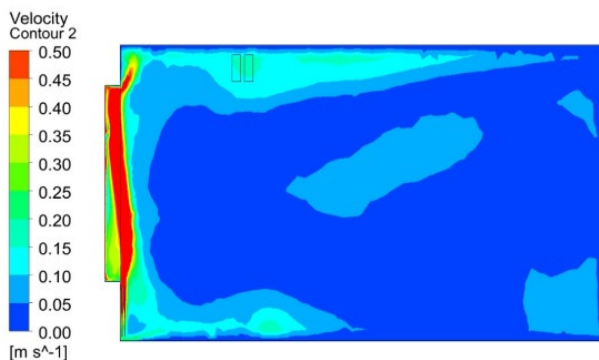


Рис. 8. Распределение скорости воздуха в центральном продольном сечении с использованием радиаторного отопления (проектное решение)

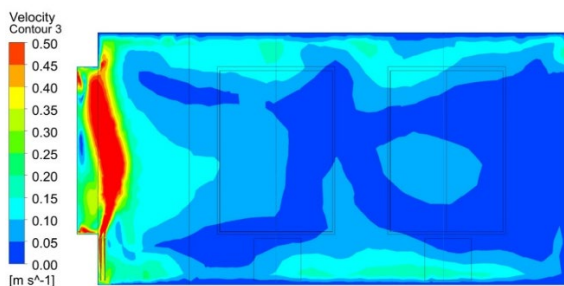


Рис. 9. Распределение скорости воздуха в центральном продольном сечении с использованием теплого пола (предложенное решение)

В заключение можно выделить следующее:

1. Проектное решение создает в рассматриваемом помещении микроклимат, параметры воздуха в котором не полностью соответствуют допустимым и нормативным санитарным требованиям. В результате длительного воздействия такие условия могут негативно сказаться на здоровье детей.

2. Предложенная комбинация теплого пола и радиаторного отопления обеспечивает допустимые параметры микроклимата, которые при систематическом воздействии не представляют угрозы для здоровья детей. Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод, что использование теплого пола в качестве дополнительного отопительного прибора в спальнях помещений детского дошкольного учреждения является эффективным решением.

3. Зоны пониженного комфорта по краям окна возникают из-за того, что поток теплого воздуха от радиатора не перекрывает всю ширину окна. Для устранения этой проблемы рекомендуется увеличить ширину радиатора, чтобы она превышала ширину окна.

Литература

1. Ливанский, Д. Г. Формирование микроклимата при радиаторном отоплении / Д. Г. Ливанский, Е. В. Голуб // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 17–18 октября 2024 года / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2024. – С. 108–114.

2. Здания жилые и общественные. Параметры микроклиматов в помещениях : ГОСТ 30494. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Ливанский Дмитрий Геннадьевич ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 203 с.

УДК 628.88

Исследование параметров микроклимата при различных методах обогрева помещения высотой 6 м

Ливанский Д. Г., Малиевская А. В., Стома Н. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В данной работе рассматривается создание микроклимата при различных видах отопления. С помощью методов математического моделирования температурных и скоростных полей проводится анализ распределения параметров воздушной среды в помещении и эффективности применения различных систем отопления.

Высокие помещения общественного или жилого назначения с большим пребыванием людей сталкиваются с значительным перепадом температур, что затрудняет поддержание комфортных параметров микроклимата в рабочей зоне. Теплый воздух скапливается в верхней зоне, а холодный остается в нижней части помещения. Таким образом, в рабочей зоне температура может быть ниже нормы, а под потолком – избыточно высокой.

Цель данного исследования – создание комфортного микроклимата в рабочей зоне помещения высотой 6 м.

Для исследования формирования микроклимата было выбрано помещение (рис. 1) с размерами $9 \times 10 \times 6$ м, имеющее одну наружную стену с тремя окнами размером $1,8 \times 0,4 \times 4,8$ м. В расчетах принимаем температуру внутреннего воздуха $+18^\circ\text{C}$. Также учитываем, что с трех боковых сторон и сверху находятся аналогичные по температуре жилые помещения, а снизу – техническое подполье с температурой $+5^\circ\text{C}$. Согласно строительной климатологии [1], расчетную температуру наружного воздуха принимаем для г. Минска – -24°C .

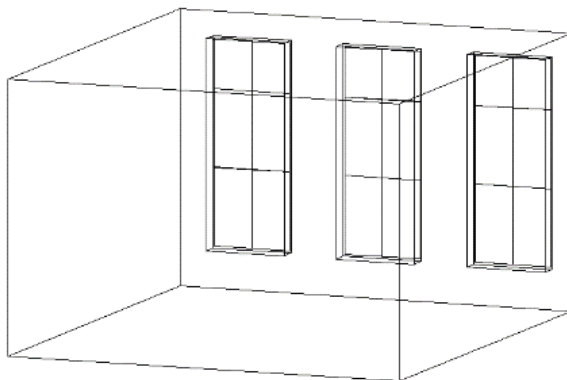


Рис. 1. Расчетная схема жилого помещения

В предыдущих исследованиях [2] было выявлено, что применение радиаторного отопления для обогрева помещения неэффективно (рис. 2). Проблемой является проникновение большого объема холодного воздуха и формирования более низких температур в зоне нахождения человека по причине значительной высоты помещения. Лучисто-конвективный отопительный прибор не создает тепловой завесы, которая служит барьером для поступления холодного воздуха со стороны окна. Таким образом, традиционная система отопления не обеспечивает допустимые значения температуры и подвижности внутреннего воздуха в рабочей зоне в соответствии с нормативными требованиями [3].

Поэтому задачей нашей работы является исследование следующих методов обогрева помещения высотой 6 м:

- напольное отопление с вытяжной естественной вентиляцией, инфильтрация наружного воздуха через окна;
- воздушное отопление – приток воздуха в верхней зоне над окном с помощью щелевых воздухораспределителей.

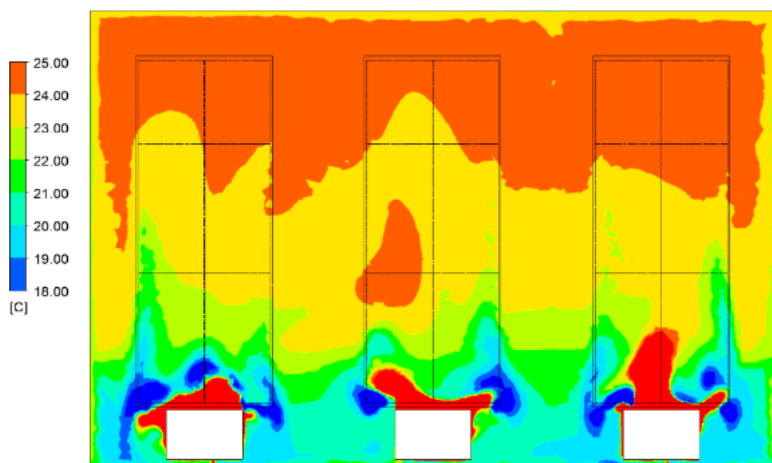


Рис. 2. Распределение температуры в заданном помещении при радиаторном отоплении [2]

Анализ производим с помощью программного комплекса ANSYS путем использования математического моделирования физических процессов теплообмена и решения трехмерных дифференциальных уравнений [2; 4].

Исследуя работу системы напольного отопления, в качестве граничных условий принимаем температуру поверхности пола $+27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через окна происходит процесс инфильтрации воздуха, расход которого равен расходу удаляемого воздуха равного однократному воздухообмену. Для отображения распределения температур воздуха в помещении используется центральное продольное сечение. Как видно на рис. 3, холодный воздух проникает через неплотности в оконных проемах и распространяется по низу помещения. Система напольного отопления нагревает поверхность пола, вследствие чего незначительная часть воздуха устремляется вверх по стене и небольшим слоем нависает под потолком. В связи с поступлением в помещение холодного воздуха, который не перемешивается с подогретым теплым воздухом, напольное отопление не справляется с обогревом помещения согласно требованиям норм. На рис. 3 видно, что в рабочей зоне устанавливается температура примерно $12\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$, что является недопустимым.

На рис. 4 более детально изображено распределение холодных воздушных потоков, которые проникают в помещение через оконные щели.

Для воздушного отопления будем использовать приточные и вытяжные решетки $500 \times 80 \times 50$ мм. В щелевых решетках установлены две перфорированные заслонки, которые обеспечивают регулирование расхода воздуха и его направление.

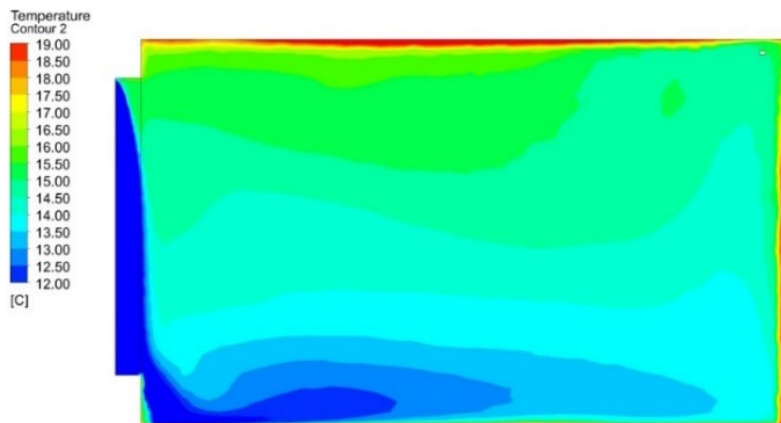


Рис. 3. Распределение температур в помещении с системой напольного отопления

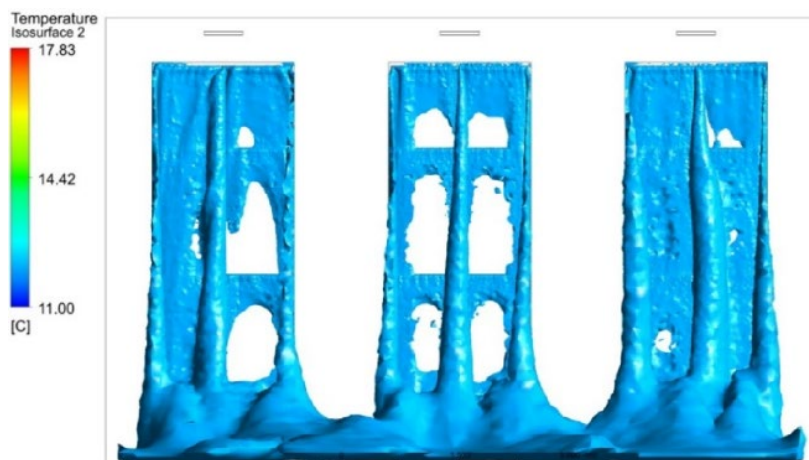


Рис. 4. Трехмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения с системой напольного отопления

Щелевые решетки подают теплый воздух, который перемешивается и остается в верхнем слое. Как видно на рис. 5, в рабочей зоне воздух не нагревается из-за недостаточной скорости движения потоков.

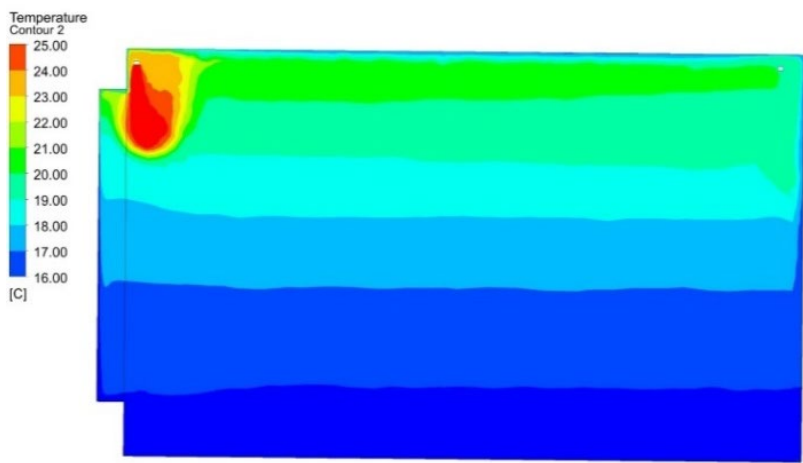


Рис. 5. Распределение температур в помещении с щелевыми решетками

Скорость потока воздуха (рис. 6) является допустимой, так как находится в пределе от 0,2 до 0,3 м/с, но в то же время будет недостаточной для перемешивания воздушных масс и обогрева помещения.

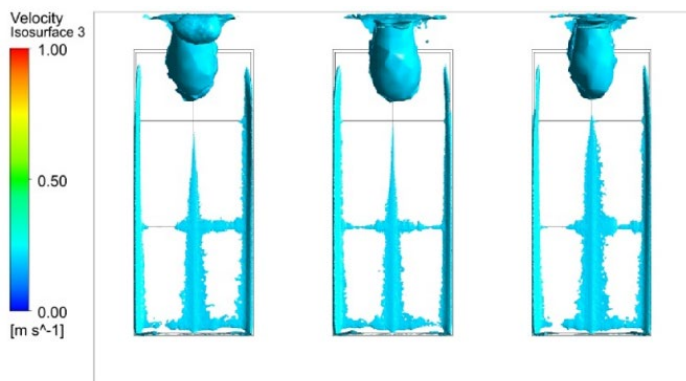


Рис. 6. Трехмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения с щелевыми решетками

Выводы

1. Система напольного отопления не создает требуемых параметров микроклимата в рабочей зоне, так как обогревает малое пространство над поверхностью пола. Поток холодного воздуха поступающий через неплотности оконных проемов, вытесняет нагретый воздух по стенам в верхнюю часть помещения.
2. Воздушное отопление с помощью щелевых решеток не обеспечивает требуемые параметры микроклимата в помещении, так как малая скорость потока нагретого воздуха не позволяет ему достичь нижней части помещения и обеспечить требуемые параметры воздуха.

Литература

1. Строительная климатология : СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 07.12.200. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2007. – 37 с.
2. Ливанский, Д. Г. Формирование микроклимата при радиаторном отоплении / Д. Г. Ливанский, Е. В. Голуб // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 17–18 октября 2024 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2024. – С. 108–114.
3. Здания жилые и общественные. Параметры микроклиматов в помещениях : ГОСТ 30494 – 2011. – Введ. 01.01.2013. – М. : Стандартиформ, 2013. – 15 с.
4. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Ливанский Дмитрий Геннадьевич ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 203 с.

УДК 697.92

Анализ и оптимизация теплоступлений через заполнение световых проемов в помещениях общественных зданий в теплый период года

Борухова Л. В., Канашиц В. В., Дубовский С. Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В данной работе рассматриваются основные подходы к расчету тепловых поступлений через остекление световых проемов, обусловленных солнечным излучением, а также проводится сопоставление этих значений с совокупными теплоступлениями в помещения в теплое время года. Проанали-

зирования существующие методики, применяемые в разных странах. Определены направления повышения эффективности светопрозрачных ограждающих конструкций общественных зданий в теплый период.

Оценка тепловых притоков внутрь помещения играет ключевую роль при анализе его энергоэффективности и обеспечении комфортных условий для пребывания людей.

Поступление теплоты через остекленные проемы обусловлено воздействием солнечной радиации и теплопередачей [1], Вт:

$$Q_{\Pi} = Q_{\Pi p} + Q_{\Pi m} = (q_{\Pi p} a_n + q_{\Pi m}) F_{\Pi}, \quad (1)$$

где F_{Π} – площадь световых проемов; $q_{\Pi p}$ и $q_{\Pi m}$ – тепlopоступления за счет солнечной радиации и за счет теплопередачи соответственно через 1 м² вертикального заполнения световых проемов, Вт/м²; a_n – коэффициент, отражающий долю солнечного теплота, участвующей в нагреве воздуха внутри помещения, рассчитываемый исходя из тепловой инерции здания, интенсивности конвективного теплообмена, времени максимального облучения и расчетного часа.

Тепловой приток за счет солнечного света на 1 м² вертикального остекления, Вт/м², определяется следующим образом:

$$q_{\Pi p} = (q_{\Pi}^B K_{\text{инс}} + q_p^B K_{\text{обл}}) K_{\text{отн}} \tau_2, \quad (2)$$

где q_{Π}^B и q_p^B – мощность прямого и рассеянного солнечного излучения, Вт/м², поступающего в помещение в расчетный час через одинарное остекление, зависящие от географического положения и ориентации здания [1], за расчетный принимается час с наибольшим значением солнечного излучения; $K_{\text{отн}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий особенности конкретного типа остекления по сравнению со стандартным; τ_2 – коэффициент, отражающий уровень затенения светового проема; $K_{\text{инс}}$ – инсоляционный коэффициент, характеризующий часть площади остекления, пропускающую прямое излучение; $K_{\text{обл}}$ – коэффициент рассеянного облучения, указывающий на долю остекления, через которую проходит рассеянный свет.

На основании анализа формулы можно выделить ключевые параметры, влияющие на величину тепlopоступлений: площадь остекления, ориентация фасадов, климатическая зона, время суток и года, тип остекления, наличие защитных или затеняющих элементов [1–3].

С использованием описанных зависимостей были рассчитаны (табл.) теплопритоки через светопрозрачные элементы различных общественных и административных зданий.

Доля теплопоступлений от солнечной радиации в общем тепловом балансе варьируется от 7 до 45 %. В среднем, согласно проведенным исследованиям, она составляет около 28 %. В зданиях с большим количеством остекленных поверхностей приток солнечного тепла в теплый период года является значимым компонентом общих теплопоступлений.

Таблица

Теплопоступления для различных помещений общественных и административных зданий в теплый период года

Наименование помещения	Объем помещения, м ³	Площадь остекления, м ²	Теплопоступления за счет солнечной радиации, Вт	Общие теплопоступления, Вт	%
Зал заседаний	230	9	640	3080	21
Обеденный зал на 90 мест	285,6	29,2	1100	5800	19
Торговый зал «продукты»	1131,12	6,77	1586	6248	25
Офис	1384	180,9	7620	33757	23
Зал совещаний	175,5	7,6	440	2140	21
Зал собраний	53,5	6,75	260	1052,6	25
Клуб	935	6,6	2310	11290	20
Операционный зал банка	135	156,6	2188	4829	45
Выставочный зал	220	3,36	1369	3480	39
Зал собраний	1571,4	39,5	4010	10990	36
Столовая	204,7	8,1	705	2625	27
Торговый зал магазина	478,8	15,5	1091	4091	27
Гладильное отделение	161	11,6	489	962	51
Торговый зал кафе буфета	122,51	4,5	420	1240	34
Зал кафе	448	24,3	1537	8197	19
Зал кафе	303,6	31,5	1398	8058	17
Зал йоги	114,1	6	371	1021	36
Зал совещаний административного здания	143,5	2,1	479	2217	22
Гимнастический зал	559	13,1	1580	4010	39
Агентство недвижимости	105,4	4,8	62	861	7

Ключевым недостатком представленной методики является использование базового значения теплового потока для одинарного остекления, которое затем корректируется коэффициентом $K_{отн}$ для учета типа стеклопакета. Однако данный коэффициент не всегда отражает реальные показатели со-

временных стекольных технологий. В последние годы в строительстве широко применяются более совершенные стеклопакеты: однокамерные, двухкамерные, а также стекла с низкоэмиссионными покрытиями (Low-E), заполненные инертными газами (аргон, ксенон) или осушенным воздухом, что значительно улучшает их теплоизоляционные характеристики. В справочной литературе отсутствуют точные значения коэффициентов $K_{отн}$ и τ_2 для подобных современных стекол.

Сравнительный анализ зарубежных расчетных подходов [2] показывает, что в международной практике активно применяется понятие «солнечного фактора» (g) – интегрального коэффициента пропускания солнечной энергии. Он представляет собой отношение общего количества тепловой энергии, проникающей в помещение, к энергии, падающей на наружную сторону стекла. Общий тепловой поток включает как непосредственно прошедшую через стекло радиацию, так и тепло, переданное в помещение вследствие поглощения и последующего излучения стеклом.

Значение солнечного фактора g указывается в технических характеристиках стеклопакетов и может колебаться от 0,37 до 0,88 в зависимости от типа остекления [2]. Таким образом, при использовании этого параметра тепловой расчет проводится с учетом конкретного типа стеклопакета и полного спектра солнечного излучения (прямого и рассеянного), что делает расчеты более точными. В этом случае формула (2) преобразуется следующим образом [2, 3], Вт:

$$Q_p = (Sk_{инс} + Dk_{обл}) g k_{сзу} \tau_2 F_{II}, \quad (3)$$

где S , D – удельные тепловые потоки прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающие на наружную поверхность стекла, Вт/м²; g – солнечный фактор конкретного остекления; $k_{сзу}$ – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств.

В рамках данной работы были выполнены исследования и оценка теплопритоков и воздухообмена в офисном помещении общественного здания с фасадным остеклением, согласно методикам (2) и (3). Площадь анализируемого пространства составляет 407 м², объем – 1384 м³, площадь остекленной поверхности – 180 м². В исследовании рассматривался двухкамерный стеклопакет 4М1-Аг10-И4-Аг10-И4, для которого интегральный коэффициент пропускания солнечной радиации (солнечный фактор) равен $g = 0,4$, приведенное сопротивление теплопередаче остекления – $R = 1,21$ м²·К/Вт, а коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств принят равным $k_{сзу} = 0,4$. Результаты расчетов теплопритоков по формуле (2) составили 13410 Вт, а по формуле (3) – 5510 Вт, что соответствует 88 % и 72 % от общего

количества поступающего тепла в помещении в теплый период года соответственно. Анализ воздухообмена, выполненный на основе теплового баланса для ассимиляции теплоступлений, показал сокращение необходимого воздухообмена в два раза: с 22720 м³/ч до 11380 м³/ч. Такое уменьшение воздухообмена на этапе проектирования вентиляционных и климатических систем способствует значительному снижению капитальных расходов на материалы и установку оборудования, а также уменьшает потребление тепловой и электрической энергии.

Необходимость анализа и управления солнечными теплопритоками обусловлена несколькими важными задачами:

- **энергосбережение**: понимание вклада солнечного излучения позволяет оптимизировать системы вентиляции, охлаждения и отопления зданий;
- **архитектурное проектирование**: учет солнечной активности помогает при выборе остекления, планировании ориентации здания, а также для достижения баланса между естественным освещением и перегревом;
- **снижение эксплуатационных расходов**: контроль над солнечными теплопритоками позволяет сократить расходы на энергоснабжение, особенно в коммерческой недвижимости;
- **климатическая адаптация**: расчеты теплопритоков позволяют учитывать местные климатические условия и готовиться к их возможным изменениям;
- **прогнозирование и моделирование**: данные о солнечной радиации применяются при создании энергетических моделей зданий для оценки комфорта и энергопотребления.

Таким образом, системный подход к расчету и оптимизации солнечных тепловых поступлений способствует улучшению энергоэффективности, снижению затрат и созданию устойчивых архитектурных решений.

Литература

1. Борухова, Л. В. Расчет теплоступлений через заполнения световых проемов и массивные ограждающие конструкции : пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1 -70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko. – Минск : БНТУ, 2015. – 57 с.
2. Борухова, Л. В. Совершенствование методики расчета теплоступлений через светопрозрачные конструкции и рекомендации по их уменьшению / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // Энергетика. Изв. высш. учеб. завед. и энергетических объединений СНГ. – 2016. Т. 59, № 1. – С. 65–79.
3. Борухова, Л. В. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 107–114.

**Исследование влияния качества выполненных
строительно-монтажных работ на изменение энергоэффективных
характеристик при эксплуатации здания**

Андреев В. Д.¹, Пехота А. Н.²

¹РУП «Стройтехнорм»,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В статье проанализированы ключевых направлений современного строительства с точки зрения необходимости эффективного и экономичного строительства. Представлен анализ основных дефектов и повреждения строительных конструкций, появляющихся в ходе модернизации зданий.

При проектировании современных зданий центральное место занимает проблема снижения потребления энергии как при строительстве, так и при эксплуатации зданий. Это требует новых подходов к проектированию ограждающих конструкций и инженерного оборудования [1].

Практика последних лет подтверждает, что типовые многоквартирные дома низкого класса энергоэффективности является значительным источником потерь энергетических ресурсов. Потери тепловой энергии через элементы ограждающих конструкций в таких зданиях могут колебаться в широких диапазонах (рис. 1).

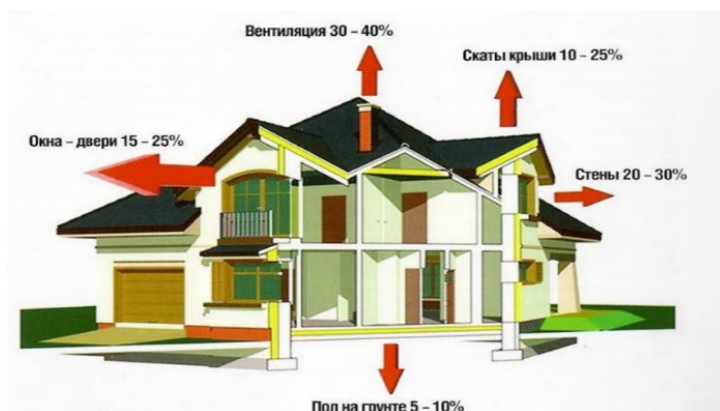


Рис. 1. Виды и значения потерь тепловой энергии через элементы ограждающих конструкций типовые зданий низкого класса энергоэффективности

Рост цен на энергоносители обусловил необходимость принятия мер по оптимизации энергопотребления зданий. Первоначально, в 90-е годы, усилия были сосредоточены на улучшении теплоизоляционных характеристик ограждающих конструкций. В результате, после ряда изменений в технических кодексах, сопротивление теплопередаче внешних стен увеличилось в четыре раза, а окон и дверей – в три раза. С конца 90-х годов началось усовершенствование инженерных систем зданий, и в настоящее время все многоквартирные дома оборудованы системами учета и регулирования тепловой энергии.

Модернизация зданий позволяет существенно снизить утечки тепла и повысить их энергетическую эффективность. Используя широко распространенную в мире технологию строительства энергоэффективных зданий направленную на сокращение теплопотерь через внешние элементы конструкции можно значительно сократить теплопотери. Это достигается путем устранения термических мостов, использования высокоэффективных теплоизоляционных материалов, установки энергосберегающих окон, а также повышения герметичности внешних стен, что позволяет осуществлять воздухообмен преимущественно через системы принудительной вентиляции с рекуперацией тепла [2].

С учетом положений европейских и международных стандартов в области энергоэффективного, экологически безопасного и ресурсосберегающего жилищного строительства разработаны и введены в действие строительные нормы СН 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность» позволяющие осуществлять строительство с учетом Концепции развития ЖКХ до 2025 года, утвержденной соответствующим постановлением Совета Министров Республики Беларусь [3–5].

Проектирование и строительство зданий осуществляется по ряду требований, предусмотренными строительными нормами. Требования к определению показателей энергоэффективности жилых зданий на этапе проектирования представлены на рис. 2.

Качество строительных работ непосредственно влияет на энергетическую эффективность зданий. Здания, возведенные с использованием высококачественных строительных материалов и выполненные с соблюдением всех строительных норм и правил, обычно обладают лучшими показателями энергетической эффективности. Однако, как показывает практика, производители строительно-монтажных работ не готовы к работе с современными материалами, технологиями строительно-монтажных работ, BIM-технологиями и главная причина тому – недостаток квалифицированных кадров [4].

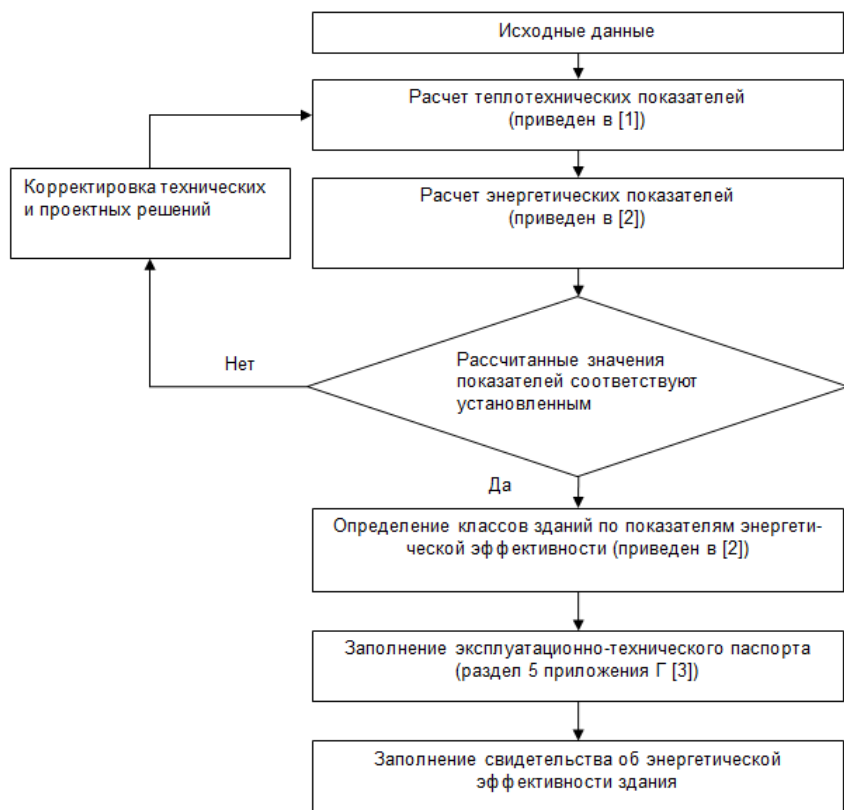


Рис. 2. Определение показателей энергоэффективности жилых зданий на стадии проектирования

В качестве оценки дефектов строительства и эксплуатации, влияющие на энергоэффективные характеристики при эксплуатации здания, было проведено ряд технических обследований с выполнением тепловизионной съемки различных объектов, некоторые результаты представлены на рис. 3. В соответствии с целью исследования заключающемся в выявлении дефектов и повреждений строительных конструкций, влияющих на энергетическую эффективность зданий и сооружений, было выполнено обследования административно-лабораторного здания, построенного в 1960-х годах и реконструированного с применением термомодернизации, проведенной в 2024 году.

На основании анализа термографических данных, представленных на рис. 4 и 5 можно утверждать, что вероятными источниками дефектов являются недостатки, допущенные при строительстве и монтаже. В частности, ненадлежащая регулировка оконных и дверных конструкций, отклонения от проектных решений в узлах утепления оконных откосов, некачественное утепление отмостки вокруг здания с наличием щелей между листами экструдированного пенополистирола, а также зоны, где утепление отсутствует (пол здания расположен непосредственно на грунте, подвальное помещение отсутствует).

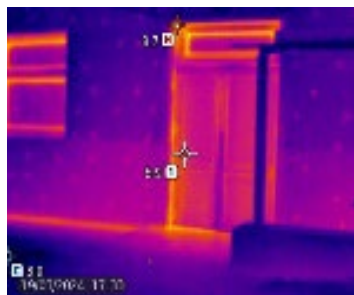


Рис. 3. Повышенные теплотери по периметру дверного проема и вдоль отмостки здания



Рис. 4. Процент конструкций с теплотехническими дефектами



Рис. 5. Дефект конструкций в общем объеме дефектов

Кроме того, обнаружены отдельные участки повышенных теплотерь во внутренних и наружных углах здания. При демонтаже фрагментов штукатурного слоя системы легкого штукатурного утепления выявлены области неполного прилегания теплоизоляционных плит к стенам (клей наносился на утеплитель отдельными участками, а не по всему периметру плиты с образованием

замкнутого контура). Замечены зазоры в местах соединения плит, что обусловлено сложностями совмещения плоскостей смежных стен, отсутствие усиленного армирования в нижней части конструкции и отсутствие угловых элементов армирования.

Учитывая, что дефекты и повреждения носят массовый (систематический) характер и равномерно распространены по всему объекту обследования по результатам обследования разработаны рекомендации для снижения теплопотерь здания, повышения его энергоэффективности необходимо выполнить:

- регулировку окон и дверей;
- утепление узла примыкания отмостки к наружным стенам;
- ремонт легкой штукатурной системы утепления в местах повреждения.

По результатам обследований определено, что здание по результатам выполненных строительных работ не является энергоэффективным, теплоизоляционный слой не является замкнутым, теплопотери помещений превышают проектные значения, расход тепла на возмещение теплопотерь на единицу площади превышает проектные значения.

Для выполнения ключевых направлений современного строительства жилья является необходимость эффективного и экономичного использования энергии на протяжении всего жизненного цикла здания, необходимо в ходе монтажа выявлять дефекты и повреждения строительных конструкций с применением новых всесезонных методов и оборудования контроля в ходе выполнения работ, что является приоритетной задачей научно-технической и прикладной задачей исследований в сфере жилищно-коммунального хозяйства и закреплено в Концепции развития ЖКХ [6].

Литература

1. Здания и сооружения. Энергетическая : СН 2.04.02-2020. – Введ. 12.11.2020. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 29 с.
2. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Взамен ТКП 45-2.04-43-2006 ; введ. 20.01.2021. – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 77 с.
3. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели : СП 2.04.02-2020. – Введ. 01.02.2021. – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 33 с.
4. Развитие строительных норм в области энергетической эффективности жилых и общественных зданий / О. О. Кудревич, И. А. Терехова, В. Ф. Козлов [и др.] // Стандартизация. –2022. – № 3. – С.43–49.
5. Пехота, Е. А. Разработка критериев оценки дефектов зданий и сооружений коммунально-хозяйственного назначения / Е. А. Пехота, О. Е. Пан-

тюхов, Б. М. Хрусталева [и др.] // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: материалы XXII Международной конференции, г. Брест, 31 окт.–2 нояб. 2024 г. – Брест, 2024. – С. 262–269.

6. Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь : постановление СМ РБ от 23.12.2015 № 1084 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=C21501084> (дата обращения: 12.04.2025).

УДК 697.3/4

Интерпретирование методики Кулжинского, для определения теплопотерь подземных сооружений метрополитена мелкого заложения

Кононов Д. А.^{1, 2}, Белениник О. И.^{1, 2} Сизов В. Д.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

В работе изложена интерпретация методики Клиникова по определению коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций и теплопотерь помещений станционного комплекса метрополитена мелкого заложения.

Методика Кулжинского «Определение теплопотерь через ограждающие конструкции подземных сооружений» разработана в 1960 г. на базе ВИА имени В. В. Куйбышева и применяется для закрытых подземных сооружений. Метрополитен является подземным сооружением со сквозным проветриванием большого объема в эксплуатационном режиме.

Целями расчета по интерпретированной методике является: определить коэффициенты теплопередачи наружных и внутренних ограждающих конструкций; определить теплопотери в расчетных помещениях; необходимость установки отопительных приборов с учетом теплового баланса помещений.

Расчетные параметры наружного воздуха. Расчетные параметры наружного воздуха для городов принимаем в соответствии с [1– 3] для теплого периода по параметрам А, для холодного – по параметрам Б. Продолжительность суток периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$, $z_{\text{от-пер.}} = 198$ суток (4752 ч).

Расчетные параметры внутреннего воздуха Расчетные температуры воздуха и кратность воздухообмена для подземных помещений станции

приняты по [3]. Температуру в коридорах и лестницах принимать по температуре тоннельного воздуха. Температура в пешеходном переходе для холодного периода года $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в тоннеле и на платформе для холодного периода года $+10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в кассовом зале холодного периода года $+5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температуру в пешеходном переходе в зоне лестничных сходов павильонов для холодного периода года необходимо принимать по наружной температуре региона строительства. Относительную влажность в помещениях станции принимаем $\varphi = 55\%$. В методике Кулжинского принято принимать среднюю температуру по сооружению для определения теплопотерь. Однако помещения метрополитена имеют жесткие санитарные и технологические параметры температуры воздуха, поэтому при определении теплопотерь мы рассчитываем каждое помещение отдельно на требуемую температуру.

Расчет коэффициентов теплопередачи наружных ограждающих конструкций. При расчете коэффициентов теплопередачи наружных ограждающих конструкций станций метрополитена (наружных стен со стороны грунта и покрытия) по методике Ю. И. Кулжинского, для заглубленного здания выделяется два расчетных случая. Первый, когда толщина покрытия (с учетом толщины грунта) больше, чем расчетная толщина прогретого массива, т. е. $h_1 > \delta_{\text{р.гр.}}$ см. рис. 1. И второй, когда толщина покрытия меньше, чем толщина прогретого массива, т. е. $h_1 < \delta_{\text{р.гр.}}$ см. рис. 1.

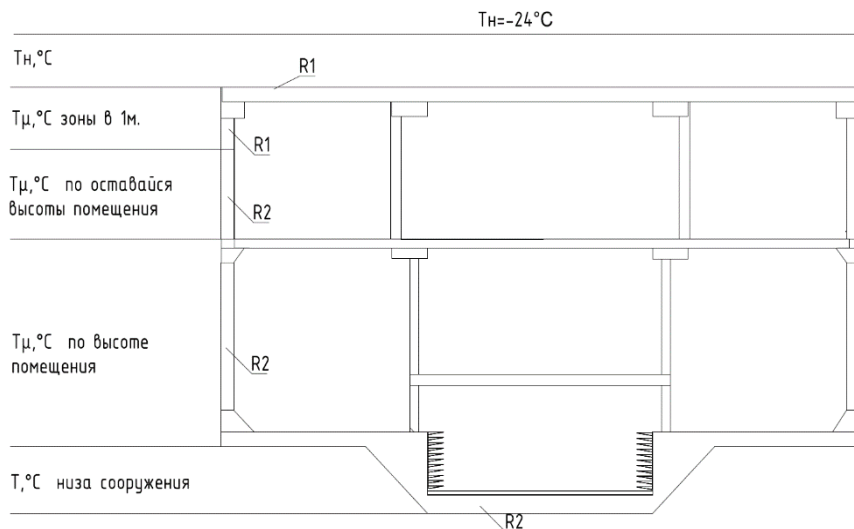


Рис. 1. Схема расположения расчетных зон и принятых температур

В первом случае, коэффициент теплопередачи определяется как для одной зоны, распространяющейся по всей высоте заглубленного сооружения либо части сооружения и вычисляется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{гр}}} + \frac{\delta_{\text{изол}}}{\beta_{\text{изол}} \lambda_{\text{изол}}} + \frac{\delta_{\text{р.гр.}}}{\beta \lambda} \left(1 - \frac{\delta_{\text{изол}}}{\delta_{\text{р.изол}}} \right)},$$

где $\alpha_{\text{гр}}$ – коэффициент теплоотдачи грунта, Вт/(м²°C); $\delta_{\text{изол}}$ – толщина теплоизоляционного слоя, м; $\beta_{\text{изол}}$ – формфактор, который учитывает влияние на коэффициент теплопередачи размеров тепловой изоляции, формы изолируемой поверхности, а также теплотехнических свойств изолирующего материала. Формфактор зависит от формы выработки [4]. Для выработки в форме параллелепипеда, рассчитывается по формуле:

$$\beta_{\text{изол}} = 1 + 3,54 \sqrt{\frac{\alpha_{\text{изол.}} z}{F_{\text{изол.}}}},$$

где $\alpha_{\text{изол}}$ – коэффициент температуропроводности изоляции, м²/ч; z – время натопа, ч, в данном случае принимается равным периоду отопительного периода; $F_{\text{изол.}}$ – площадь покрывного слоя изоляции, м²; $\lambda_{\text{изол.}}$ – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м °C); $\delta_{\text{р.гр}}$ – расчетная глубина прогреваемого массива, определяемая по формуле:

$$\delta_{\text{р.гр}} = 1,13 \sqrt{\alpha z},$$

где α – коэффициент температуропроводности грунта, м²/ч; β – формфактор, который учитывает влияние на коэффициент теплопередачи размеров сооружения и его формы изолируемой поверхности, а также теплотехнических свойств ограждающего массива. Формфактор зависит от формы выработки [4]. Для выработки в форме параллелепипеда рассчитывается по формуле:

$$\beta = 1 + 3,54 \sqrt{\frac{\alpha z}{F}},$$

где F – площадь поверхности рассматриваемой выработки, м², то есть заглубленного здания либо части здания λ – коэффициент теплопроводности

грунта, Вт/(м °С); $\delta_{\text{р.изол.}}$ – расчетная глубина прогретого массива, м, определяемая по формуле:

$$\delta_{\text{р.изол.}} = 1,13 \sqrt{\alpha_{\text{изол.}} z},$$

Коэффициент температуропроводности определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho},$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м °С); ρ – плотность материала, кг/м³; c – коэффициент теплоемкости, Вт/(кг °С).

Во втором случае определяют коэффициенты теплопередачи для четырех зон: I – покрытия (с учетом тепловой изоляции); II – верхней части стены от покрытия до отметки $\delta_{\text{р.гр.}}$; III – нижней части стены от отметки $\delta_{\text{р.гр.}}$ до пола; IV – пола. Для первой зоны коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{гр}}} + \frac{\delta_{\text{изол.}}}{\beta_{\text{изол.}} \lambda_{\text{изол.}}} + \frac{h_1}{\beta \lambda} \left(1 - \frac{\delta_{\text{изол.}}}{\delta_{\text{р.изол.}}} \right)},$$

где h_1 – расчетная глубина залегания от поверхности земли до внутренней поверхности покрытия, мм, что можно выразить следующим выражением:

$$h_1 = h_{\text{покp}} + h,$$

где $h_{\text{покp}}$ – толщина покрытия заглубленного сооружения, мм, представляющая сумму толщин всех слоев; h – действительная глубина залегания сооружения, мм, от поверхности земли до наружной поверхности покрытия.

Для второй зоны формула для определения коэффициента теплопередачи имеет вид:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{гр}}} + \frac{2h_1 + \delta_{\text{р.гр.}}}{3\beta\lambda}}.$$

Для третьей и четвертой зон коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{гр}} + \frac{\delta_{р.гр}}{\beta\lambda}}.$$

Определение расчетного заглубления для определения температуры грунта. Для последующего определения теплопотерь через наружные ограждающие конструкции, граничащие с грунтом, необходимо знать отметки, на которых следует определить температуру грунта. Первая отметка, на которой определяется температура – поверхность земли, для которой справедлива запись $H_1 = 0$ м. Для первого расчетного случая выделяют следующие расчетные заглубления при $h_1 > \delta_{р.гр}$:

$$\begin{aligned} H_2 &= \delta_{р.гр}, \\ H_3 &= h_1 + \frac{1}{3}h_2, \\ H_4 &= h_1 + h_2. \end{aligned}$$

Для второго расчетного случая выделяют следующие расчетные заглубления $h_1 < \delta_{р.гр}$:

$$\begin{aligned} H_2 &= h_1 + \frac{1}{3}(\delta_{р.гр} - h_1), \\ H_3 &= \delta_{р.гр} + \frac{1}{3}(h_1 + h_2 - \delta_{р.гр}). \end{aligned}$$

Определение расчетной температуры грунта. Расчетная температура грунта на любой отметке определяется по формуле

$$t_{гр} = t_{год.возд}^{ср} + \Delta t + \frac{H}{30} \pm \frac{A_0}{2,72^{\frac{H}{3}}},$$

где $t_{год.возд}^{ср}$ – средняя годовая температура воздуха, °С, принимается по [3, табл. 3.3]; Δt – превышение средней годовой температуры, °С, принимается по климатической зоне; H – расчетное заглубление, м, для различных зон заглубленного сооружения либо части сооружения; A_0 – амплитуда годового колебания температур, °С, принимается по климатической зоне.

Для г. Минска, согласно методике Кулжинского, амплитуда годового колебания температур по климатической зоне A_0 принимается равной $10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, превышение средней годовой температуры $\Delta t = 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Подставляя перед последним слагаемым в формуле знак «плюс», получаем максимально возможную на данной глубине температуру, а подставляя знак «минус» – минимально возможную. Так как температура грунта нам необходима для расчета теплотерь заглубленного сооружения, в формуле будет применяться знак «минус» при последнем слагаемом.

Определение коэффициентов теплопередачи внутренних ограждающих конструкций. Коэффициенты теплопередачи внутренних ограждающих конструкций станции определяются как обратная величина сопротивлений теплопередачи, методика расчета которых изложена в [1]. Значения нормируемых сопротивлений теплопередачи, принимаются по табл. 7.1 [6], где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, согласно [1, табл. 6.2] принимаем равным 1; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$, принимаем равной $+18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, для помещений входов принимаем $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, для помещений станционного комплекса принимаем $+5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м }^{\circ}\text{C})$, табл. 2.1; $\Delta t_{\text{в}}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^{\circ}\text{C}$, согласно [1, табл. 6.5] для производственных зданий с нормальным режимом определяется по формуле (но не более 8) $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в}} - t_{\text{р}}$, где $t_{\text{р}}$ – температура точки росы, $^{\circ}\text{C}$. Точка росы определяется по [1, прил. Е]. За исходные данные принимаем расчетную температуру внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$, и относительную влажность $\varphi = 55\text{ \%}$. В итоге получим $t_{\text{р}} = 8,83\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно [1] приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей должно быть не менее 0,6 значения минимального сопротивления теплопередаче наружных стен $R_{\text{т.мин}}$. Таким образом получим приведенное сопротивление теплопередачи наружных дверей для входов и станции. Согласно [1; 7] приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций $R_{\text{пр}}$ должно быть не менее нормативного приведенного $R_{\text{т.норм.}}$, указанного в [5; 7]. В нормативных нормах Республики Беларусь отсутствуют требования к нормативному приведенному сопротивлению теплопередачи ограждающих конструкций, граничащих с пешеходной зоной метрополитена и грунтом. Поэтому принимаем сопротивления как для производственных зданий.

Определение коэффициента теплоотдачи. Коэффициент $\alpha_{\text{л}}$ может быть определен по выведенной на основании равенства формуле [8]:

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \frac{\left[\frac{t_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{t_2 + 273}{100} \right]^4}{t_1 - t_2},$$

где t_1 и t_2 – температуры излучаемых поверхностей, °С; C_1 и C_2 – коэффициент излучения поверхностей; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{K}/100)^4$.

Коэффициент теплоотдачи в расчетистые помещения принимаем нормативным, а для поверхностей в пешеходная зона высчитываться согласно скорости движения воздуха и вида ограждающей конструкции.

Определение теплопотерь помещений под лестничными сходами павильонов на входах станции. Так как помещения под лестничными маршами павильонов на половину граничат с грунтом, а на половину воздухом перехода, это под подает под методику Кулжинского. В этом случае правильное определять теплопотери по зонам. Для для неутепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,2 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ по зонам шириной 2 м, см. рис. 2, параллельным наружным стенам, принимая R_c , $\text{м}^2\text{°С/Вт}$, равным: 2,1 – для первой зоны; 4,3 – для второй зоны; 8,6 – для третьей зоны; 14,2 – для четвертой оставшейся площади пола °С/Вт .

Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции станции.

Тепловой баланс помещения. Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции станции согласно [2, прил. Д]. При составлении теплового баланса помещения стоит учитывать теплопоступления из соседних помещений. Они учитываются, однако со знаком «минус». При возложении на систему отопления нагрева приточного воздуха, необходимое количество теплоты согласно [2, прил. Е]. В помещениях, в которых теплопоступления превалируют над теплопотерями, отопительные приборы не предусматриваются. Необходимо понимать, что для расчета покрытия по методики Кулжинского применяется температура под слоем снега около -3 °С . Но покрытия метрополитена располагаться в крупных городах в основном под парковками, площадями, проезжими частями и вредом случаи под зелеными зонами, во всех этих случаях снеговой покров либо убирается, либо оттаивается реагентами. Поэтому применение температуры под снежным парком для метрополитенов ошибочно и необходимо применять температуру наружного воздуха.

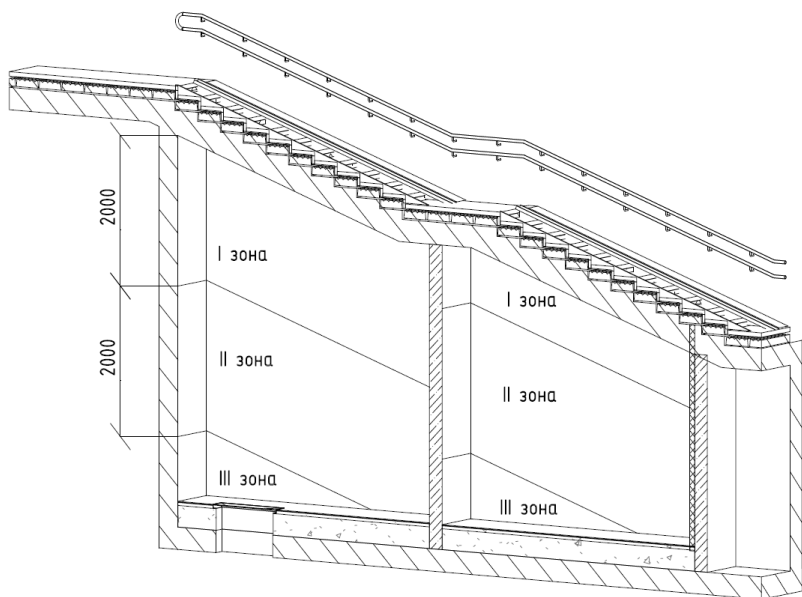


Рис. 2. Схема расположения расчетных зон в помещениях под лестничным маршем

Выводы

Описав выше перечисленное можно сказать что методика Кулжинского верна для определения сопротивлений теплопередачи для ограждающих конструкций, граничащих с грунтом. Но подход к определению теплопотерь и граничных условий теплопередачи необходимо принимать по типу подземного сооружения. В отличие от методики Кулжинского нужно принимать температуры помещения по нормативным или расчетным данным, для повышения точности высчитывать тепловой баланс помещения. Так же необходимо устранить пробел в отсутствии нормативного сопротивления теплопередачи для стен и покрытия граничащих с гонтом.

Литература

1. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Взамен ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) ; введ. 20.01.2021. – Минск : РУП Стройтехнорм, 2021. – 77 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Взамен СНБ 4.02.01-03 ; введ. 16.12.2019. – Минск : РУП Стройтехнорм, 2020. – 73 с.

3. Метрополитены : СН 3.03.05-2022. – Введ. 16.11.2020. – Минск: РУП Стройтехнорм, 2022. – 99 с.

4. Кулжинский, Ю. И. Определение теплопотерь через ограждающие конструкции подземных сооружений / Ю. И. Кулжинский. – М. : ВИА, 1960. – 54 с.

5. Внутренние санитарно-технические устройства: справочник проектировщика: в 3 ч. / редкол.: В. М. Спиридонов (гл. ред.) [и др.]. – М. : Стройиздат, 1992. – Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха / Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов [и др.]. – 1992. – 145 с.

6. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 07.12.2000. – Минск : РУП Стройтехнорм, 2007. – 40 с.

7. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02-2020. – Введ. 12.11.2020. – Минск : РУП Стройтехнорм, 2021. – 29 с.

8. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов издание второе, переработанное и дополненное / В. Я. Цодиков. – М. : НЕДРА, 1975. – 568 с.

**Водоснабжение, водоотведение, очистка
природных и сточных вод**

Актуальные вопросы развития водопроводно-канализационного хозяйства на современном этапе

Китиков В. О.

ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства,
Национальной академии наук Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Рассматриваются вопросы современного состояния и развития водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) Республики Беларусь. Переход ВКХ на новый технологический уровень позволит минимизировать уровень удельных затрат в основных производственных процессах и создать условия для повышения рентабельности и конкурентоспособности предприятий ВКХ, повысить качество оказываемых услуг водоснабжения и водоотведения. В этой связи определены основные проблемы, сдерживающие развитие отрасли и актуальные задачи для их решения, с участием научных организаций.

Водопроводно-канализационное хозяйство (далее – ВКХ) Республики Беларусь – крупный отраслевой комплекс, в котором функционирует более 10 тысяч артезианских скважин, 931 станций обезжелезивания, 1300 эксплуатируемых очистных сооружений, 261 сооружение искусственной биологической очистки сточных вод, 39,4 тыс. км. водопроводных сетей и 18,5 тыс. км канализационных сетей.

Обеспеченность населения централизованными системами водоснабжения в целом составляет 93,7 %, водоотведения (канализации) – 80,7 %, что соответствует уровню передовых промышленно развитых стран мира [1; 2].

Главные ориентиры и укрупненные целевые параметры нового технологического уровня ВКХ Беларуси, это:

- минимизация удельных затрат в основных процессах;
- создание условий для повышения рентабельности и конкурентоспособности предприятий ВКХ.

Стоит отметить основные группы проблем, сдерживающих переход ВКХ на новый уровень:

- технологические / кадровые (высокий уровень износа инженерных сетей и сооружений; низкий уровень автоматизации технологических процессов; несогласованность нормативных правовых актов; проблемы эффективности использования и уровня подготовки кадрового состава;
- структурно-экономические (ведомственная разобщенность; наличие непрофильных активов на балансе предприятий ВКХ; эффективность структуры предприятий и объединений);

– финансово-экономические (недостаточный объем инвестиций в модернизацию систем водоснабжения и водоотведения; наличие неучтенных расходов и потерь воды; уровень рентабельности и конкурентоспособности).

Для достижения целей, предусмотренных планами социально-экономического развития страны, отечественное ВКХ нуждается в инновационной модернизации, которая в отличие от традиционной технологической модернизации (плановая замена устаревших процессов и оборудования) предполагает использование новейших знаний, выработанных смежными науками для повышения качества и производительности основных процессов и оборудования.

О формировании научно-технологической платформы. В соответствии с поручениями руководства страны, на базе профильных институтов в сфере жилищно-коммунального хозяйства создается единая платформа для научной деятельности. Научная платформа обеспечивает системную работу по аккумулированию передовых национальных и мировых достижений научно-технического развития, мобилизации научного потенциала участников научной платформы (научно-исследовательских учреждений и учреждений образования, институтов, центров, производственных предприятий и других подразделений, осуществляющих НИОК(Т)Р) для совместного решения прикладных задач в сфере ЖКХ.

Задачи, решаемые в рамках научной платформы:

- определение потребности отрасли ЖКХ в новых технологиях;
- поиск и содействие развитию приоритетных научно-технических проектов по проблемам ЖКХ;
- налаживание сотрудничества научных организаций и производственных предприятий в целях продвижения совместных инициатив и совместных проектов;
- выявление барьеров, препятствующих научно-техническому развитию отрасли, и выработка рекомендаций по их устранению;
- содействие совершенствованию документов по вопросам научно-технической и инновационной деятельности;
- популяризация и содействие внедрению инновационных разработок участников научной платформы;
- мониторинг результатов научно-технической и инновационной деятельности участников.

О факторе информатизации процессов. Важным фактором инновационной модернизации ВКХ является широкое внедрение информационно-коммуникационных технологий: развертывании инфраструктуры ГИС-систем, облачных технологий; технологии IoT; технологии искусственного интеллекта в управлении водоснабжением и водоотведением [3,4]. Концептуальная схема диспетчеризации управления водными ресурсами представлена на рис. 1.

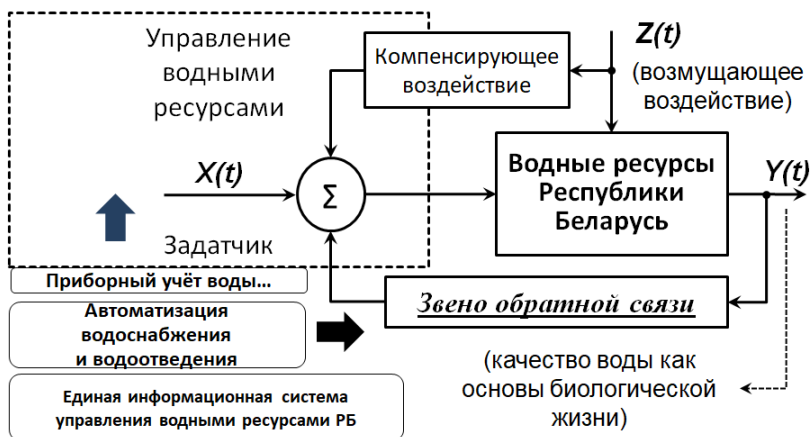


Рис. 1. Концептуальная схема диспетчеризации управления водными ресурсами

Это обеспечит:

- улучшение прослеживаемости и учета статистики и динамики движения воды в технологических процессах водоснабжения и водоотведения, в том числе в реальном масштабе времени;
- снижение потерь воды на всех стадиях ее использования;
- оптимизацию расхода ресурсов всех видов на подготовку и подачу воды потребителям;
- улучшение прослеживаемости связи между водопользованием и состоянием природных биологических и гидрологических систем на территории Республики Беларусь;
- улучшение управления количественным, качественным и пространственно-временным балансом изымаемой из природного кругооборота и возвращаемой в природный кругооборот воды в целях ее сохранения и воспроизводства;
- формирование и активное продвижение идеологических установок на рациональность водопользования, отвечающих насущным требованиям экологии, охраны окружающей среды и сбережения ресурсов природной пресной воды;
- минимизация неблагоприятного воздействия на окружающую среду и постепенного улучшения экологического состояния водных ресурсов страны.

На качество питьевого водоснабжения населения влияют многие факторы, в том числе применяемая технология водоподготовки, техническое

состояние сооружений и инженерных сетей, по которым вода подается после очистки потребителю: водопроводные сети некоторых городов эксплуатируются с нулевыми или близким к нулевым скоростям, это и создает проблему вторичного загрязнения.

Согласно СН 4.01.01-2019 «Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», п. 4.4, а ранее Т КП 45-4.01-320-2016, п. 4.4, «Проектирование систем питьевого водоснабжения» следует осуществлять с учетом развития систем водоотведения с обязательным определением и анализом водохозяйственного баланса населенных пунктов и обязательной разработкой схем водоснабжения населенных пунктов», которые, в свою очередь, является программой реализации систем водоснабжения и водоотведения [5].

Поэтому важным является создание информационных пространственно-временных моделей и цифровых двойников систем водоснабжения (ГИС-систем), в которых указывается информация об объектах водоснабжения (водозаборах, станций водоподготовки и применяемых технологиях очистки воды, насосных станциях, существующих и проектируемых инженерных сетях и сооружениях, расположении потребителей). В ГИС-системах данные представляются в электронном виде и позволяют осуществлять быстрый анализ, оценку информации и мониторинг состояния сетей и сооружений в режиме реального времени [6].

Важное свойство цифрового двойника заключается в том, что он должен быть постоянно обновляемым представлением реального физического процесса. Цифровой двойник – это динамическая, а не статическая модель реального объекта. При его эксплуатации информация с датчиков (мобильные, стационарные контрольные точки мониторинга манометрического давления и расхода), отчеты от пользователей и другие данные непрерывно передаются цифровому двойнику. Ответом из виртуального пространства в реальное становятся различные прогнозы и оценки, которые могут использоваться для улучшения работы и обслуживания реального объекта.

Примеры задач научного обеспечения ВКХ. В настоящее время отсутствует объективный учет хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенных пунктов – их объем от населения определяется расчетным методом – 100 % объема водопотребления. От абонентов (субабонентов), как правило, он также осуществляется неинструментальным методом, что зачастую несопоставимо с объемами воды, использованными абонентами и потребителями на хозяйственно-питьевые нужды.

Промышленные предприятия характеризуются существенным водопотреблением, и на них образуются значительные объемы загрязненных производственных сточных вод, которые, как правило, отводятся в централизованную систему водоотведения (канализации) городов.

Кроме того, зачастую производственные сточные воды предприятий характеризуются сложным и непостоянным составом, присутствием токсичных компонентов, нестабильностью основных параметров, которые дестабилизируют технологический режим работы очистных сооружений, препятствуют адаптации активного ила к загрязняющим веществам. На практике, качественный состав производственных сточных вод может меняться в значительной степени в течение суток (рис. 2).

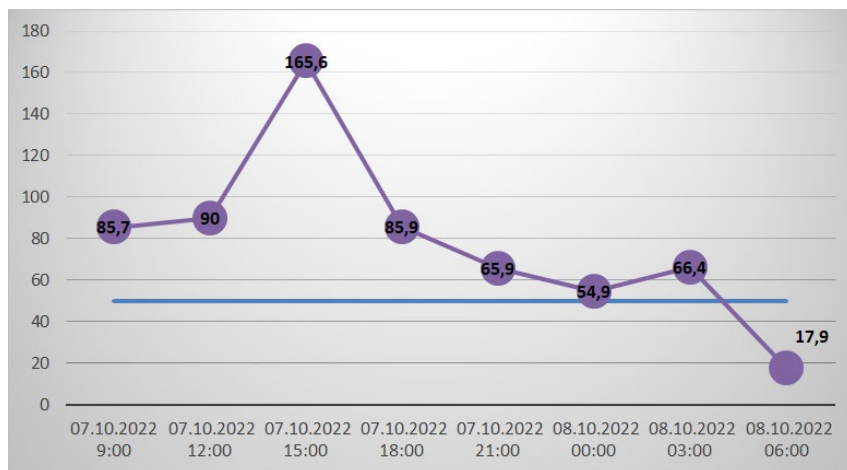


Рис. 2. Динамика показателей аммиака и ионов аммония в производственных сточных водах в течение суток (наблюдения с 07.10.2022–08.10.2022, Барановичи, ОАО «БХПО»)

Условия сброса производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) определяются Правилами пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах» (далее – Правила) [7]. Правилами также устанавливаются основные требования к производственным сточным водам и порядку лабораторного контроля за качественным составом производственных сточных вод. Контроль качества хозяйственно-бытовых сточных вод не осуществляется в связи с отсутствием требований к нормированию хозяйственно-бытовых сточных вод.

Помимо требований Правил, условия сброса сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) в каждом городе регулируются Инструкцией об условиях приема сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации), утвержденной местными исполнительными и распорядительными органами для конкретного населенного

пункта, которая разрабатывается с учетом состояния городских канализационных сетей, очистных сооружений, водоема – приемника очищенных сточных вод. Данная норма также содержится в СН 4.01.02-2019 «Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения» [5].

Согласно Правил, периодичность контроля за качественным составом производственных сточных вод – не реже одного раза в полугодие.

Решение проблемы возможно созданием и внедрением на предприятиях ВКХ информационно-аналитической WEB-системы оперативного и распределенного контроля параметров водоотведения с использованием автоматизированных систем отбора проб и датчиков дистанционного контроля параметров сточных вод на канализационных сетях.

Одной из актуальных экологических проблем, которая является глобальной не только для предприятий ВКХ, но и для республики в целом – обращение с осадками сточных вод (рис. 3).

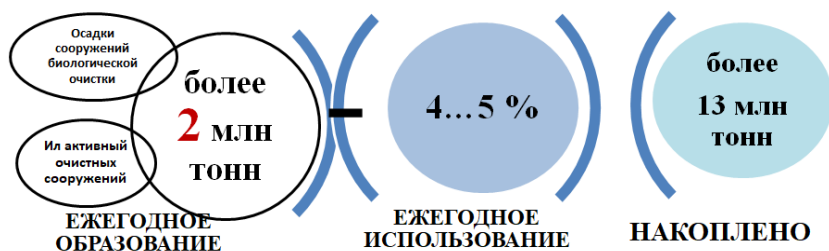


Рис. 3. Объемы образования и накопления осадками сточных вод в Республике Беларусь

Ведется разработка и готовится внедрение (Витебскводоканал) технологии переработки и хозяйственного использования осадка сточных вод (в рамках подпрограммы 4 государственной программы «Научно-инновационная деятельность НАН Беларуси»); ГПНИ «Исследование физических, химических и биоэкологических характеристик осадков сточных вод и разработка приемов использования отходов с целью снижения антропогенного воздействия на окружающую среду».

Внедрение технологии позволит сократить количество осадков сточных вод, направляемых на иловые площадки на 5–10 %, увеличить объем переработки органической части твердых коммунальных отходов на 10 %, повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 5–10 %, снизить площади под складированием осадком и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

На основании исследований состава и свойств осадков сточных вод совместно с ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт национальной академии наук Беларуси», а также в сотрудничестве с РУП «Витебский центр стандартизации, метрологии и сертификации», разрабатывается Проект Государственного стандарта Республики Беларусь СТБ XXX/ПР 1 «Органические удобрения, почвогрунты и субстраты для рекультивации с использованием осадков сточных вод. Общие технические условия».

Стандарт распространяется на органические удобрения, почвогрунты, субстраты для рекультивации (далее – удобрения, почвогрунты, субстраты), производимые с использованием осадков сточных вод, образующихся в процессе очистки хозяйственно-бытовых и городских сточных вод и соответствующих по своему составу отходам 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007.

Удобрения, почвогрунты ориентированы на применение в промышленном цветоводстве, сельском хозяйстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, субстраты – в зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, а также для рекультивации нарушенных земель и полигонов ТКО.

Реализованы следующие проекты в рамках хозяйственных договоров по заказу предприятий отрасли ЖКХ, направленные на повышение эффективности процессов и технологий (отраслевой уровень исследований):

1. Обоснованы *требования для реконструкции станций обезжелезивания воды перед ее подачей в городскую сеть (КУП «Солигорскводоканал»); определены условия работы фильтрующей загрузки станции обезжелезивания с учетом материалов отечественных производителей (КУП «Житковичский коммунальник»); разработаны меры по оптимизации технологического регламента работы объекта, в том числе продолжительность фильтроцикла, режимы промывки фильтров.*

2. Выполнена *комплексная экспертиза условий формирования состава сточных вод бассейна канализования в г. Бресте, на основании которой установлены возможные причины образования опасных газов в системе водоотведения (договор с ГП «Брестводоканал»).*

3. Выполнено *научное сопровождение освоения производства отечественных энергоэффективных насосных агрегатов для водозаборов в системах питьевого водоснабжения (договор с ОАО «Завод Промбурвод»).*

4. Проведен *комплексный анализ производственных сточных вод от ОАО «Барановичское производственное хлопчато-бумажное объединение», поступающих на очистные сооружения канализации г. Барановичи, и определено влияние специфических загрязнителей (токсических веществ, красителей), содержащихся в сточных водах, на эффективность работы городских очистных сооружений; разработаны рекомендации по вариантам*

приема производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения г. Барановичи (Барановичское КУПП «Водоканал»).

5. Выполнены аналитические исследования, разработана концепция и структура информационно-аналитической Web-системы оперативного и распределенного контроля параметров водоотведения г. Пинска для повышения безопасности и экономической эффективности функционирования очистных сооружений канализации (рис. 4 и 5).



Рис. 4. Схема территориального размещения КНС (г. Пинск)

Создание данной информационной системы позволит достичь следующих результатов:

- уменьшение (до 30 %) стоимости нового строительства (модернизации, реконструкции) очистных сооружений коммунальных и промышленных объектов путем создания оптимальных технических заданий на проектирование, (экономия может составлять от несколько десятков тысяч, до несколько миллионов рублей, зависимо от параметров объекта);

- повышение до 15 % ресурсоэффективности очистных сооружений (уменьшения удельных затрат на качественную очистку 1 м³ сточных вод) путем интеграции комплексной системы контроля параметров сточных вод городских систем канализования в существующие системы управления очистными сооружениями, при возможности предупреждения их выхода из строя;

– обеспечение превентивного противодействия рискам чрезвычайных ситуаций антропогенного загрязнения геоэкосистем на основе повышения экологической эффективности очистных сооружений и наблюдаемости характеристик процессов в системах водоотведения (в случае коммунальных объектов с возможностью точечного выявления организации, которая выполняет ненормативный сброс сточных вод, что представляют опасность для сооружений биологической очистки и окружающей среды).

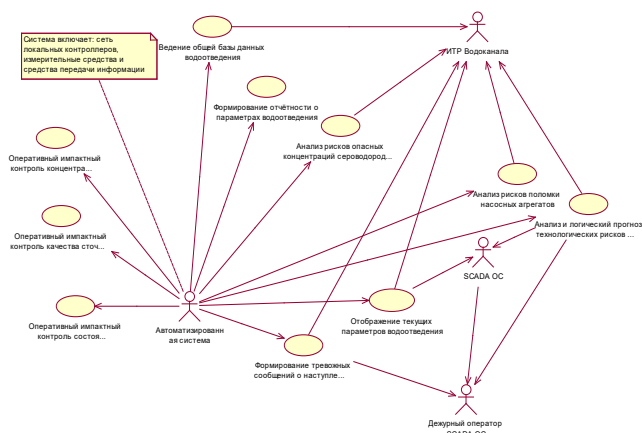


Рис. 5. Диаграмма вариантов использования «Автоматизированной распределенной Web-системы оперативного контроля параметров водоотведения согласно нотации UML (на примере г. Пинска)»

Таким образом, ВКХ Республики Беларусь является крупным отраслевым комплексом, находящимся на пороге инновационной модернизации основных процессов, что обеспечит конкурентоспособность и устойчивое развитие предприятий отрасли.

Выделено три комплекса проблем, сдерживающих переход отечественного ВКХ на новый технологический уровень: технологические и кадровые, структурно-экономические и финансово-экономические проблемы. Решение комплексных проблем связано с реализацией государственной научно-инновационной и образовательной политикой в отрасли.

Научно-инновационная политика ВКХ требует комплексного подхода в планировании НИОКР, включающих государственные программы исследований (республиканский уровень) и отраслевые исследования и разработки (отраслевой уровень), а также создание научной инфраструктуры в отрасли;

Важным аспектом снижения затрат и повышения качества является цифровизация процессов. В частности, создание единой централизованной системы учета, мониторинга, повышения качества инженерной инфраструктуры и обеспечения безопасности качества питьевого водоснабжения.

Литература

1. Директива Президента Республики Беларусь «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны» от 4 марта 2019 г. № 7 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P01900007> (дата обращения: 10.04.2025).

2. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 янв. 2021 г. № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C221-00050> (дата обращения: 10.04.2025).

3. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» доработана и утверждена / Национальная академия наук Беларуси // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2018/march/27972/> (дата обращения: 26.02.2024).

4. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года // Эталон-онлайн: информационно-поисковая система. – URL: https://etalonline.by/document/?regnum=u02004207&q_id=(дата обращения: 26.02.2024).

5. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения = Каналізацыя. Знадворныя сеткі і збудаванні : СН 4.01.02-2019 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Введ. 18.11.2024. – Минск : Стройтехнорм, 2024. – 85 с.

6. Барашкова, П. С. Возможность применения геоинформационных систем в водоподготовке / П. С. Барашкова, Ю. С. Павлушкина, Е. И. Стороженко // Наука без границ. – 2017. – № 5(10). – С. 186–189.

7. Об утверждении правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 сент. 2016 г. № 788 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600788> (дата обращения: 26.02.2024).

Результаты разработок строительных правил в области водоотведения с 2021 по 2024 год

Ануфриев В. Н.¹, Волкова Г. А.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

В статье приведены результаты разработок строительных правил в области водоотведения, выполненных с 2021 по 2024 год, в том числе, СП 4.01.01-2021 «Канализационные насосные станции» и СП 4.01.02-2022 «Сети наружной канализации и сооружения на них». В Национальном комплексе ТНПА в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности эти строительные правила входят в блок 4.01 «Водоснабжение и водоотведение». Положения, приведенные в СП, расширяют возможности проектных организаций при проектировании КНС, определении параметров канализационных трубопроводов и сооружений различных объектов.

В рамках выполнения работ по техническому нормированию и стандартизации Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь за 2021–2024 гг. разработаны строительные правила СП 4.01.01-2021 «Канализационные насосные станции» и СП 4.01.02-2022 «Сети наружной канализации и сооружения на них» [1; 2].

В СП 4.01.02-2022 рассмотрены правила проектирования безнапорных напорных, вакуумных канализационных сетей и определения размеров трубопроводов и сооружений.

Безнапорные канализационные сети – традиционные и наиболее распространенные сооружения в практике водоотведения, где отведение сточных вод осуществляется по самотечным трубопроводам в направлении уклона. Уклоны трубопроводов принимают, как правило, близкими к уклонам поверхности земли, чтобы обеспечить движение сточной воды в направлении пониженной части территории бассейна канализования. При проектировании водоотведения в населенном пункте сточные воды от зданий отводятся в дворовые канализационные сети, которые в свою очередь подсоединяются к уличным канализационным сетям. Из уличных сетей сточные воды отводятся в коллектор бассейна канализования. При благоприятном рельефе местности сточные воды могут направляться самотеком в сборный коллектор, объединяющий ряд бассейнов.

В зависимости от режима работы канализационного коллектора, поперечное сечение может иметь круглую, вытянутую (яйцевидную, эллиптическую), сжатую (лотковую, шатровую) форму. Преимущественно применяют для безнапорных канализационных трубопроводов пластмассовые, железобетонные, бетонные, хризотилцементные, стеклопластиковые трубы круглого сечения [3].

Напорные и вакуумные канализационные сети используются в тех случаях, когда применение безнапорных сетей невозможно, технически затруднительно или экономически нецелесообразно. Преимущественно напорные и вакуумные системы водоотведения применяют в сельских населенных пунктах, при низкой плотности населения, при стесненных условиях прокладки, при равнинном рельефе с низкими естественными уклонами, при наличии препятствий (водотоков, каналов, трубопроводов), при нестабильных грунтах (просадки, территории размещения выработок), при высоком уровне подземных вод, на затопляемых и подтопляемых территориях, при отведении сточных вод от временно эксплуатируемых объектов (кемпингов и т. д.).

Напорная система канализации представляет совокупность КНС небольшой производительности, отводящих сточные воды от отдельных зданий в кольцевую систему сборных трубопроводов. В состав системы входят безнапорные отводящие трубопроводы от внутренней канализации отдельных зданий к КНС, отводящие напорные трубопроводы от КНС до подключения к сборным трубопроводам, промывочные станции [4].

Принцип работы вакуумной сети канализации основан на перемещении сточных вод в трубопроводах под давлением ниже атмосферного. Системы водоотведения с использованием вакуумных канализационных сетей включают:

- приемные колодцы (камеры);
- сеть вакуумных трубопроводов;
- вакуумно-насосную станцию;
- напорный трубопровод от вакуумно-насосной станции.

Сеть вакуумных трубопроводов состоит из отводящих и сборных вакуумных трубопроводов. Сточные воды от выпусков зданий поступают самотеком в приемные смотровые колодцы. Приемные колодцы оборудуются вакуумными клапанами поршневого или мембранного типа, обеспечивающими автоматический отвод сточных вод в сборный вакуумный трубопровод. Срабатывание клапана вызывается перепадом давлений между атмосферным давлением и разрежением в трубопроводе в момент наполнения приемного колодца до определенного уровня. Давление в сенсорной трубке открывает вакуумный клапан, содержимое приемного колодца поступает в вакуумный трубопровод со скоростью 3–7 м/с, и далее сточные воды под

действием вакуума перемещаются по трубопроводу к центральной вакуумной станции.

Из центральной станции сточные воды перекачиваются на очистные сооружения или перекачиваются в трубопроводы более крупной сети безнапорной канализации. При этом центральная вакуумная станция является единственным элементом системы водоотведения, который должен снабжаться электроэнергией.

Проектирование вакуумной сети канализации основано на расчете трубопроводов, работающих под давлением ниже атмосферного, с определением требуемых диаметров труб и потерь напора в зависимости от расхода сточных вод.

К канализационным сооружениям, которые размещают на сетях и на территории очистных сооружений, относятся сливные станции. Сливные станции используются для приема сточных вод и жидких коммунальных отходов от неканализованных районов и осадков септиков.

Сливные станции, как правило, включают:

- устройство для приема жидких отходов;
- средства измерения объема поступающих сточных вод и жидких отходов;
- контейнер для размещения жидких отходов;
- устройства механической обработки, дробления, удаления отбросов;
- контейнер для размещения отбросов;
- средства измерения энергопотребления и расхода воды на разбавление жидких отходов;
- приборы контроля показателей качества принимаемых сточных вод и жидких отходов;
- устройство для обмыва транспортных средств;
- устройства вентиляции.

Системы вентиляции сливных станций проектируют с пятикратным воздухообменом в час. К сливным станциям предусматривают подъезды и площадки для размещения специальных транспортных средств и устройства для их подключения к приемникам жидких отходов станции. Отбросы, задерживаемые на сливной станции, удаляют с последующей обработкой.

Устройство снегоплавильных пунктов предусматривается на наружных сетях канализации или очистных сооружениях с целью использования тепловой энергии сточных вод для плавления снега и льда. Талая вода от снегоплавильных пунктов отводится в сети канализации. Количество сточных вод, подаваемых для плавления снега, определяется теплотехническим расчетом. Снегоплавильные пункты проектируют на основе данных расположения канализационных коллекторов населенных пунктов, площади территорий, убираемых от снега, возможности подачи сточной воды как источника теплоты, возможности отведения талой воды на очистные сооружения,

доступность транспортной инфраструктуры, возможности обеспечения санитарных и природоохранных требований.

В состав снегоплавильного пункта включают:

- снегоплавильные камеры;
- устройства и механизмы для подачи и измельчения снега;
- решетки;
- песколовки;
- сепараторы песка;
- нефтеловушки (при необходимости);
- площадку для промежуточного складирования снега;
- площадку для временного складирования извлеченных твердых отходов;
- здания с производственными и бытовыми помещениями.

Снег, поступающий на снегоплавильный пункт, измельчается перед подачей в снегоплавильную камеру, с удалением крупноразмерных включений. Для измельчения включений применяют дробилки и решетки. Для плавления снега применяют подачу сточной воды по безнапорным или напорным трубопроводам.

Снегоплавильные камеры могут быть наземными, с напорной подачей в них сточной воды или подземными, при учете сопряжения потоков сточных вод в трубопроводах [3].

В последнее время произошли существенные изменения в практике проектирования канализационных насосных станций, связанные с широким распространением погружных моноблочных насосных агрегатов, совершенствованием автоматических систем управления и защиты технологического оборудования. Кроме того, в Республике Беларусь были унифицированы требования к исполнению насосных агрегатов и порядку их испытаний путем включения ряда стандартов Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) в базу национальных технических нормативных правовых актов.

В разделе «Общие положения» СП 4.01.01 приведена классификация КНС по назначению, производительности, виду перекачиваемых сточных вод, а также положения, связанные с выполнением требований энергоэффективности, функционированием в них систем вентиляции, отопления, освещения, водоснабжения и т. д. В документе приведены положения, связанные с применением основного гидромеханического оборудования – насосных агрегатов для перекачки сточных вод и подходам к их выбору [1].

В СП приведены данные по возможному исполнению насосных агрегатов для перекачки сточных вод и возможности их применения на КНС. При выборе лопастных динамических насосов должно учитываться конструктивное исполнение их рабочих колес, которые определяют энергетические

показатели насосного агрегата и его устойчивость к засорению и блокировке. Область применения насосов с различными исполнениями рабочих колес, возможность их срезки и допустимое содержание примесей в перекачиваемой сточной воде производитель должен декларировать в эксплуатационных документах.

Важным аспектом проектирования КНС является компоновка их зданий, которая во многом определяется видом применяемого насосного оборудования. Так, классическим вариантом компоновки КНС являлось здание с подземной частью круглой формы, которая была разделена на приемный резервуар и машинное отделение. В приемный резервуар подводились сточные воды, как правило, по лоткам, в которых монтировались решетки для удаления крупных примесей. В машинном отделении размещались насосные агрегаты, всасывающие и напорные трубопроводы с арматурой.

Распространение погружных моноблочных насосных агрегатов привело к появлению схем компоновки зданий КНС, в которой машинное отделение могло отсутствовать, а насосные агрегаты монтировались непосредственно в приемном резервуаре.

В СП приведен ряд положений, связанных с оснащением приемного резервуара, правилами определения его объема. С одной стороны, объем приемного резервуара КНС должен быть по возможности минимальным, поскольку с увеличением его вместимости возрастает продолжительность пребывания сточных вод в нем, и соответственно возникает вероятность отложения примесей на дне резервуара и элементах оборудования. С другой стороны, объем приемного резервуара должен быть достаточным для обеспечения максимально равномерного режима эксплуатации насосных агрегатов.

В приложениях к СП рассмотрены режимы работы КНС и связанных с ними напорных трубопроводов, перечень насосного оборудования и оценка его применимости, что дает возможность использования рассмотренного документа как регламентации при проектировании, так и в определенной степени для целей обучения.

Положения, приведенные в строительных правилах, расширяют возможности проектных организаций в определении параметров канализационных трубопроводов и сооружений различных объектов.

Литература

1. Канализационные насосные станции : СП 4.01.01-2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 60 с.
2. Сети наружной канализации и сооружения на них : СП 4.01.02-2022. – Минск : Минстройархитектуры, 2023. – 60 с.

3. Ануфриев, В. Н. Проектирование сетей наружной канализации и сооружений на них / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2025. – № 3. – С. 45–51.

4. Перспективы применения напорных систем канализации, принципы расчета и проектирования / В. Н. Ануфриев, В. В. Алферчик, Э. Э. Семикашева [и др.] // Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов : материалы материалов международной научно-практической конференции, приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов. – Минск, 2023. – С. 120–123.

УДК 691.311:628.162.5

Анализ направлений использования отходов водоподготовки и осадков очистки коммунальных сточных вод

Комаров М. А.^{1, 2}, Кураленок А. А.²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот является актуальной задачей промышленности и экономики во всем мире. Одними из наиболее перспективных видов отходов, имеющих огромный потенциал в качестве сырья для производства высокотехнологических функциональных материалов, являются отходы водоподготовки и осадки очистки коммунальных сточных вод. Использование современных методов синтеза открывает новые перспективы по получению полифункциональных сорбционных материалов, пригодных для очистки природных и сточных вод.

При очистке коммунальных сточных вод образуется большое количество осадка, влажность которого обычно превышает 95 %. Содержание воды может быть снижено до менее чем 60 % с помощью различных методов: кондиционирование с последующим центрифугированием, различные варианты сушки и др. Из-за особой коллоидной структуры осадка обезвоживание и сушка осадка становятся очень сложными. Сушка осадка обычно должна проходить через три процесса: концентрирование, обезвоживание и сушка. Сгущение ила может удалить только часть свободной воды и иловой воды в иле, а степень обезвоживания ограничена. Обезвоживание является важным этапом сушки осадка, при этом на большинстве очистных сооружений используют только оборудование для обезвоживания осадка, но эффект от использования лишь оборудования не идеален, за счет того, что

вода в осадке не может быть полностью отделена. Таким образом, последующая стоимость удаления осадка на очистных сооружениях очень высока.

Кондиционирование осадка может эффективно уменьшить содержание воды в осадке. Чтобы снизить стоимость глубокого обезвоживания широко используется химическое кондиционирование в сочетании с технологией пластинчатых и рамных фильтр-прессов. Общая стоимость эксплуатации ниже, чем у технологии термической сушки, но и проблем больше. Для кондиционирования обычно используются трихлорид железа, негашеная известь, летучая зола и так далее. Обычно добавление коагулянта или флокулянта в сочетании с пластинчатой и рамной напорной фильтрацией может снизить содержание воды в осадке с 80 % до 60 % [1]. Из-за низкой цены широко распространена негашеная известь, с высокой эффективностью обезвоживания. Тем не менее, с точки зрения подхода к окончательному обезвоживанию шлама при добавлении химических солей и извести имеется главный недостаток: последующая обработка может осуществляться только на полигоне. Данную операцию трудно проводить за счет сжигания или компостирования с одновременного использования других утилизируемых отходов на полигоне. Следовательно, как обращаться с этим обезвоженным илом, содержащим неорганические добавки, стало важным вопросом обработки и удаления осадка.

Известны исследования, использующих муниципальный ил путем различных обжигов и модификаций для производства биологических адсорбционных материалов на основе углерода и достигших хороших результатов [2; 3]. Однако исследования адсорбционного материала городского ила, содержащего кальций и железо, недостаточны. Фактически, сульфат кальция также может стать отличным адсорбционным материалом [4] благодаря модификации и структурному регулированию. Например, Ху и др. [5] приготовили адсорбент сульфата кальция с использованием отходов сульфата кальция, полученных при электролитической обработке алюминия отработанной кислотой гидротермальным методом, и адсорбционная емкость адсорбента сульфата кальция по конго красному достигает 1860,11 мг/г. Яо и др. [6] сообщили, что $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладает хорошей способностью связывать фосфор. Результаты исследования [7] показывают, что наностержни $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладают превосходной эффективностью удаления фтора. Чен и др. [8] обнаружили, что нитевидные кристаллы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ могут эффективно удалять мышьяк из водного раствора, а его основной механизм адсорбции можно резюмировать как сочетание поверхностного растворения и химического осаждения.

Одним из перспективных подходов является обработка осадков негашеной известью из-за ее низкой стоимости и высокой эффективности обез-

воживания, а также для обеззараживания осадка. С целью ресурсосбережения для этих целей можно использовать некоторые отходы водоподготовки (известняк, осадки коагуляции) [9;10]. Переработанный данным способом осадок может быть использован в качестве почвоулучшающей добавки [11], например, для раскисления кислых почв. Однако, при доработке данного подхода с точки зрения современной химической инженерии можно получить высоко эффективные сорбционные материалы для очистки водных сред от высокотоксичных соединений, в том числе радионуклидов.

Полученные ранее данные по получению синтетических сульфатов кальция на основе кальцийсодержащих осадков водоподготовки [12–16] открыли другое перспективное направление – синтез сульфатов кальция из отходов водоподготовки и отхода серной кислоты в объеме обезвоженного осадка очистки городских сточных вод и последующего низкотемпературного и среднетемпературного пиролиза с каталитическим окислением для создания композитного адсорбционного материала $\text{CaSO}_4/\text{M-N-C}$ – кальцийсодержащего сорбционного материала, полученного при переработке отходов производств. Разрабатываемый материал содержит скелет сульфата кальция, активных центров M-N-C и значительного количества карбоксильных и гидроксильных структур гуминовых кислот и может быть переработан и регенерирован с помощью простого режима температурной или химической активации [17–20].

Разработанный материал может реализовать глубокое удаление различных загрязнителей и предполагает новую идею и метод разработки адсорбционного удаления загрязнителей воды. Результаты работы представят новое техническое решение по переработке отходов водоподготовки и очистки коммунальных сточных вод и обеспечат важную теоретическую и прикладную основу для механизма адсорбции, повышения производительности и переработки отходов в высокоэффективные адсорбционные материалы. Отличие данных материалов от аналогов – это инновационность; получение из отходов, что решает задачи ресурсосбережения и охраны окружающей среды, а как следствие приводит к уменьшению стоимости и повышению конкурентоспособности. Это полностью соответствует современному направлению циркулярной экономики (экономики замкнутого цикла).

Литература

1. Regkouzas, P., Diamadopoulos E. Adsorption of selected organic micro-pollutants on sewage sludge biochar / P. Regkouzas, E. Diamadopoulos // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 224. – P. 840–851.
2. Conversion of sewage sludge into biochar: A potential resource in water and wastewater treatment / A. Gopinath, D. Govindaraj, V. Srivastava [et al.] // *Environmental Research*. – 2021. – Vol. 194. – P. 110656.

3. Ifthikar, J. Highly efficient lead distribution by magnetic sewage sludge biochar: sorption mechanisms and bench applications / J. Ifthikar // *Bioresource technology*. – 2017. – Vol. 238. – P. 399–406.
4. Approaches for filtrate utilization from synthetic gypsum production / V. Romanovski, X. Su, L. Zhang [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30, № 12. – P. 33243–33252.
5. Facile Preparation of Super Absorbent from Calcium-Aluminum Waste Residue and Its Application for Adsorption of Congo Red / C. Hu, H. Zhang, X. Liu [et al.] // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. – 2020. – Vol. 20, № 2. – P. 769–778.
6. Thomas, M. T. Calcium sulfate: a review / M. T. Thomas, D. A. Puleo, M. Al-Sabbagh // *Journal of long-term effects of medical implants*. – 2005. – Vol. 15, № 6. – P. 599–607.
7. Behavior and mechanism of fluoride removal from aqueous solutions by using synthesized $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ nanorods / S. Shao, B. Ma, Y. Chen [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Vol. 426. – P. 131364.
8. Exploration of As (III)/As (V) uptake from aqueous solution by synthesized calcium sulfate whisker / X. Chen, L. Yang, J. Zhang [et al.] // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2014. – Vol. 22, № 11–12. – P. 1340–1346.
9. High strength anhydrite cement based on lime mud from water treatment process: one step synthesis in water environment, characterization and technological parameters / M. Kamarou, H. Tan, D. Moskovskich [et al.] // *Engineering Reports*. – 2025. – Vol. 7. – № 1. – P. e13054.
10. High-strength gypsum binder with improved water-resistance coefficient derived from industrial wastes / M. Kamarou, D. Moskovskich, K. V. Kuskov [et al.] // *Waste Management & Research*. – 2025. – Vol. 43, № 2. – P. 213–224.
11. Комаров, М. А. Синтез дигидрата сульфата кальция из техногенного сырья / М. А. Комаров, Н. Г. Короб, В. И. Романовский // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки*. – 2020. – № 16. – С. 76–82.
12. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste / V. Romanovski, D. Moskovskich, H. Tan [et al.] // *Engineering Reports*. – 2025. – Vol. 7. – №. 1. – P. e13028.
13. Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue / C. Wang, X. Ma, W. Zhong [et al.] // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2024. – Vol. 26, № 3. – P. 1588–1595.
14. Preparation of anhydrite whiskers from red gypsum and application in polyvinyl chloride / C. Wang, J. Chen, D. Liu [et al.] // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2025. – Vol. 27, № 2. – P. 973–983.

15. Effect of calcination temperature and superplasticizer on the properties of anhydrite II from phosphogypsum / D. Liu, J. Chen, X. Ma [et al.] // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2024. Vol. 149., № 21. – P. 11587–11597.
16. Low energy synthesis of anhydrite cement from waste lime mud / M. Kamarou, D. Moskovskich, H. L. Chan [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2023. – Vol. 98, № 3. – P. 789–796.
17. Low-temperature desiliconization of activated zircon concentrate by NH₄HF₂ solution / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Minerals Engineering. – 2022. – Vol. 189. – P. 107909.
18. A novel low-energy approach to leucoxene concentrate desiliconization by ammonium bifluoride solutions / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2023. – Vol. 98, № 3. – P. 726–733.
19. Low-temperature method for desiliconization of polymetallic slags by ammonium bifluoride solution / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30, № 11. – P. 30271–30280.
20. Abdulwahid, M. Y. The production of environmentally friendly building materials out of recycling walnut shell waste: A brief review / M. Y. Abdulwahid, A. A. Akinwande, M. Kamarou [et al.] // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2024. – Vol. 14, № 20. – P. 24963–24972.

УДК 627.17

Озеро собирающее каждую крупницу воды в пустыне

Мередова Х. А., Таганов Ч. Х., Аширов А. И.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашгабад, Туркменистан

В Туркменистане ведется грандиозная работа по рациональному использованию водных ресурсов, улучшению водоснабжения орошаемых земель, освоению новых посевных площадей. Уникальное озеро «Алтын асыр» – рукотворный водоем Центральных Каракумов, который будет служить веками во благо туркменского государства. Это озеро призвано изменить облик всей туркменской земли, оживить ее пески и степи, внести новые краски в ее флору и фауну.

Обдуманый и комплексный подход к вопросам рационального использования водных ресурсов, снабжения населения чистой питьевой водой – неотъемлемая часть всей проводимой в стране государственной политики. Законодательной базой здесь выступает Кодекс Туркменистана «О воде».

Присоединившись к базовой Конвенции Организации Объединенных Наций об охране природы, Туркменистан активно участвует в осуществляемых международным сообществом совместных проектах по актуальным, волнующим всех вопросам экологии, проблемам сбережения и восстановления воды и других природных ресурсов, борьбы с опустыниванием, выведения из строя плодородных земель, глобального изменения климата. В решении этих проблем Туркменистан тесно сотрудничает с сопредельными государствами, а также с международными организациями – Организацией Объединенных Наций, Евросоюзом, Глобальным экологическим фондом [1].

Как известно, выдвинутые нами инициативы по обеспечению водной и экологической безопасности, бережному использованию трансграничных водных ресурсов в Центральной Азии, а также по борьбе с последствиями экологического кризиса Арала свидетельствуют о том, что Туркменистан прилагает огромные усилия и вносит заметный вклад в общее дело защиты природы и улучшения состояния окружающей среды. В прошлом наши предки приравнивали каждую каплю воды к крупице золота, считая ее посланием Небес, щедрым даром Творца, а значит святыней. Туркменское озеро «Алтын асыр» – этого беспрецедентный рукотворный водоем Центральных Каракумов, величайшей пустыни мира. Это озеро призвано изменить облик всей туркменской земли, оживить ее пески и степи, внести новые краски в ее флору и фауну.

Для сбережения водных ресурсов, наши мудрые прадеды прокладывали искусственные реки, арыки, каналы, строили водохранилища, озера, кяризы, сооружали множество других оросительных систем. Они стремились сберечь всю имеющуюся влагу, не потерять ни единой капли воды. Неспроста родилась в народе мудрая поговорка «Вода устремляется к стоку, счастье – к улыбке».

В стране ведется грандиозная работа по рациональному использованию водных ресурсов, улучшению водоснабжения орошаемых земель, освоению новых посевных площадей. Расширяются действующие водоемы, ведется строительство новых водохранилищ, осуществляется прокладка оросительной системы, каналов, многие из них обновляются, внедряются современные технологии орошения [2].

Значение Туркменского озера «Алтын асыр» поистине неопределимо, и не только для нашей страны, но и для всего региона Центральной Азии. Недаром говорят старейшины: «Вода – отец, земля – мать». Мы принесли в Каракумы первую влагу, а если точнее, то вдохнули в эти ранее безжизненные, сыпучие пески новую жизнь.

Вследствие сброса в естественную впадину Кара-шор на северо-западе страны стекающих с ее полей соленых вод объем озера составляет 132 миллиарда кубических метров. А протяженность всех каналов для сброса этих

вод превышает 2600 километров. Протоки служат основным источником орошения, они превратят Каракумы в цветущий оазис.

Согласно проекта строительство русел Туркменского озера проведено в три этапа. После завершения строительства второй и третьей очередей проекта образовалась единая дренажная система, которая охватывает все поля страны.

На бескрайних просторах Каракумов появляются новые орошаемые посевные земли. А множество впадин самой разной величины, расположенные вдоль Главного коллектора, превращаются в красивые озера, рядом с которыми возникают современные рыболовецкие хозяйства.

Строительство Дашогузского коллектора предусматривает сброс части соленых вод межгосударственных коллекторов Колли и Дерьялык в Туркменское озеро, что приведет к снижению уровня воды в этих коллекторах и значительному улучшению мелиоративного состояния полей Дашогузского велаята. Помимо этого, проложены межэтрапские дренажные системы. На строительные работы, этой стройки века, были направлены очень крупные силы и средства, задействованы сотни единиц сверхмощной техники. На берегах Туркменского озера «Алтын асыр» возникают новые поселки, села. Как говорится в старинной пословице, «Вода, увеличиваясь, озером становится, люди, собравшись, образуют народ». Все предпринимаемые нами меры направлены на достижение стабильного социально-экономического развития, в чем заинтересовано сегодня все мировое сообщество.

Ставя перед собой эти высокие цели, мы ведем большую работу в своей стране, где ставим на службу народу разветвленную сеть водных источников, десятки водоемов. Хотелось бы отметить, что у нас широко внедряются передовые методы рационального использования воды, полива полей, в том числе и капельное орошение. Это позволяет нам бережно использовать каждую каплю воды наших рек – Амударьи, Каракум-реки, Мургаба, Теджена, Атрека, а также озер и водохранилищ, родников и ручьев. Сегодня, в век прогресса в самых разных областях, мы должны с еще большим вниманием и ответственностью относиться к использованию и сбережению воды, ведь она – источник жизни и нашего благополучия. Как зеницу ока мы обязаны беречь наши реки и озера, родники и водохранилища. Все свои силы и знания мы должны направить на приумножение достижений, на то, чтобы превратить родную землю в цветущий оазис, в край изобилия и богатства.

В условиях ограниченных водных ресурсов мы должны рационально использовать оросительную воду для орошения сельскохозяйственных культур, научиться разумно использовать каждую каплю воды, внедрять водосберегающие технологии, прежде всего капельное орошение, в особенности для плодоводства, уметь при минимальных затратах воды получить максимальные урожаи с земли. Исключить расточительное использование воды.

Улучшить мелиоративное состояние посевных площадей, техническое состояние и качество водохозяйственного строительства.

В настоящее время многие оросительные каналы проходят в земляном русле, из которого происходит значительное количество фильтрации воды. В связи с этим также пополняются грунтовые воды и происходит их поднятие. Таким образом, в настоящее время образование в определенном количестве коллекторно-дренажной воды на орошаемых землях, является реальной действительностью, а сбор и отвод этих вод за пределы орошаемых территорий – необходимым условием.

Плод этих масштабных работ, подлинная гордость народа – Туркменское озеро «Алтын асыр». Его значение поистине неопределимо не только для нашей страны, но и для всего региона Центральной Азии.

Наши предки относились к воде с большим почтением и, увидев протекающую воду, обращались к ней с уважением. Немало примеров уважительного отношения к воде встречается при ознакомлении с народным творчеством. Туркмены всегда рассматривали воду как источник всего благого, как источник жизни. «Капля воды – крупица золота», «Роднит не земля, а вода», многие другие пословицы, поговорки свидетельствуют о бережном отношении туркмен к воде.

Водные ресурсы Туркменского озера Золотого века позволят в будущем развивать высокими темпами народное хозяйство, улучшить экономические возможности страны. Туркменское озеро Золотого века, являясь уникальным гидротехническим сооружением, имеет грандиозное значение в выполнении важных и неотложных задач, поставленных перед специалистами сельского и водного хозяйства, учеными, тружениками села по возрождению благодатной туркменской земли, оздоровлению экологической обстановки в стране и в регионе, повышению социально-экономического уровня населения. Это уникальное озеро – неиссякаемый источник воды будет служить веками во благо туркменского государства и братских соседних стран. Это озеро призвано изменить облик всей туркменской земли, оживить ее пески и степи, внести новые краски в ее флору и фауну. Мы принесли в Каракумы первую влагу, а если точнее, то вдохнули в эти ранее безжизненные сыпучие пески новую жизнь.

На глазах новые каналы превращают Каракумы в цветущий сад, что придала живительная сила в эту пустыню. В наших Каракумах осадков выпадает 130–200 мм в год, там прекрасно растут саксаул, черкез и другая растительность. Поэтому правильно было бы назвать Каракумы – не пустыней, а степью. По заключениям московских ученых, приехавших в Туркменистан во второй половине прошлого века, Каракумы не являются кварцевыми песками, оставленными морем и безжизненными, не пригодными для орошения, как пески Сахары, Такламекана, они являются песками, возникшими

в результате осадения плодородного ила, принесенного Амударьей. Поэтому они вполне пригодны для орошения. Если вести разговор о значении Каракумов, то можно смело сказать: «Каракумы – кладовая сокровищ».

Это действительно так. Подземные недра Каракумов, их животный и растительный мир, природные строительные материалы, такие как кварц, кремний, неиссякаемые золотые пески – все это является сокровищами Каракумов, унаследованными туркменами. Если признаться, Каракумы, которые простираются по параллели 800 км, по меридиану 450 км, охватывающие 350 тыс. км², начали приоткрывать свои сокровища после того, как был дан старт новой очереди Туркменского озера и его водным артериям. В будущем с вводом в эксплуатацию «стройки века» это сокровище обеспечит достойную жизнь туркменскому народу.

Ученые подсчитали, что в настоящее время в Каракумах имеются свыше 5 тысяч ранее построенных действующих колодцев. Ввод в эксплуатацию озера и коллекторов равнозначен десяткам тысяч таких колодцев. Поэтому новое гидросооружение именуется «стройкой века». Это сооружение не только изменит внутреннюю карту Туркменистана, в том числе и Каракумов, но и их статус как природного ландшафта. До сих пор считалось, что пустыни охватывают 20 % суши земного шара. Теперь, после создания новых водотоков в песках Каракумов, вполне возможно, что эта цифра изменится в сторону уменьшения.

По сведениям специалистов Министерства водного хозяйства Туркменистана, ученых Туркменского сельскохозяйственного университета им. С. А. Ниязова, в условиях Туркменистана можно использовать воду для орошения. Ученые установили, что в определенных благоприятных природных условиях минерализованные воды, соленость которых составляет даже 5 г/л, могут быть использованы для орошения. Сравним эти цифры. Количество солей в одном литре воды равно: в Черном море 18 г, в Каспийском море 14 г, в Мировом океане 35 г. Результаты научных исследований показывают, что, орошая природные пастбища Каракумов минерализованными водами, возможно улучшить флору песков.

У Туркменистана огромная территория с благодатной землей. Из 48,8 млн. га земель 4–5 млн. га считается плодородными, а 14 млн. га являются благоприятными для освоения [1]. Вдоль трассы Главного коллектора имеются несколько впадин. С приходом воды в них образуются прекрасные и удивительные озера. В них появятся сотни современных рыбных хозяйств. Например, три озера Главного коллектора емкостью 1200 млн. м превратятся в крупные рыболовецкие хозяйства.

С освоением новых земель здесь появятся новые культуры – будут выращиваться солеустойчивые сахарная и кормовая свекла, суданская трава,

ячмень, будет создаваться прочная кормовая база для животноводства. Каракумы являются благоприятным местом для виноградарства. На севере Ашхабада в Овадандепе, на песках площадью тысяча гектаров вот уже в течение 40 лет выращивается виноград, дающий хороший урожай. По утверждениям специалистов, имеется несколько преимуществ выращивания винограда на песчаных почвах. Например, в условиях сухого, жаркого климата виноградникам не угрожают вредители и болезни, что дает возможность сэкономить средства на покупке химикатов. Только два раза в году виноград обрабатывается серой. В итоге получают экологически чистую продукцию. Такой виноград устойчив в зимние холода.

Естественную продуктивность пастбищ можно будет увеличить путем посева растений с последующим поливом минерализованными водами. Созданные новые фермерские хозяйства легко могут освоить данную технологию и таким образом улучшить кормовые запасы.

Вдоль трассы Главного коллектора Туркменского озера расположены 800 тысяч гектаров пустынных песчаных почв, которые могут быть орошены дренажными водами. Вдоль трассы этого коллектора за счет этих земель вблизи овцеводческих ферм будут созданы участки орошаемых земель. Практика орошаемого земледелия показывает, что для каждого велаята нашей страны характерны отдельные виды сельскохозяйственных культур. Такие культуры как джугара, люцерна, ячмень, подсолнечник, бахчевые и корнеплоды – будут испытаны на орошаемых землях, расположенных вблизи ферм.

Для увеличения продуктивности пастбищного животноводства, а также для создания запасов кормов, туркменские ученые разработали методы возделывания солеустойчивых сортов растений. Также разработан способ опреснения минерализованных вод для водоснабжения, практикуемый в некоторых странах мира. По мнению ученых, создание крупного озера и коллекторов в Каракумах приведет к значительному увеличению численности птиц, Каракумы наполнятся их разноголосым пением.

Наша страна является местом обитания и зимовки многих видов птиц. Южное географическое расположение Туркменистана, близость Каспийского моря, благоприятные природные климатические особенности создают условия для зимовки более 140 видов птиц (гусей, уток, лысух и других), обитающих в водах Каспийского моря (ежегодно около 0,5–0,7 млн, иногда около 2 млн). Их место зимовки располагается на берегу Каспийского моря. Создание в Каракумах нового Туркменского озера, Главного коллектора, несомненно, будет способствовать улучшению мест обитания водных птиц.

Ввод в эксплуатацию Туркменского озера приведет к улучшению экономического, экологического состояния страны и социальных условий населения.

Следует отметить, что учеными Туркменистана разработаны и внедрены в производство методы очистки дренажных вод и повышения их качества. По разработанной ими методике дренажные воды предполагается очищать растениями-сорбентами, растущими в воде, а также травоядными рыбами. Кроме того, разработаны способы опреснения дренажных вод с использованием солнечной энергии и местных сорбентов.

В мировой практике имеются различные способы и опреснители воды для использования в водоснабжении. Такие опреснительные установки используются в некоторых этрапах Дашогузского велята.

Строительство Туркменского озера «Алтын асыр» предотвратит знойную жару и засуху в Каракумах, позволит повысить продуктивность естественных пастбищ, еще больше развивать животноводство, рыбную отрасль, во всех велятах значительно понизить уровень грунтовых вод, предотвратить вторичное засоление орошаемых земель и значительно улучшить их мелиоративное состояние и, в результате, увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, создать продовольственное изобилие и прочную кормовую базу.

Это грандиозное сооружение обеспечит страну достаточными водными ресурсами, позволит выполнить программу Президента по продовольственному изобилию и экспорту продовольствия, будет способствовать дальнейшему процветанию Туркменистана и благополучию его народа.

Литература

1. Berdimuhamedow, G. Garaşsyzlyk – bagtymyz / G. Berdimuhamedow. – Aşgabat : Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2021. – 214 p.
2. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi // Turkmenistan Altyn asyr. – URL: <https://turkmenistan.gov.tm/tk/habar/48942/turkmenistanyn-prezidenti-gurbanguly-berdimuhamedowyn-ministrler-kabinetinin-ginisleyin-mejlisinde-sozlan-sozi> (дата обращения: 12.05.2024).

**Принципиальная схема синтеза полифункциональных
фильтрующих материалов методом экзотермического
горения в растворе**

Пропольский Д. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Актуальной проблемой водоподготовки ряда стран является обезжелезивание подземных вод. Наиболее распространенным методом удаления железа является использование фильтров с инертными материалами. Применение для этих целей полифункциональных модифицированных материалов позволит увеличить эффективность обезжелезивания и работы станции водоподготовки. Получение такого материала должно осуществляться доступными и энергоэффективными методами. В данном докладе представлена принципиальная схема синтеза полифункциональных материалов методом экзотермического горения в растворах.

Технологическая схема водоподготовки определяется в зависимости от источника водоснабжения, имеющихся в нем видов загрязнений и их концентраций. В результате качество полученной питьевой воды должно соответствовать требованиям стандартов (в Республике Беларусь регулируется требованиями Постановления Совета Министров № 37 [1]). Наиболее актуальной для страны проблемой водоподготовки является обезжелезивание подземных вод [2–4] в связи с многократным превышением ПДК по железу на всей территории республики. Хотя существующие в практике методы удаления железа могут быть действенными, но часто имеют ряд ограничений в использовании [5–7]. Сюда можно отнести высокую ресурсозатратность метода, использование реагентов и необходимость утилизации образовавшегося осадка [8–10], наличие трудноудаляемых форм железобактерий и т. д. Также данные методы включают в себя либо требуют наличие этапа фильтрации через инертные материалы. По этой причине применение фильтрующих загрузок природного (кварцевый песок, активированный уголь [11; 12], антрацит [13]) либо искусственного (МТМ, Birm, Filter AG и другие) происхождения является актуальным для всех методов удаления железа. Также для данных целей могут использоваться полифункциональные фильтрующие материалы. При их синтезе задаются необходимые свойства материала, что позволяет увеличивать эффективность работы многослойных фильтров.

Перспективным недорогостоящим методом получения полифункциональных фильтрующих материалов для сразу нескольких целей водоподготовки является метод экзотермического горения в растворах (SCS). Принципиальная схема синтеза представлена на рис.

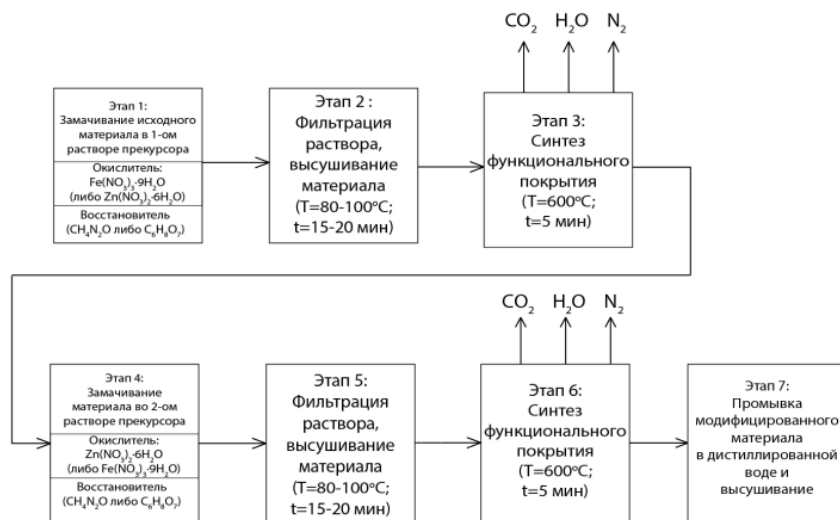


Рис. Принципиальная схема синтеза полифункциональных фильтрующих материалов методом экзотермического горения в растворе

Сущность метода заключается в вымачивании исходного материала в водном растворе восстановителя (например, мочевина ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) либо лимонная кислота ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) и одного из нитратов металлов (например, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ либо $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (этап 1). После полученный материал фильтруется и помещается в сушильный шкаф при температуре 100°C на 15–20 минут (этап 2). Далее обработанный материал помещается в муфельную печь при температуре 600°C на 5 минут до окончания экзотермической реакции (этап 3). Это приводит к вжиганию в поверхность исходного материала оксида металла, который образуется в результате химической реакции [14]. После получения первого покрытия представленные этапы повторяются для раствора с другим нитратом металла (этапы 4–6). В конце материал промывается дистиллированной водой и высушивается.

В качестве исходного для модификации материала могут использоваться материалы низкой стоимости либо переработанные отходы производства,

а применяемые для синтеза реагенты являются распространенными и доступными. Эффективность использования таких материалов для обезжелезивания подземных вод была показана в статье [14]. Таким образом использование полифункциональных фильтрующих материалов является перспективным направлением в области водоподготовки.

Литература

1. Об утверждении гигиенических нормативов : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037&p1=1&p5=0> (дата обращения: 12.05.2024).

2. Романовский, В. И. Анализ загрязнений источников питьевого водоснабжения в Республике Беларусь / В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Серия : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 65–67.

3. Новицкая, А. В. Проблема обезжелезивания и деманганации подземных вод / А. В. Новицкая // Креатив и инновации 2024 : материалы 80-ой студ. науч.-техн. конференции в рамках Международного молодежного форума, Минск, 21 мая 2024 г. ; сост. : С. А. Дубенок, М. И. Лемеш. – Минск, 2024. – С. 46–51.

4. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 янв. 2021 г. № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: [https://pravo.by/document/? gu-id=3871&p0=C22100050](https://pravo.by/document/?gu-id=3871&p0=C22100050) (дата обобщения: 12.05.2024).

5. Prapolski, D. Recent advances in underground water deironing and demanganization: comprehensive review / D. Prapolski, V. Romanovski // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Vol. 70. – P. 107089.

6. Пропольский, Д. Э. Обзор достижений водоподготовки в области деферризации и деманганации подземных вод / Д. Э. Пропольский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 1. – С. 18–26.

7. Романовский, В. И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Серия : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2. – С. 90–92.

8. Romanovski, V. Comparative analysis of the disinfection efficiency of steel and polymer surfaces with aqueous solutions of ozone and sodium hypochlorite / V. Romanovski, A. Paspelau, M. Kamarou [et al.] // Water. – 2024. – Vol. 16, № 5. – P. 793.

9. Fall and Rise: Disentangling Cycle Life Trends in Atmospheric Plasma-Synthesized FeOOH/PANI Composite for Conversion Anodes in Lithium-Ion

Batteries / E. V. Beletskii, A. I. Volkov, K. A. Kharisova [et al.] // ChemEngineering. – 2024. – Vol. 8, № 1. – P. 24.

10. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste / V. Romanovski, D. Moskovskikh, H. Tan [et al.] // Engineering Reports. – 2025. – Vol. 7, № 1. – P. e13028.

11. Пропольский, Д. Э. Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Серия : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 47–50.

12. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapinski [et al.] // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996.

13. Пропольский, Д. Э. Фильтрующие материалы для обезжелезивания и деманганации подземных вод: критерии подбора, разновидности и условия применения / Д. Э. Пропольский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 4. – С. 10–19.

14. Пропольский Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – № 4. – С. 103–111.

УДК 628.161

Математическое управление процессами обезжелезивания и деманганации

Портнова Т. М.¹, Витковская Р.Ф.², Нестерова Т.М.²

¹ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»,

²Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна
Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматриваются перспективы и возможности применения математического моделирования для управления процессами обезжелезивания и деманганации, которые являются крайне важными этапами очистки вод подземных источников. Повышенные концентрации железа и марганца в питьевой воде оказывают негативное влияние на ее качество, вызывая коррозию труб, образование отложений и ухудшение органолептических свойств. Математическое моделирование позволяет оптимизировать управление процессами деманганации и обезжелезивания, предсказывая поведение загрязняющих веществ в различных условиях и помогая разрабатывать различные эффективные стратегии управления.

Качество питьевой воды является одним из ключевых факторов, определяющих здоровье населения и устойчивое развитие территорий. Повышенное содержание ионов железа и марганца в природных водах – распространенная проблема, приводящая к изменению органолептических свойств воды (цветность, мутность, привкус), отложению осадков в трубопроводах, нарушению работы бытового и промышленного оборудования. Нормативное содержание железа в питьевой воде, согласно СанПиН 1.2.3685-21, не должно превышать 0,3 мг/л, марганца – 0,1 мг/л [1].

Традиционные методы обезжелезивания и деманганизации, основанные преимущественно на окислении растворенных металлов с последующим осаждением и фильтрацией, являются высокоэффективными. Однако их работа часто базируется на эмпирических подходах и ручном управлении, что может приводить к перерасходу реагентов, нестабильности качества очищенной воды и неоптимальным эксплуатационным затратам.

В условиях возрастающих требований к качеству воды, ужесточения экологических нормативов и необходимости оптимизации ресурсов, применение математических методов управления приобретает особую актуальность.

Разработка и внедрение автоматизированной интеллектуальной системы управления технологией водоподготовки на основе применения методов математического моделирования, использующих информацию о качестве измеряемой среды, поступающую в режиме реального времени позволяет:

- оценивать текущую эффективность технологических процессов;
- изменить традиционную концепцию способа управления процессами производства питьевой воды путем изменения (пересмотра) набора значимых управленческих параметров;
- создать новую парадигму надежности и безопасности питьевого водоснабжения.

В настоящее время ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» осуществляет внедрение автоматизированных интеллектуальных систем, основанных на методах математического моделирования, как на пяти основных станциях водоподготовки, использующих воду поверхностного источника р. Невы, так и на станции обезжелезивания и деманганизации, где осуществляется подготовка воды подземного источника, расположенной в г. Зеленогорске.

Процесс производства питьевой воды на водопроводной станции Зеленогорска включает двуступенную схему, обеспечивающую обезжелезивание на первой ступени и деманганизацию на второй. Процесс обезжелезивания основан на окислении нерастворимых соединений двухвалентного железа кислородом воздуха аэратора и гипохлоритом натрия, после чего образовавшиеся частицы нерастворимого трехвалентного железа задерживаются инертной загрузкой скорых фильтров. Для обеспечения эффективного процесса деманганизации приме-

няют напорную фильтрацию на каталитической загрузке пиролюзита. Поддержание загрузки в активном состоянии обеспечивается также за счет дозирования гипохлорита натрия.

На основании технологических регламентов производства питьевой воды в г. Зеленогорске, инструкций, действующих на водопроводной станции, а также массива исторических данных в рамках разработки автоматизированной интеллектуальной системы, была построена графовая математическая модель, графовая математическая модель предствалена на рис. 1.

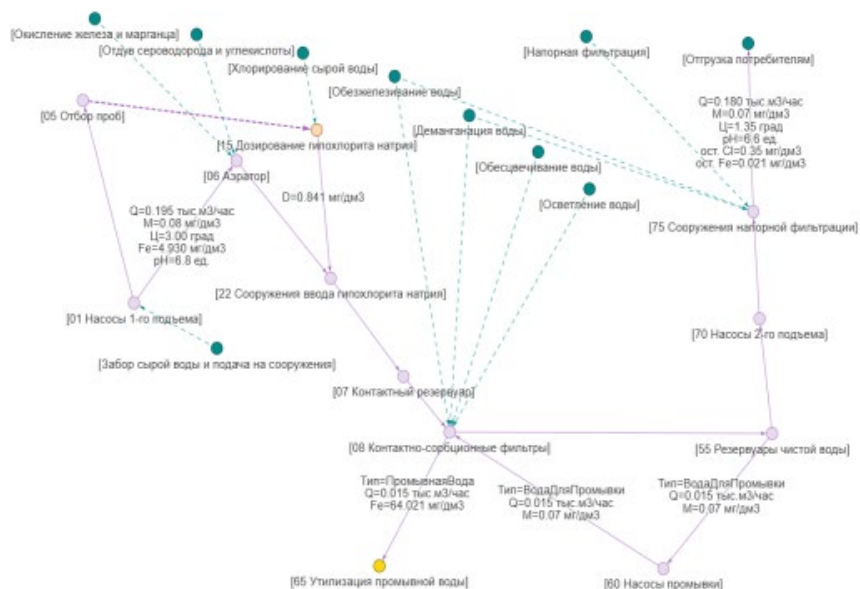


Рис. 1. Графовая математическая модель технологического процесса на водопроводной станции г. Зеленогорска

Узлы графовой модели соответствуют основным процессам водоочистки, связанное с этими процессами технологическое оборудование и точки ввода реагентов.

Направление дуг графа, связывающих узлы, отражает последовательность процессов водоочистки, а также движение очищенной воды, промывной воды и реагентов.

Для каждого узла формируется набор неуправляемых параметров процесса водоочистки. Эти параметры учитываются при расчете изменения контролируемых показателей эффективности технологического процесса.

Неуправляемые параметры определяют исходное качество сырой воды и состояние моделируемого объекта водоподготовки. Неуправляемые параметры задаются пользователем перед началом расчетов.

На представленной модели розовым цветом обозначен основной технологический процесс производства питьевой воды, зеленым выделены методы водоподготовки в различных точках технологического процесса, оранжевым – введение реагентов, а желтым – движение потоков, связанных с промывными водами. Таким образом, на демонстрируемой модели отражены все взаимосвязи потоков.

На основании результатов исследования качества воды по этапам водоподготовки за период с 2022 года произведен расчет корреляционных взаимосвязей параметров модели. Корреляционные зависимости могут быть рассчитаны для любых параметров, технологический процесс осуществляется и оценивается на основе наиболее значимых, уравнения регрессии параметров на водопроводной станции г. Зеленогорска представлена на рис. 2.

$Dose_NaOCl = 7.5220E-001 + 2.2895E-001*[Fe_Raw] - 2.1773E-002*[Q_Raw] - 2.1629E-002*[T_Raw] + 8.5401E-002*[pH_Raw]$
 $[Cl_Decr] = 3.9533E-001 + 2.4767E-001*[Fe_Raw] - 2.0853E-002*[Mn_Raw] + 1.3005E-001*[pH_Raw] - 4.3790E-002*[Q_Raw]$
 $[Fe_Decr] = 3.6894E+000 + 3.8492E+000*[Fe_Raw] - 3.5667E-004*[T_Raw] + 8.2227E-003*[pH_Raw] + 3.9237E-003*[Dose_NaOCl]$
 $[Mn_Decr] = 8.6109E-001 + 3.4000E+000*[Mn_Raw] + 1.0267E-001*[T_Raw] + 4.3987E-001*[pH_Raw] + 1.3456E-001*[Dose_NaOCl]$
 $[WashTime] = 6.6670E-001 - 4.9690E-006*[Q_Raw] + 3.3501E-006*[Fe_Raw] - 1.1821E-005*[Dose_NaOCl]$
 $[WashNum] = 4.9698E+000 - 5.8386E-002*[Q_Raw] - 1.6209E-001*[Fe_Raw] + 1.6909E-001*[Dose_NaOCl]$
 $[CycleTimeMean] = 2.4000E+001 - 1.0535E-010*[Q/NF] + 6.5788E-011*[Fe_Raw] - 1.9405E-007*[Num_Wash]$
 $[pH_Filtrate] = 6.5734E+000 + 6.7250E-002*[Fe_Raw] - 2.3830E-002*[Dose_NaOCl] + 1.8448E-001*[pH_Raw] - 8.8387E-002*[Q_Raw]$

Рис. 2. Уравнения регрессии параметров на водопроводной станции г. Зеленогорска

Одним из наиболее значимых параметров является доза гипохлорита натрия, включая процесс аэрации воды, также обеспечивающий окисление соединений железа и марганца. Корректный выбор дозы позволяет вести процесс обезжелезивания и деманганизации с наибольшей эффективностью, обеспечить бесперебойную работу каталитической загрузки напорных фильтров, а также поддерживать гарантированное качество питьевой воды по микробиологическим показателям. Исходя из полученного уравнения регрессии следует, что доза гипохлорита зависит от концентрации железа в сырой воде, объема воды, поступающей на сооружения, температуры и pH обрабатываемой воды.

Далее представлены корреляционные зависимости снижения концентрации хлора, железа и марганца в зависимости от параметров обрабатываемой воды и режимов водоподготовки.

В последней строке представлена корреляционная зависимость показателя pH в фильтрованной воде. Повышенное внимание, которое уделяется

этому параметру, связано с тем, что рН исходной воды в Зеленогорске достаточно низкий, около 6,8–7,0, при этом при образовании нерастворимых гидроксидов железа и марганца рН воды снижается и возникает риск необеспечения качества питьевой воды на выходе с сооружений по данному показателю (ПДК, согласно СанПиН 1.2.3685-21, составляет 6–9).

Кроме того, рассчитаны зависимости длительности и средней продолжительности промывки, а также их количества.

В результате внедрения автоматизированной интеллектуальной системы будет получен удобный инструмент, помогающий технологу водопроводной станции оценивать эффективность текущего процесса производства питьевой воды и проверять правильность выбранных решений. Использование «цифрового помощника» позволит вводить в модель «в ручном» режиме текущих данных для оценки изменения протекания технологического процесса через определенное время. При этом часть данных автоматически поступает в систему из лабораторных систем и систем КИП. Визуальное оформление «Цифрового помощника» представлено на рис. 3.

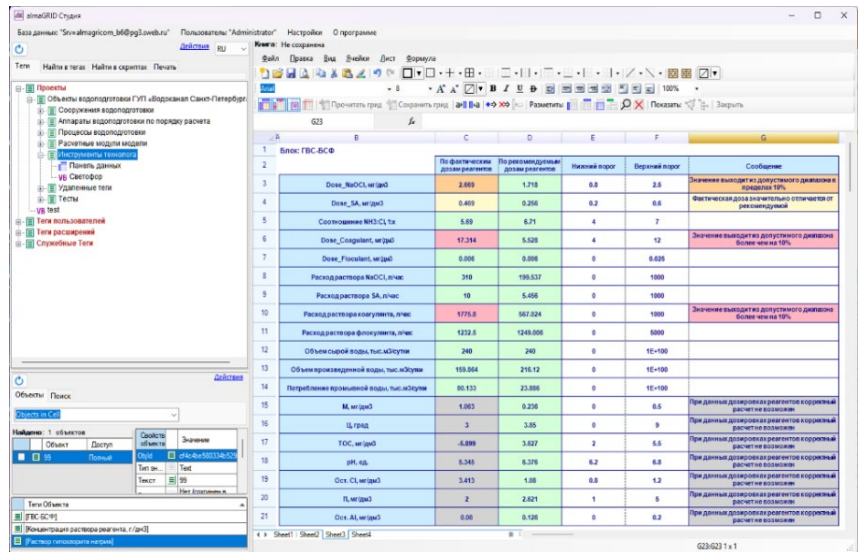


Рис. 3. Визуальное оформление «цифрового помощника»

Для визуального удобства реализована технология «Светофора», зеленым цветом подсвечены показатели, находящиеся в диапазоне «Нормальных» или «Штатных» значений (эти значения заложены при разработке модели), в случае выхода значений за границы диапозоне не более чем на 10 %

ячейка подсвечивается оранжевым цветом, если выход из диапазона более чем на 10 % цвет становится красным, обращая внимание персонала на необходимость изменения режимов работы ВС.

По итогам проделанной работы стоит отметить, что инструменты математического моделирования являются важнейшей и неотъемлемой частью процесса создания автоматизированной, интеллектуальной системы управления технологией производства воды. Применение такой системы позволит обеспечить надежность технологических процессов водоподготовки и своевременно корректировать технологические параметры с целью недопущения производства некачественной питьевой воды.

В дальнейшем внедрение цифровых технологий производства питьевой воды – перспективная стратегия обеспечения доброкачественной питьевой воды населения планеты и повышения качества жизни.

Использование «цифрового помощника» позволит предоставлять технологу оперативные подсказки, а также даст возможность проверять технологические режимы на модели перед их реализацией на сооружениях ВС. В свою очередь, сотрудники Предприятия получают доступ к единой базе технологических процессов на объектах для планирования финансово-хозяйственной деятельности Предприятия. А для молодых сотрудников Предприятия «Цифровой помощник» сможет выполнять функции учебного тренажера по ведению технологических процессов на объектах водоподготовки.

Литература

1. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : утвержден Главным государственным врачом Российской Федерации от 28 янв. 2021 г. : СанПиН 1.2.3685-21. – Введ. 01.03.2021 г. – М. : ЦЕНТРМАГ, 2025. – 744 с.

База знаний системы водоотведения населенного пункта

Штепа В. Н.¹, Охтилев М. Ю.², Бобрикович А. В.³, Бобрикович Ю. В.³

¹Белорусский государственный технологический университет,

³Минский радиотехнический колледж

Минск, Республика Беларусь

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения

Санкт-Петербург, Россия

Проанализированы информационно-аналитические аспекты, сдерживающие цифровизацию технологических процессов организаций водопроводно-канализационных хозяйств. Оценены различные методы создания баз знаний, как средств систематизации и использования данных и накопленного опыта в рамках системы водоотведения населенного пункта. В виде программного обеспечения создана специализированная база знаний, позволяющая повысить наблюдаемость и управляемость операций транспортировки и очистки городских сточных вод.

На данный момент в сфере водоснабжения и водоотведения имеет место ситуация, когда интенсивное развитие отрасли значительно сдерживается в результате отсутствия действенных средств комплексной автоматизации технологических процессов. Такое состояние вызвано значительным количеством, как объективных, так и субъективных причин среди которых можно выделить [1–3]:

- технологический тупик в сегменте инструментальных средств измерения показателей качества водных растворов в режиме реального времени в агрессивных условиях внешней среды при невозможности проведения регламентного их обслуживания;

- многофакторности, нелинейности, нестационарности, непрогнозируемости одновременного протекания био-физико-химических взаимодействий в транспортируемой, подготавливаемой и очищаемой воде;

- фрагментарности, используемых организациями водопроводно-канализационных хозяйств (далее – ВКХ) информационных систем, и полным отсутствием решений, которые бы можно было классифицировать, как «интеллектуальные платформы», что критически сдерживает цифровую трансформацию отрасли в разрезе оптимизации технологических операций.

Вариантом систем, которые бы смогли улучшить управляемость процессов в ВКХ, являются базы знаний (далее – БЗ) – базы данных, включающую

правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области (ISO/IEC/IEEE 24765-2010, ISO/IEC 2382-1:1993). Существуют и практически используются несколько вариантов создания и практического применения БЗ.

Кпримеру фреймовый способ композиции знаний функционирует в рамках структуры, способной организовать данные об объекте или событии на основе каркаса или шаблона, содержащего «слоты» для хранения параметров о свойствах и характеристиках. Компоненты фрейма:

- иерархия: фреймы способны наследовать свойства друг от друга;
- динамическое заполнение: если какие-то слоты пусты, система может запросить дополнительные данные;
- использование связей: фреймы могут быть связаны друг с другом, например, через отношения типа «включение» или «причина-следствие».

Другой способ систематизации и использование ранее накопленных знаний – прецедентный подход. Он базируется на применении конкретных случаев из предыдущего опыта для оперативного решения текущих задач. Преимущества его внедрения: позволяет использовать накопленные знания; эффективен в случаях, где сложно создать жесткие правила (как производственные); учит систему лучше, по сравнению с фреймовым подходом, справляться с новыми задачами.

Достаточно интуитивно понятной для специалистов предметной области является производственная модель (основанная на правилах), которая формирует БЗ в виде конструкторов «ЕСЛИ (условие), ТО (действие)». Здесь условие (антецедент) представляет собой формулировку, по которой реализован поиск в БЗ; действие (консеквент) – действия, осуществляемое на основе результатов поиска. Соответственно, реализованные на основе производственной модели базы знаний являются производственными системами и включают следующие элементы: базу правил типа «ЕСЛИ (условие) ТО (действие)»; рабочую память, где сохраняются условия и выводы, полученные в результате функционирования и синтеза; механизм логического вывода, применяющий ранее сформированные и проверенные правила в соответствии с состоянием имеющейся рабочей памяти (интерпретатор для получения логического вывода на основании знаний из БЗ).

Именно производственный формат БЗ и использовался для интеллектуального анализа процессов системы водоотведения населенного пункта. При этом, с учетом отсутствия на данный момент достаточно полного количества знаний об характеристиках операций отведения и очистки сточных вод (СВ), не будет иметь место необратимость дизъюнкций и правила не станут противоречить друг другу.

Источниками информации для формирования специализированной базы знаний выступили [4; 5]:

– дискретные измерения аккредитованной лаборатории анализа показателей качества сточных вод организации ВКХ в контрольных колодцах наиболее «опасных» абонентов (юридических лиц);

– дискретные измерения аккредитованной лаборатории анализа показателей качества сточных вод организации ВКХ на входе очистных сооружений канализации (ОСК);

– непрерывные измерения автоматическими инструментальными средствами расхода и показателей качества СВ (рН, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), электропроводность, температура) на входе ОСК;

– экспертные оценки и заключения;

– действующие нормативные документы.

На рис. 1 представлена методика создания БЗ водоотведения.

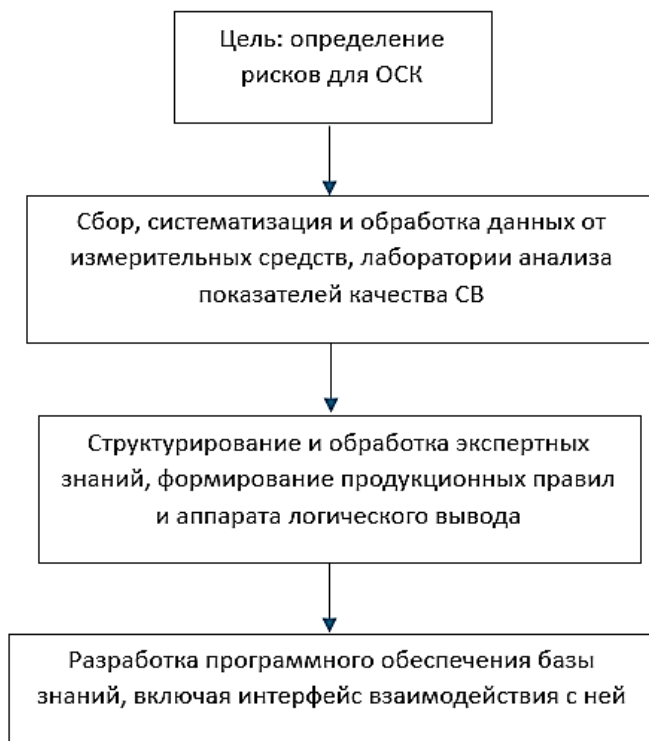


Рис. 1. Методика формирования продукционной базы знаний водоотведения населенного пункта

Полученные данные, перед включением их в БЗ, прошли математическую обработку, включая фильтрацию и аугментация, на основе подходов инженерии знаний. Логический вывод реализован на основе использования элементов нечеткой логики.

Общая конструкция правил пользовательского применения БЗ для оперативной оценки состояния водоотведения следующая:

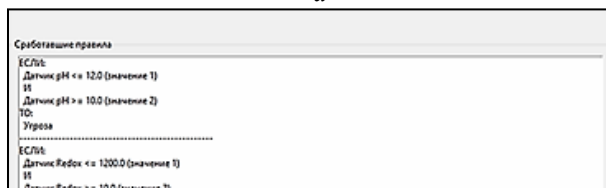
ЕСЛИ «Показания инструментальных средств измерения на входе ОСК» имеют «Значения» ТО «Абоненты водоотводящей сети сформировали СООТВЕТСТВУЮЩУЮ спецификацию загрязнителей СВ» И «Имеются СООТВЕТСТВУЮЩИЕ риски для ОСК».

При этом данные нормативных документов и знания экспертов используются при определении, на базе логического вывода, дальнейших действий (консеквентов).

Программное обеспечение было создано на языке Python с использованием кросс-платформенного фреймворка *Qt*. Такой подход позволяет подключать информационные решения различных научных и других модулей для анализа данных и функционировать на различных операционных системах, включая Linux. Фрагменты программного обеспечения базы знаний водоотведения населенных пунктов представлены на рис. 2.



a



б

Рис. 2. Фрагменты программного обеспечения базы знаний водоотведения населенных пунктов:
a – главное окно; *б* – продукционные правила

Такая база знаний позволяет поддерживать решение ряда крайне актуальных задач организаций ВКХ в сегменте водоотведения:

- автоматизированная оценка (прогноз) влияния параметров водоотведения на очистные сооружения и определение наиболее «опасных» для ОСК абонентов;
- создание рекомендаций по действиям персонала очистных сооружений;
- разработка регламента контроля абонентов сети водоотведения и формирование для них предложений по минимизации негативного влияния их сточных вод на ОСК;
- определение реальной картины параметров водоотведения с целью создания адекватных технических заданий на реконструкцию и модернизацию объектов ВКХ.

Литература

1. Практическое использование информационно-аналитической системы оценки экологической безопасности водоотведения / В. Н. Штепа, А. Б. Шикунец, А. В. Козырь [и др.] // Искусственный интеллект в Беларуси, Минск, 12–13 окт. 2023 г. / Объединенный институт проблем информатики. – Минск, 2023. – С. 251–256.

2. Системный анализ компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения / В. Н. Штепа, А. В. Шикунец, С. В. Тыновец [и др.] // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций, Минск, 28 сентября 2023 года. – Минск, 2023. – С. 20–21.

3. Предобработка данных и обоснование подходов использования нейросетевого прогнозирования значений pH сточных вод / В. Н. Штепа, В. А. Кудинов, Р. К. Кузьмич [и др.] // Интеллектуальные информационные системы: теория и практика: сборник научных статей по материалам IV Всероссийской с международным участием конференции, Курск, 21–23 нояб. 2023 г. / Курский государственный университет ; редокл.: А. А. Халин. – Курск, 2023. – С. 166–173.

4. Предиктивное управление процессом биологической очистки сточных вод на основе нейросетевого прогнозирования pH / В. Н. Штепа, В. А. Кудинов, О. Н. Прокопюк [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 1. – С. 149–155.

5. Войтов, И. В. О задачах цифровизации систем водоотведения коммунально-промышленных объектов / И. В. Войтов, Е. В. Россоха, В. Н. Штепа // Нефтегазохимия – 2023 : материалы VI Международного нацнотехнического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 нояб. 2023 г. / БГТУ ; редокл.: И. В. Войтов. – Минск, 2023. – С. 147–151.

**Реализация проектов систем водоснабжения и канализация
в Узбекистане**

Якубов К. А., Буриев Э. С., Нурманов С. Р.
Ташкентский архитектурно-строительный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье приведены результаты развития систем водоснабжения и канализация в Узбекистане за годы независимости. Особый упор сделан на обеспечение населения чистой питьевой водой. Подробно описана политика правительства Республики Узбекистан в области централизованного городского водоснабжения и канализации в Узбекистане. Проанализированы выполненные и запланированные работы по совершенствованию систем водоснабжения и канализации.

За годы независимости в нашей Республике выполнен большой объем работ по восстановлению и модернизации системы водоснабжения и канализации с привлечением средств мировых финансовых институтов. В последние годы одной из ключевых проблем в Узбекистане является усугубление нехватки воды. С одной стороны, такая ситуация связана с ростом численности населения нашей страны и соответственно увеличения потребностей в воде, продовольствии и энергии. С другой стороны, это является последствием резкой урбанизации, изменения климата, роста благополучия населения и т. д.

В Узбекистане за последние только шесть лет на модернизацию системы водоснабжения было выделено около 10 трлн сумов, что эквивалентно 771,8 млн. долларов. Эти средства позволили построить 1176 водозаборных сооружений и проложить 20,8 тыс. километров новых водопроводных сетей, что значительно улучшило доступ населения к централизованному водоснабжению. По данным компании «Ўзсувтаъминот» на 1 января 2023 года охват населения Узбекистана централизованной подачей питьевой воды составил 74,4 %. Планируется, что к концу 2026 года этот показатель достигнет 88,9 %, а охват услугами канализации увеличить до 35 % [1].

В Узбекистане запланирована масштабная реформа системы хозяйственно-питьевого водоснабжения ряда населенных пунктов. Питьевая вода считается продуктом питания, поэтому ее качество напрямую связано со здоровьем людей. Система водоснабжения включают источники воды, система водозабора, очистки, хранения, транспортировки и распределения вода. Все источники водоснабжения должны соответствовать требованиям

государственного стандарта O‘zDSt 951:2011, который регламентирует гигиенические и технические нормы. Если вода из источника не отвечает этим требованиям, она подвергается многоуровневой очистке на специальных станциях. По состоянию на январь 2025 года централизованным водоснабжением обеспечено 80,9 % населения Узбекистана. Данные обеспеченности населения централизованным питьевым водоснабжением по областям республики приведены на рис. 1.



Рис. 1. Данные обеспеченности населения централизованным питьевым водоснабжением по областям республики

Государственной программой по реализации Стратегии «Узбекистан – 2030» в рамках «Года охраны окружающей среды и зеленой экономики» особое внимание уделяется рациональному и эффективному использованию водных ресурсов, в том числе ведение непрерывного мониторинга качества воды и создание центров управления данными на всех предприятиях питьевого водоснабжения, а также внедрение современных цифровых технологий, позволяющих повысить прозрачность распределения водных ресурсов. Прозрачность распределения водных ресурсов, улучшение водоснабжения и инфраструктуры, повышение качества управления обеспечит конкретные достижения в сфере водосбережения, энергоэффективности и экологии [2].

С 1 июля 2024 года в качестве эксперимента системы питьевого водоснабжения и канализации в городах Каган, Ширин, Янгир, Бекобод и Янгиюль переданы частному сектору на основе государственно-частного партнерства. Соответствующее постановление 24 октября подписал президент Республики Узбекистан. На базе оператора питьевого водоснабжения АО «Узсувтаминот» и предприятий, входящих в его состав, до 1 апреля 2024 года созданы региональные организации по отдельным направлениям [2]:

– региональные организации магистрального водоснабжения в форме акционерного общества – по производству питьевой воды, поставкам воды по магистральным сетям, развитию и обеспечению эксплуатации водных объектов, связанных с производством воды и магистральными сетями;

– региональные организации питьевого водоснабжения в форме акционерного общества в Каракалпакстане, областях и Ташкенте – по оказанию услуг поставки воды потребителям по сетям питьевого водоснабжения и транспортом, канализации, а также развитию и эксплуатации соответствующих сетей и систем канализации.

Согласно документу, тарифы на услуги питьевого водоснабжения и канализации будут формироваться исходя из затрат, включенных в себестоимость продукции, затрат на развитие системы, финансовых затрат, налогов и других обязательных платежей. Следует также отметить, что до 2026 года 813 районов с труднодоступным питьевым водоснабжением будет обеспечено питьевой водой, 124,7 тысячи домохозяйств будут напрямую подключены к сетям питьевого водоснабжения, в 130 населенных пунктах будет налажено питьевое водоснабжение путем оформления государственных социальных заказов, а также 792 тысячи потребителей будут снабжены счетчиками для питьевой воды [3].

Потребление воды на душу населения. Предусмотрено применение нормативов потребления питьевой воды различными группами потребителей с учетом их ужесточения при введении экономических механизмов водопользования и обеспечении требования стандартов качества воды с учетом особенностей территории водопользователя и наличия источников водоснабжения.

Охват городского населения водопроводом к 2022 году достиг 99 %. Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление на одного жителя принято согласно КМК 2.04.02-19 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» с изменениями (Приказ Госархитектстроя Р.Уз. №18 от 16 апреля 2002 года об изменении к КМК 2.04.02-19). Удельное среднесуточное потребление на душу населения в городе, пригородах и сельских районах на планируемый срок выполнения проекта – 2010–2030 показано в табл. и на рис. 2.

Качество воды. Вода, подаваемая АО «Сувтаъминоти», питьевого качества воды с приемлемым вкусом, видом и цветом. Все параметры качества воды соответствуют требованиям к воде для хозяйственно-питьевого потребления OzDst 950:2011 (табл.).

Таким образом можно заключить, что в целом по стране выполнено и выполняется огромный объем строительных работ по реконструкции и строительству новых объектов. Однако этого недостаточно, так как еще часть населения вынуждено употреблять не пригодную для питья воду. Во многих населенных пунктах еще существует почасовая подача воды. Очистных сооружения как питьевой, так и сточных вод работают не эффективно.

Таблица

Удельное среднесуточное водопотребление на душу населения

Наименование	Удельное среднесуточное водопотребление (л/чел./сут.)				
	2010	2015	2020	2025	2030
Город, имеющий централизованную систему канализации с населением более 100 тыс.человек	290	250	250	230	215
Городские поселки с населением до 50 тыс. человек, имеющие централизованную систему канализации	180	180	170–150	150	150
Сельское население в проектных границах	140–170	140–180	170	160	160

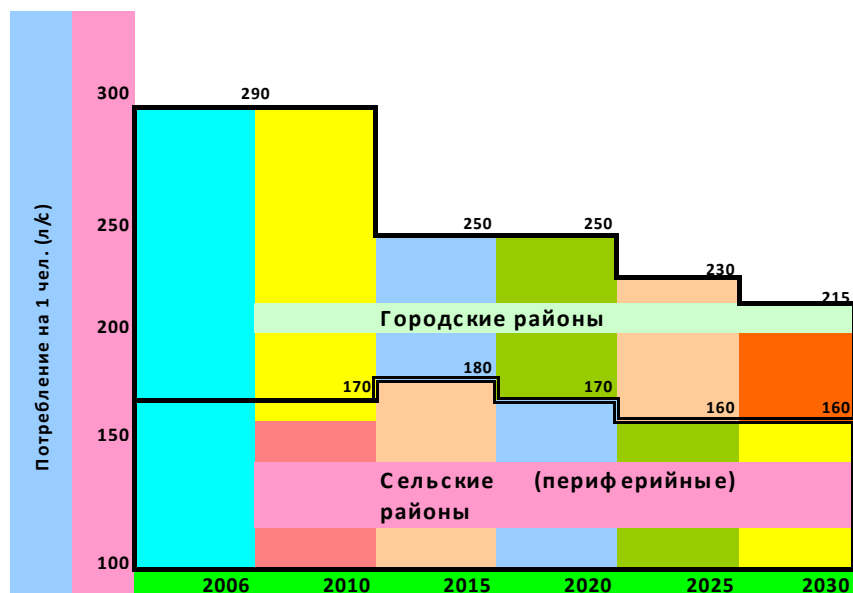


Рис. 2. Удельное среднесуточное потребление на душу населения в городе, пригородах и сельских районах на планируемый срок выполнения проекта – 2010–2030 гг.

Литература

1. Проекты водоснабжения в Узбекистане нуждаются в общественном контроле местных жителей // Газета.uz. – URL: [https://www.gazeta.uz/ru/2024/02/07/water/\\$](https://www.gazeta.uz/ru/2024/02/07/water/$) (дата обращения: 10.04.2025).
2. Водосбережение в Узбекистане: стратегии, достижения и перспективы // Центр «Стратегии развития». – URL: <https://strategy.uz/index.php?news=2041&lang=ru> (дата обращения: 10.04.2025).
3. Водоснабжение пяти городов Узбекистана передадут частному сектору // Газета.uz. – URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2023/11/06/water/> (дата обращения: 10.04.2025).

**Инновационные технологии
в гидротехническом, энергетическом
строительстве и на водном транспорте**

**Компьютерное моделирование водозаборника полнопорного
водомерного движителя с различной геометрической формой
поперечного сечения**

Качанов И. В., Браим Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В статье представлены результаты компьютерного моделирования водозаборников полнопорного водомерного движителя с различной геометрической формой поперечного сечения (круглой, прямоугольной, овальной, эллиптической). На основании полученных результатов в дальнейшем будут разработаны и изготовлены 3D-модели водозаборников и проведены лабораторные исследования.

Внутренние водные пути Республики Беларусь характеризуются мелководьем, поэтому большинство судов, эксплуатируемых на них, используют водомерный движитель. Водомерный движитель является наиболее эффективным при эксплуатации на мелководье по сравнению с другими типами движителей. Однако из-за большого срока эксплуатации судов внутреннего водного транспорта, использующих водомерный движитель (суда эксплуатируются более 50 лет), появилась необходимость в модернизации водомерного движителя речных судов путем изменения (улучшения) его основных характеристик. Одним из наиболее перспективных методов улучшения характеристик водомерного движителя является снижение гидравлического сопротивления водозаборника. Водозаборник является одной из конструктивных частей водомерного движителя, и основной частью где возникают гидравлические сопротивления. Схема водомерного движителя приведена на рис. 1.

Для проведения компьютерного моделирования была выбрана конструктивная схема полнопорного водомерного движителя.

В водозаборнике полнопорного водомерного движителя основные гидравлические сопротивления возникают на поворотных участках. Считается, что на гидравлическое сопротивление поворотного участка оказывает большое влияние геометрическая форма и размеры поперечного сечения [2].

Поэтому основной целью проведения компьютерного моделирования будет является определение оптимальной формы и размеров поперечного сечения как водозаборника в целом, так и его поворотных участков в частности. Подбор оптимальной формы и размеров поперечного сечения водозаборника позволит снизить гидравлическое сопротивление, увеличить скорость потока воды и тем самым повысить тягу водомерного движителя.

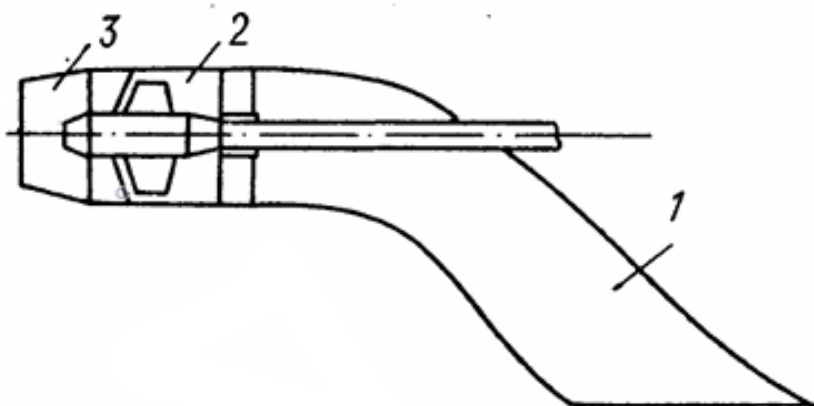


Рис. 1. Принципиальная схема водометного двигателя [1, с. 260]:
1 – водозаборник; 2 – насосная часть; 3 – выходное сопло

Кроме того, в зависимости от направления входа потока воды в водометный двигатель, различают две конструктивные схемы, представленные на рис. 2.

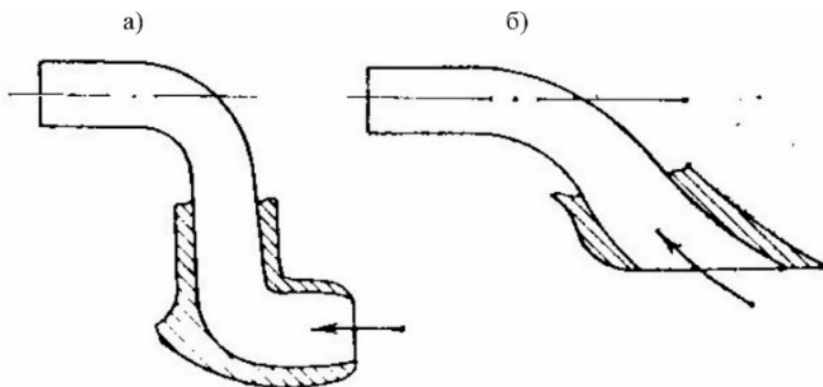


Рис. 2. Конструктивные схемы водозаборников [1, с. 260]:
а – полнонапорный водометный двигатель; б – статический водометный двигатель

Компьютерное моделирование проводилось с использованием системы автоматизированного проектирования (далее – САПР) SolidWorks и инженерного модуля Flow Simulation, который встроен в САПР. Инженерный модуль Flow Simulation предназначен для моделирования потоков с заданными параметрами. При моделировании потоков использовался метод конечных объемов и уравнения гидромеханики: уравнение движения в форме Навье-Стокса (1) и уравнение неразрывности (2).

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p = \frac{d\vec{u}}{dt} - \nu \nabla^2 \vec{u}, \quad (1)$$

где $\vec{F}$ – вектор массовых сил, отнесенных к единице массы жидкости; ρ – плотность жидкости; $\text{grad} p$ – градиент давления; $\frac{d\vec{u}}{dt}$ – вектор ускорения инерционных сил в заданной точке объема жидкости; ν – коэффициент кинематической вязкости; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; $\vec{u}$ – вектор местной скорости.

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Для проведения компьютерного моделирования были выбраны прямоугольная, овальная и эллиптическая формы поперечного сечения водозаборника, которые сравниваются с круглой (традиционной) формой. Считается, что выбранные формы поперечного сечения имеют наименьшее гидравлическое сопротивление на поворотных участках [3–5].

Некоторые результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 3, 4.

Моделирование проводилось при средних скоростях потока от 1 до 20 м/с. Диапазон выбранных скоростей соответствует реальным эксплуатационным скоростям движения воды в водозаборнике судовых водометных движителей. Моделирование течения рабочей жидкости было проведено в водозаборниках с реальными (эксплуатационными) размерами и геометрией.

В результате проведенного компьютерного моделирования было установлено, что на поворотных участках водозаборника возникает «парный вихрь». На образование «парного вихря» непрерывно расходуется энергия жидкости, т. е. теряется напор, причем эта потеря пропорциональна моменту инерции площади поперечного сечения вихря.

Минимальным моментом инерции обладает круглое сечение вихря, которое может иметь место при соотношении сторон в водозаборнике некруглого поперечного сечения (прямоугольного, овального, эллиптического), равного 1:2 или несколько больше. В этом случае поперечное сечение каждого из вихрей имеет естественную, т. е. круглую форму, во всех других случаях вихри будут сплюснутыми в одном или в другом направлении [2; 6].

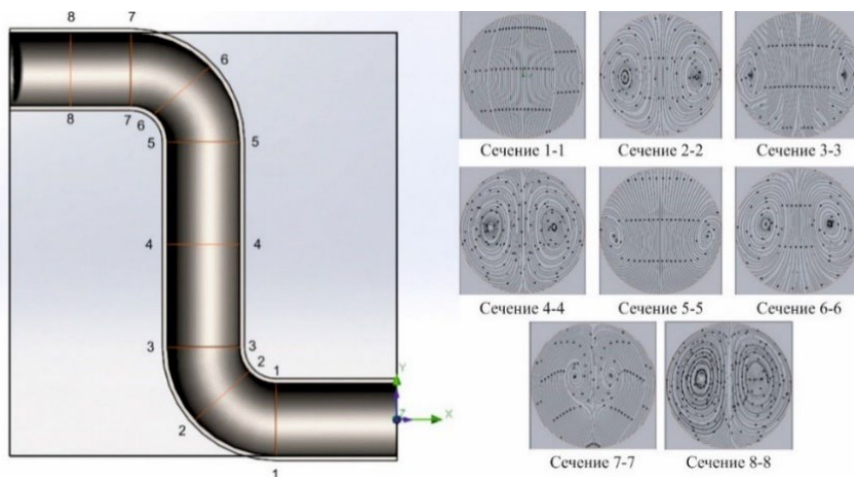


Рис. 3. Компьютерная модель потока в характерных сечениях водозаборника круглого сечения

Анализ полученных результатов компьютерного моделирования позволил сделать вывод, что оптимальной формой поперечного сечения водозаборника будет являться некруглая, т. е. прямоугольная, овальная или эллиптическая с соотношением осей 1:(2–2,5).

Окончательные рекомендации по использованию водозаборников судовых водометных движителей с измененной формой поперечного сечения будут даны после проведения лабораторных исследований моделей и натурных испытаний на реках Республики Беларусь.

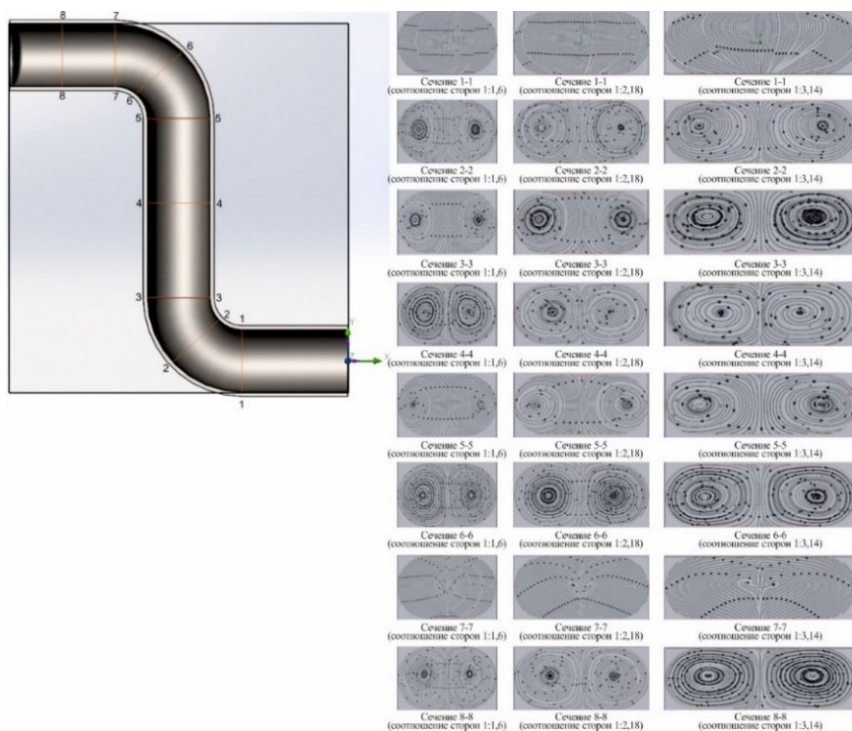


Рис. 4. Компьютерная модель потока в характерных сечениях водозаборника эллиптического поперечного сечения при различном соотношении осей (1:1,6; 1:2,18; 1:3,14)

Литература

1. Артющков, Л. С. Судовые движители : учебник / Л. С. Артющков, А. Ш. Ачканадзе, А. А. Русецкий. – Л. : Судостроение, 1988. – 296 с.
2. Идельчик, И. Е. Гидравлические сопротивления / И. Е. Идельчик. – М. : Л. : Гос. энергетическое изд-во, 1954. – 316 с.
3. Компьютерное моделирование и лабораторные гидравлические исследования поворотного участка пульпопровода землесосного снаряда / И. В. Качанов, К. В. Хвилько, И. М. Шаталов [и др.] // Вестник БАРГУ. Серия : Технические науки. – 2023. – № 13. – С. 23–30.
4. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И. В. Качанов, И. В. Карпенчук, В. В. Пармон [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2. – С. 156–164.

5. Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах промышленного и гражданского назначения / А. С. Дмитриченко, И. В. Качанов, В. А. Шкутник [и др.] // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сб. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 17 марта 2017 г.: в 3 т. / Тюмен. гос. ун-т; редкол.: А. Б. Храмцов (отв. ред.) [и др.]. – Тюмень, 2017. – Т. 1. – С. 59–64.

6. Зарянкин, А. Е. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей: учебник для вузов / А. Е. Зарянкин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 590 с.

УДК 626/627 (075.8)

Изменение природных условий в нижнем бьефе гидроузлов

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Показано развитие процесса трансформации русла в нижнем бьефе гидроузлов, влияние изменения уровня грунтовых вод на прилегающие территории, а также изменение термического режима реки ниже плотины и микроклимата как над самой рекой, так и в прибрежной зоне вследствие создания водохранилища и изменения гидрологического режима реки в верхнем бьефе.

В настоящее время на территории Беларуси действует 159 (на земном шаре более 100 тыс) водохранилищ (водоемов, имеющих полный объем более 1 млн м³) различного назначения (для целей энергетики, мелиорации, водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации и др.), протяженность берегов которых более 1500 км и около 1500 прудов (водоемов объемом менее 1 млн м³) [1, с. 8]. В республике преобладают водохранилища речного типа. Наибольшие объемы зарегулированного водохранилищами стока рек приходятся на бассейны Западной Двины, Немана и Припяти. Наименьшая степень зарегулированности водохранилищами отмечается в бассейнах Западного Буга, Сожа и Днепра [2]. Во всех странах наибольшее число водохранилищ расположено в долинах рек.

Согласно классификации водохранилищ, предложенной А. Б. Авакяном и В. А. Шараповым [3], большинство водохранилищ Беларуси относится к *небольшим* (с площадью водного зеркала 2–20 км² и полным объемом порядка 0,01–0,1 км³) и *малым* (с площадью водного зеркала менее 2 км²

и полным объемом менее 0,01 км³). В табл. приведены основные данные по наиболее крупным водохранилищам Республики Беларусь.

По характеру регулирования стока различают водохранилища *многолетнего* (аккумулируется сток многоводных лет для его использования в маловодные годы; значительны по объему водных масс и площади водного зеркала), *сезонного или годовичного* (аккумулируется сток многоводных периодов года (половодья, дождевых паводков и т. п.) для его использования в маловодные (межень) периоды года), *месячного, недельного и суточного регулирования*. Месячное, недельное и суточное регулирование стока осуществляется чаще всего водохранилищами ГЭС. Эти виды регулирования увеличивают неравномерность расходов воды по сравнению с естественными расходами.

Таблица

Крупнейшие водохранилища Республики Беларусь

Водохранилище	Площадь, км ²	Полезный объем, млн м ³	Средняя глубина, м	Длина, км	Площадь водосбора, км ²
Вилейское	77,0	235,0	7,00	30,0	4120
Заславское	27,0	103,0	3,80	9,2	562
Краснослободское	23,6	50,0	3,00	5,5	668
Солигорское	23,1	38,0	2,50	24,0	1685
Любанское	22,5	32,7	1,75	11,0	812
Погост	16,2	44,8	3,40	6,1	939
Локтыши	15,9	29,8	3,20	6,0	940

Создание водохранилища и изменение гидрологического режима реки в верхнем бьефе существенно влияет на режим реки и в нижнем бьефе, что приводит к переформированию его русла, изменению уровней и расходов воды и термического режима [4, с. 114; 5, с. 314].

Общими факторами, влияющими на русловые процессы в нижних бьефах большинства плотин, являются:

- 1) предусмотренные проектом сезонное и многолетнее регулирование стока воды – перераспределение его во времени, иногда сопровождающееся увеличением или уменьшением средней водности реки;
- 2) частичная или полная задержка стока наносов водохранилищем;
- 3) суточные колебания расходов и уровней воды, обусловленные работой гидроэлектростанции;
- 4) влияние незарегулированных боковых притоков на режим движения воды и условия транспорта наносов в главной реке [6, с. 237].

Средний годовой сток реки после создания водохранилища чаще остается близким к естественному. В ряде случаев он изменяется: *уменьшается* – при изъятии воды из водохранилища на орошение и иных целей, переброски стока в бассейны других рек, а также из-за испарения с водной поверхности или *увеличивается*, вследствие переброски стока из бассейнов других рек. Важную роль играет перераспределение стока в течение года или за многолетний период по сравнению с бытовым состоянием, когда одновременно с уменьшением расхода воды в половодье происходит увеличение меженных расходов, как в летний, так и в зимний периоды. Это перераспределение тем сильнее, чем больше регулирующая (полезная) емкость водохранилища [6, с. 237; 7, п. 2.1.2–2.1.4].

Изменение участка речного русла ниже плотины зависит от взаимодействия трех факторов: 1) степени регулирования стока; 2) противоэрозионной устойчивости материала, слагающего дно и берега; 3) поступления наносов из притоков и других источников ниже плотины. *Главным условием развития деформаций* является нарушение баланса между доставкой наносов и транспортирующей способностью потока. После постройки плотины транспортирующая способность потока меняется вследствие снижения амплитуды половодий и паводков. Противоэрозионная устойчивость материала определяет потенциал деформаций, которые могут быть ограничены наличием в русле неразмываемых грунтов.

Задержка водохранилищем наносов приводит к тому, что в нижний бьеф поступает *осветленный поток* (по сравнению с естественными условиями), то есть лишенный руслоформирующих фракций наносов и обладающий повышенной транспортирующей способностью. В этих условиях поток начинает насыщаться наносами за счет размыва примыкающего к гидроузлу участка нижнего бьефа, где начинается приплотинный размыв дна, который выражается в формировании воронки местного размыва. *Причины такого размыва:* а) неполное гашение кинетической энергии воды в пределах водобоя и рисбермы; б) высокий уровень турбулентности сбросного потока и неоднородность его структуры, обусловленной типом и условиями работы водопропускных сооружений; в) увеличение удельного расхода воды по сравнению с естественными условиями. Как правило, это происходит уже в строительный период, при стеснении русла перемычками, но может происходить при пропуске через плотину особо больших половодий или паводков. В дальнейшем, при временной, а затем и при постоянной эксплуатации гидроузла, зона переформирования русла распространяется вниз по течению реки. На этот процесс накладывается влияние изменения водного режима. Происходит трансформация русла нижнего бьефа – изменение геометрических и гидравлических характеристик русла реки, проходящее на

значительном ее протяжении и обусловленное нарушением ранее существовавших режимов твердого и жидкого стока [6, с. 248–251; 7; 8, п. 2.2–2.12]. Обладая способностью транспортировать речные наносы, поток стремится набрать их в нижнем бьефе в том количестве, которое он потерял в водохранилище. На некотором расстоянии от гидроузла река вновь приобретает свою первоначальную мутность. Дно реки при этом постепенно понижается: на горных реках – на несколько метров, на равнинных реках, несущих небольшое количество наносов – на 0,1–0,4 м [4, с. 114]. Размывы распространяются на значительные расстояния по реке и продолжаются по времени до полного заиления подпертого бьефа, когда восстанавливается транзит наносов [4, с. 114; 6, с. 251] (рис. 1).

Процесс трансформации русла нижнего бьефа, имеющий общую тенденцию к затуханию русловых переформирований и стабилизации русла на участке большой протяженности, заметно интенсифицируется при прохождении паводков более высоких, чем паводки предшествующих лет [8, п. 2.12].

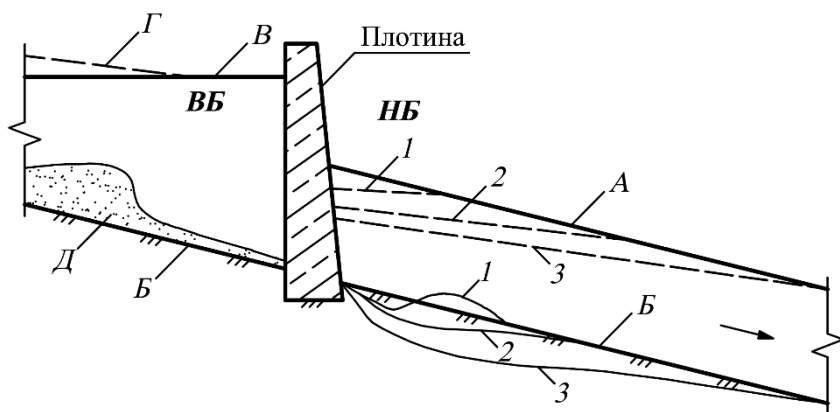


Рис. 1. Схема развития процесса трансформации русла ниже плотины:

- ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф;
- А, Б – исходная водная поверхность и дно; 1–3 – последовательные положения водной поверхности и дна после размыва ниже плотины;
- В, Г – подпорные уровни воды соответственно до и после заиления;
- Д – наносные отложения

Режим работы гидроэлектростанции, осуществляющей суточное и недельное регулирование ее мощности, вносит в гидравлический режим рек своеобразие, характерное только для нижних бьефов, – *прохождение волн*

попусков, повышающих размывающую и транспортирующую способности потока. Влияние волн попусков может охватывать участки значительной протяженности и зависит от характера и объема попусков, гидравлических и морфологических особенностей русла: извилистости, уклона, ширины, глубины, формы поперечного сечения, шероховатости. По мере удаления от ГЭС волны попуска затухают, вследствие действия сил сопротивления и трения, а также частичного отражения, и их роль в интенсификации размыва русла и транспорта наносов ослабевает. Следствием этого является усиление размывов на примыкающем к гидроузлу участке русла и отложение наносов ниже по реке. Резкие колебания уровней нижнего бьефа, обусловленные суточным регулированием мощности ГЭС, могут явиться причиной суффозии грунта береговых откосов фильтрационным потоком, направленным в русло в периоды резкого спада уровней и, как следствие этого, возникновения и развития боковой эрозии – обрушения и оползания берегов. Приток наносов, происходящий за счет боковой эрозии, увеличивает заносимость перекатов и уменьшает их устойчивость, несколько затормаживая процесс распространения зоны размыва. При неустановившемся течении воды, вызванном прохождением волн попусков суточного регулирования, может происходить интенсификация грядового движения наносов, приводящая к уменьшению устойчивости перекатов и повышению заносимости судоходных прорезей в зоне отложений [8, п. 2.13–2.15].

Некоторые особенности руслового процесса наблюдаются на зарегулированных реках в местах впадения крупных притоков. В естественном состоянии притоки обычно оказываются в подпоре во время высокого паводка на главной реке, что приводит к отложению наносов на устьевых участках притоков.

После создания водохранилища уровни паводка на зарегулированной реке оказываются существенно ниже естественных уровней, а на притоках по-прежнему наблюдаются высокие паводки (рис. 2).

На *притоках*, впадающих в реку ниже водохранилища, происходит активизация русловых процессов. Вследствие снижения уровней половодья в главной реке *на устьевом участке притока образуется кривая спада уровней* с большими уклонами свободной поверхности и значительными скоростями течения, что ведет к усилению размывов русел и берегов и наносы поступают в главную зарегулированную реку (рис. 2). Это осложняет поддержание гарантированных габаритов пути на перекатах, расположенных ниже по течению. Эти процессы тем активнее, чем ближе устья притоков к створу гидроузла. Кроме того, участок зарегулированной реки, расположенный выше по течению от места впадения притока, оказывается *в подпоре от высокого паводка на притоке* (рис. 3). Следовательно, на перекатах этого участка будет откладываться дополнительный слой наносов из-за уменьшения скоростей течения в зоне подпора [8, п. 2.17].

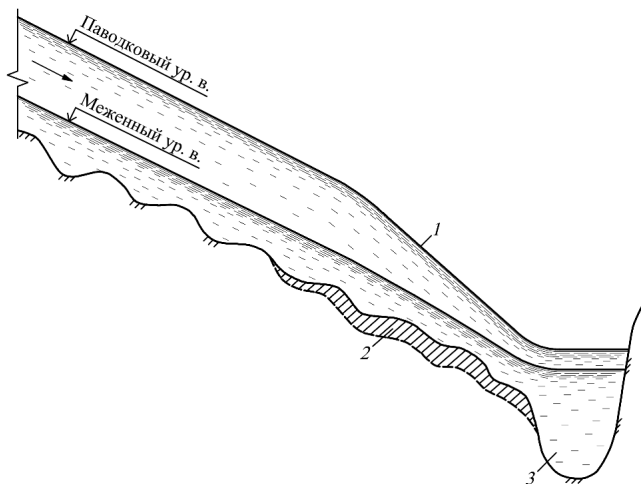


Рис. 2. Размыв дна на участке притока зарегулированной реки:
 1 – кривая спада уровней на устьевом участке притока в паводок;
 2 – зона размыва дна на приустьевом участке притока;
 3 – главная зарегулированная река

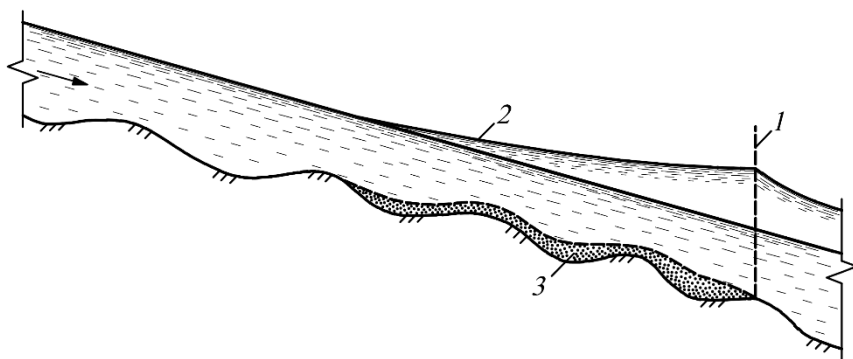


Рис. 3. Отложение наносов на участке зарегулированной реки
 выше устья крупного притока:
 1 – створ устья притока; 2 – кривая подпора реки; 3 – зона отложения наносов

На трансформацию русла нижнего бьефа существенное влияние могут оказывать *карьерные разработки* – извлечение песка и гравийно-галечникового грунта из русла для строительных нужд. Изъятие грунта приводит не

только к местному понижению дна водотока, но также интенсифицирует размыв дна выше и ниже карьера. При проведении карьерных разработок в руслах, сложенных разнородным грунтом, нарушается процесс образования естественной отмостки, что также способствует усилению размыва дна [8, п. 2.18].

Негативные последствия, связанные с понижением русла реки, заключаются в понижении уровня грунтовых вод на прилегающих сельскохозяйственных территориях, что затрудняет выращивание продукции и чревато проблемами в работе водозаборных сооружений [4, с. 214; 5, с. 314; 7, п. 5.2 и п. 5.5; 9, п. 19].

Создание водохранилища большого объема, позволяющего регулировать сток реки, приводит к *снижению паводковых уровней* в нижнем бьефе, что предотвращает затопление прилегающих территорий, а сельскохозяйственное использование пойменных земель в одних случаях может стать более эффективным, а в других – наоборот [4, с. 214; 5, с. 314; 7, п. 5.2; 9, п. 20]. В то же время вследствие *увеличения межженных расходов* в нижнем бьефе оказывается постоянно затопленной узкая прибрежная зона. Ширина этой зоны обычно невелика и составляет десятки, а иногда сотни метров. В результате постоянного и временного затопления земель и повышения уровня грунтовых вод в нижнем бьефе наблюдаются изменения почвенно-растительного покрова, аналогичные происходящим в верхнем бьефе [10, с. 583].

Термический режим водохранилища определяет и температурный режим реки ниже плотины. Температура воды в водохранилище в целом растет с конца зимы до середины лета, а затем понижается. В весенне-летний период в нижний бьеф сбрасывается более холодная, а в осенне-зимний период более теплая вода, чем в естественных условиях.

В низконапорных гидроузлах термический режим нижнего бьефа почти не изменяется по сравнению с бытовым. Однако, повышенные скорости течения непосредственно за водосбросными сооружениями и более высокая температура воды в осенне-зимний период препятствуют ледоставу. Возникающая здесь *полынья* является источником образования шуги, которая уносится вниз по течению и создает проблемы в эксплуатации водозаборных сооружений [4, с. 214; 5, с. 314].

Средние и высоконапорные гидроузлы аккумулируют тепло в верхнем бьефе. Сброс в нижний бьеф воды с плюсовой температурой препятствует образованию ледяного покрова на значительном (в отдельных случаях – десятки километров) расстоянии от гидроузла. Так, на Нижегородской ГЭС (Россия) наблюдалась полынья протяженностью 0,7 км в холодную зиму и 50 км в теплую [7, прил. 2, с. 27]. Из-за задержки льда в водохранилище весенний и осенний ледоходы на участке ниже плотины слабо выражены.

Вследствие образования в нижнем бьефе незамерзающих участков (майн) изменяется микроклимат как над самой рекой, так и в прибрежной зоне: температура и влажность воздуха здесь несколько выше, чем над окружающей местностью, отмечается образование туманов [10, с. 584].

Водяная пыль и брызги, появляющиеся в воздухе при сбросе воды в нижний бьеф через сооружения, в зимнее время вызывают обледенение сооружений, что создает затруднения в их эксплуатации.

Более подробно различные аспекты проблем, возникающие в процессе создания и использования водохранилищ разных континентов и разных стран, их хозяйственное значение, роль в ландшафте и воздействие на окружающую среду описаны в [6–9].

Литература

1. Михневич, Э. И. Устойчивость русел и регулирование стока судоходных рек и каналов / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич; БНТУ. – Минск : Право и экономика, 2022. – 188 с.
2. Линкевич, Н. Н. Технический уход за грунтовыми гидротехническими сооружениями / Н. Н. Линкевич // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы республиканской научно-технической конференции, Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорус. национальный технический ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 100–104.
3. Авакян, А. Б. Водохранилища гидроэлектростанций СССР / А. Б. Авакян, В. А. Шарапов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1977. – 398 с.
4. Гидротехнические сооружения : в 2 ч. / М. М. Гришин, С. М. Слиский, А. И. Антипов [и др.] ; под ред. М. М. Гришина. – М. : Высшая школа, 1979. – Ч. 2. – 336 с.
5. Богославчик, П. М. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений: учебное пособие / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 366 с.
6. Гладков Г. Л. Гидроморфология русел судоходных рек: монография / Г. Л. Гладков, Р. С. Чалов, К. М. Беркович. – 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2022. – 432 с.
7. Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду : РД 153-34.2-02.409-2003. – Введ. 01.01.2004 г. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им Б. Е. Веденеева», 2003. – 34 с.
8. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов : СО 34.21.204-2005. – Введ. 01.01.2007 г. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2006. – 102 с.
9. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М. : Мысль, 1987. – 325 с.

10. Гидротехнические сооружения : учеб. пособие для вузов / И. А. Васильева, Г. И. Журавлев, С. Н. Корюкин [и др.] ; под ред. Н. П. Розанова. – М. : Стройиздат, 1978. – 647 с.

УДК 631.6

Особенности регулирования водного режима слабоводопроницаемых почв

Митрахович А. И.¹, Казьмирук И. Ч.²

¹РУП «Институт мелиорации»,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье изложены вопросы обеспечения оптимального водо-воздушного режима слабоводопроницаемых почв за счет осушения и подпочвенного увлажнения. Рассмотрено применение на дренажных системах вертикальных фильтрующих элементов, обеспечивающих гидравлическую связь материального дренажа и верхнего пахотного слоя почвы. Приведены условия, при которых возможно осуществить способ подпочвенного увлажнения слабоводопроницаемых почв.

Мелиоративные мероприятия необходимы для создания оптимальной влажности в корнеобитаемом слое почвы за счет двухстороннего регулирования водного режима. Осушение слабоводопроницаемых почв с атмосферным водным питанием заключается в организации поверхностного стока и переводе в дренажный той части стока, сброс которого по поверхности невозможен из-за неровностей рельефа. Для перевода стока в дренажный применяют фильтрующие элементы (ФЭ) в виде колонок-поглотителей или фильтрующих засыпок с коэффициентом фильтрации более 5 м/сут, которые создают гидравлическую связь между материальным дренажем и верхним пахотным слоем почвы. На слабоводопроницаемых почвах технология регулирования водного режима включает комплекс мероприятий: наличие закрытого систематического дренажа, устройство фильтрующих элементов, периодическое глубокое рыхление и применение других агротехнических приемов. Рядом исследований [1] установлено, что применение дрен-собирателей с ФЭ и глубокого рыхления целесообразно в структурных почвах, в которых отдельные частицы почвы (мезоагрегаты) связаны в более крупные агрегаты – зернистые или комковатые структуры. В процессе эксплуатации при поступлении атмосферных вод в дренаж через ФЭ возникает кольматация в верхней водоприемной части фильтрующих засыпок, что

снижает осушительный эффект применяемых мероприятий. Для разрушения слабоводопроницаемой прослойки на границе пахотного слоя и фильтрующей засыпки рекомендуется периодически проводить глубокое рыхление на глубину 0,6–0,7 м, которое также способствует разуплотнению грунта. Избыточное уплотнение подпахотного слоя почвы вызывается прохождением тяжелой техники по полю при выполнении сельскохозяйственных работ. Величины коэффициента фильтрации в верхнем (0–0,4 м) слое изменяются от 0,04 м/сут до проведения рыхления, до 0,3 м/сут после глубокого рыхления. Вертикальные фильтрующие элементы применяют при коэффициенте фильтрации слабоводопроницаемых почв менее 0,01 м/сут. на глубине 0,4 м.

Закрытый горизонтальный дренаж не следует применять в глинистых и мергелевых почвах с залеганием водоупорных слоев ($k_f < 0,001$ м/сут) на глубине менее 0,4 м от поверхности, а также в пылеватых супесчаных и легкосуглинистых почвах с очень слабой водопроницаемостью пахотного слоя ($k_f \leq 0,04$ м/сут). При осушении таких почв хорошо зарекомендовали себя мероприятия по ускорению поверхностного стока (раскрытие и засыпка замкнутых понижений, устройство ложбин стока, воронок стока и др.). Осушительные системы должны обеспечивать своевременный отвод поверхностных и почвенно-грунтовых вод из верхнего слоя почвы в пределах 10–40 см в течение от 1–2 до 8 суток, обеспечивая оптимальные условия водовоздушного режима почв. Наиболее существенным фактором снижения потерь урожая от вымокания является соблюдение сроков осушения верхнего (0–10 см) слоя почвы.

Основным показателем, определяющим применение различных конструкций дренажа, является коэффициент фильтрации k_f в нижней части почвенного профиля от подошвы глубокого рыхления до горизонта заложения дрена (обычно в пределах 0,4–1,1 м от поверхности земли). При $k_f > 0,1$ м/сут применяется обычный траншейный дренаж с обратной засыпкой траншеи вынутым грунтом. При этом коэффициент фильтрации дренажной засыпки по всему профилю, включая околосреднюю зону, должен быть не менее 0,3 м/сут. При $k_f \leq 0,01$ м/сут применяются другие конструкции дренажных систем. Одной из них является конструкция со сплошной засыпкой фильтрующим материалом (ПГС, щебень, шлак, гумусированный растительный грунт, торф и др.) до горизонта 0,4–0,5 м от поверхности земли. Недостатком этой системы является трудоемкость строительства и высокая стоимость при необходимости доставлять фильтрующий материал с удаленных от места строительства карьеров. Другим вариантом является дренажная система с дискретным размещением по длине дрена ФЭ из хорошо фильтрующего материала с $k_f = 5–15$ м/сут в виде колонок диамет-

ром 0,3 м и обсыпкой ФЭ верхним слоем почвы (растительным или гумусированным грунтом). Еще один вариант – это дренажные системы конструкции УкрНИИГиМ (авт. свид N1413189) с дискретным размещением по длине дрен ФЭ переменного поперечного сечения [2], выполняемых из местных фильтрующих материалов с $k_{\phi} = 0,5\text{--}1,0$ м/сут и обеспечивающих максимальное использование эффекта глубокого рыхления почвы за счет увеличения поверхности контакта ФЭ с разрыхленной зоной грунта. Следует учитывать, что применение фильтрующих материалов из местных грунтов, особенно гумусированного грунта растительного слоя почвы, связано с потерей или обеднением плодородия за счет выноса на поверхность земли глинистой породы на площадях около 17–28 % от общей площади осушения. Как показали исследования БелНИИМиВХ, срезка растительного слоя на 50 % (при его мощности 22–28 см) приводит к снижению урожайности до 10–15 %, а со всего пахотного слоя – до 37–58 %. При осушении тяжелых почв дренажем с ФЭ обязательным является периодическое выполнение сплошного глубокого рыхления на глубину не менее 0,6–0,7 м поперек дрен. Глубина дрен в истоке при этом должна быть не менее 0,85 м. Рыхление должно проводиться при влажности почвы 60–80 % НВ (наименьшей влагоемкости) или ППВ (предельно-полевой влагоемкости). Необходимость проведения повторного глубокого рыхления устанавливается при снижении коэффициента фильтрации разрыхленного грунта в слое 0–0,4 м от поверхности до величины $k_{\phi} \leq 0,3$ м/сут. Обычно рыхление повторяют через 2–4 года.

Регулирование водного режима почв заключается не только в отводе избыточной влаги, но и в увлажнении в засушливое время, поскольку на протяжении вегетационного периода растения могут испытывать потребность в увлажнении при длительном отсутствии атмосферных осадков. Восполнение дефицита влаги в корнеобитаемом слое почвы может производиться различными способами, в том числе и подпочвенным увлажнением, которое производится путем подачи воды в дренажную сеть. Подпочвенное увлажнение применяется на малоуклонном рельефе с небольшими перепадами высот. Подъем уровней грунтовых вод – процесс инертный и протекает он медленно, причем, чем мельче частицы грунта, тем больше времени необходимо для подачи воды в корнеобитаемый слой. Если на дренаже имеются ФЭ, коэффициент фильтрации которых значительно выше, чем у грунта в междренье, то при применении подпочвенного увлажнения быстрдействие таких систем выше, чем у мелиоративных систем без фильтрующих элементов. Следует отметить, что подпочвенное увлажнение на слабОВОД-проницаемых почвах без ФЭ не применяется. Двухстороннее регулирование водного режима тяжелых почв с применением закрытых систем указанных конструкций возможно лишь при условии выполнения всего комплекса

осушительных мелиораций [3]. Поскольку в тяжелых почвах с атмосферным типом водного питания грунтовые воды не принимают участия в формировании водного режима, регулирование влажности пахотного слоя может быть реализовано не понижением или подъемом УГВ, а только отводом почвенных вод, временно образовавшихся из-за атмосферных осадков, из пахотного и подпахотного слоев. В засушливые периоды влажность корнеобитаемого слоя регулируется за счет поступления воды из дрен-увлажнителей через ФЭ в верхний разрыхленный слой почвы. Движение воды как при осушении, так и при увлажнении происходит вдоль водоупорного контура. Непременным условием эффективности подпочвенного увлажнения является обеспечение напора в дренах-увлажнителях, соответствующего пьезометрической отметке не ниже 0,3–0,4 м от поверхности земли. Поступление воды из дрен-увлажнителей происходит через дренажную засыпку в разрыхленный подпахотный слой (при глубине рыхления не менее 0,6–0,7 м). Поэтому окультуривание указанного почвенного слоя с сохранением его повышенной водопроницаемости (не менее 0,3–0,4 м/сут) является гарантией эффективности подпочвенного увлажнения по дренам с вертикальными фильтрующими элементами. Указанный напор в дренах-увлажнителях может быть обеспечен лишь при подаче воды в их истоки.

Статья публикуется при финансовой поддержке БРФФИ (договор № T25MC-014).

Литература

1. Брусиловский, Ш. И. Мелиорация минеральных почв тяжелого механического состава / Ш. И. Брусиловский. – Минск : Ураджай, 1981. – 160 с.
2. Авторское свидетельство SU 1413189, МПК E02B 11/00. Дренажная система : заявлено 10.12.1986 : опубл. 30.07.1988 / В. П. Кубышкин, М. Н. Бухин, В. Н. Гончаров, Э. Н. Паршева, Э. Г. Питкевич, А. И. Герасимчук. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1413189A1_19880730 (дата обращения: 26.04.2025).
3. Скрипник, О. В. Технология регулирования водного режима орошаемых земель / О. В. Скрипник, И. С. Сорока, В. П. Кубышкин. – Киев : Урожай, 1992. – 161 с.

**Особенности деформаций берегов водохранилищ Беларуси
«каньонного» типа**

Левкевич В. Е., Бузук А. В. Кобяк В. В.
ГУО «Университет гражданской защиты, МЧС Беларуси»,
Минск, Республика Беларусь

Приведены особенности деформаций берегов водохранилищ Беларуси «каньонного» типа. Дана характеристика ГЭС и водохранилищ «каньонного» типа.

Проектирование и строительство современных гидроузлов, в состав которых входят: гидроэлектростанция (ГЭС), плотина, судоходный шлюз, земляная плотина, водохранилище и т. д. требуют детального прогнозирования их воздействия на прилегающие территории. Вопросы оценки, как правило, рассматриваются в соответствии с нормативными требованиями и предусматривают изучение влияния водохранилища на развитие различных процессов в береговой зоне. К сожалению, эти расчеты не всегда используют методы прогноза и методики расчета, учитывающие индивидуальные особенности объектов: их гидрологический режим, форму водоема, грунты образующие берега. Более того, применяются методики, разработанные для условий отличных от проектируемых. Это сказывается как на точности, так и достоверности прогнозов. Для объективности прогноза авторы предлагают его выполнять в два этапа: первый в виде «фонового» укрупненного прогноза и второй, в виде детального – после ввода объекта в эксплуатацию через пять лет. Такой подход позволит учесть все тенденции в развитии берегов и береговых процессов и разработать при необходимости предложения по берегозащите.

На водохранилище после ввода в эксплуатацию в береговой зоне происходит активизация береговых процессов под воздействием волнения, колебания уровней и обводнения территорий, что ведет к развитию переработки склонов. Наибольшая интенсивность переработки происходит в приплотинной плессовой, наиболее широкой части водоема *руслового* типа. Средняя протяженность разрушаемых склонов в условиях русловых водохранилищ Беларуси составляет приблизительно 25–40 % всей береговой длины русловых водоемов. В верховьях водохранилищ наблюдается русловая эрозия. В средней зоне разрушение береговых склонов происходит за счет совместного ветро-волнового воздействия и стоковых течений (Петровичское, Заславское и другие водохранилища страны [1–3]).

В условиях Беларуси наиболее распространены несвязные, песчаные грунты. Среди показателей, характеризующих *механический состав* несвязных грунтов (Э. И. Михневич, А. А. Печеркин, Ю. А. Соболевский, Ф. В. Саплюков и др.) практическое значение при оценке динамики переработки берегов и формировании профиля равновесия имеют: средний диаметр частиц грунта d_{50} и коэффициент неоднородности [1–3].

Гидрологические и морфометрические характеристики водохранилища определяют динамику процесса переработки берегов наряду со структурой грунтов. В отличие от крупных водоемов высота волны $h_1\%$ есть функция скорости ветра w_{10} и длины разгона L_p (Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец, С. А. Двинских). Установлено, что *разрушение и переработку надводной части берега* формируют волны $h_1\%$, а *подводную часть профиля переработки* волны высотой $h_{25}\%$.

По величине амплитуды колебания уровней в безледный период $\Delta H_{\text{бл}}$ все водохранилища Беларуси автором были сгруппированы в 2 группы водных объектов: 1-я группа с $\Delta H_{\text{бл}} > 0,5$ м, 2-я характеризуется $\Delta H_{\text{бл}} \leq 0,5$ м.

Кроме уровня режима оказывают влияние на процесс переработки берегов: стоковые и вдольбереговые течения, ледовые явления, подпор грунтовых вод и фильтрация, различные виды эрозии (термоэрозия, поверхностная, овражная, русловая), зарастаемость склонов, состав размываемых грунтов, форма склона, линейные размеры водохранилища. Все факторы определяют интенсивность и масштаб процесса деформации склона, характеризуемой величиной линейной переработки берега S_l , (м).

В декабре 2010 года постановлением правительства была утверждена государственная программа строительства в 2011–2015 годах гидро- электростанций в Беларуси. Согласно документу, потенциальная мощность всех водотоков Беларуси составляет 850 МВт, в том числе технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250 МВт. Планируемый объем финансирования проектов в рамках данной госпрограммы составлял 617,3 млн. долларов. В конце 2014 года госпрограмму подкорректировали. Так, согласно постановлению Правительства № 740 от 30 июля 2014 года, количество вводимых объектов было оптимизировано – с 33 суммарной мощностью 102,1 МВт до 16 суммарной мощностью 101,6 МВт [4].

Первый крупный проект по строительству ГЭС был реализован на реке Неман выше города Гродно. Гродненская ГЭС введена в действие в сентябре 2012 года. Ее установленная мощность составляет 17 МВт. Поставщик основного гидроэнергетического оборудования (турбины, генераторы, мультиплексы, системы управления) – чешская компания Mavel [4].

В рамках госпрограммы Министерство энергетики выполнена реализация еще несколько проектов. В частности, Полоцкая ГЭС мощностью 21,75 МВт

и Витебская ГЭС мощностью 40 МВт. В настоящее время рассматривается возможность строительства Бешенковичской ГЭС мощностью 33 МВт на Западной Двине, а также Неманской ГЭС мощностью 20 МВт на реке Неман.

Дальнейшее увеличение выработки электроэнергии ГЭС будет осуществляться в период 2016-2030 годов с поэтапным вводом на Днепре и Западной Двине крупных ГЭС, которые будут находиться в хозяйственном ведении ГПО «Белэнерго»:

- Бешенковичская ГЭС (30 МВт) – строится;
- Оршанская ГЭС (5,7 МВт) – проектируется;
- Речицкая ГЭС (4,6 МВт) – проектируется;
- Верхнедвинская ГЭС (20 МВт) – проектируется;
- Шкловская ГЭС (4,9 МВт) – проектируется;
- Могилевская ГЭС (5,1 МВт) – проектируется.

В настоящее время в республике находится в эксплуатации более 50 малых ГЭС суммарной мощностью 16,1 МВт, что составляет около 3 % от технически доступного потенциала. Мощность самой крупной ГЭС Беларуси, введенной в эксплуатацию в 2018 г. составляет 40 МВт (Витебская ГЭС на реке Западная Двина) [4].

Характеристика ГЭС и водохранилищ «каньонного» типа. Гродненская ГЭС. Гидроэлектростанция представляет собой водохозяйственный комплекс в состав которого входит водохранилище полным объемом 2 млн м³, земляная плотина, водосброс и здание ГЭС с пятью генераторами мощностью 3,4 МВт каждый, которые выдают общую мощность в 17 МВт (рис. 1).



Рис. 1. Гродненская ГЭС (вид с нижнего бьефа) (фото Левкевича В.Е.)

При возведении гидроэлектростанции было создано водохранилище общей площадью около 20 км², длиной около 44 км и шириной до 1,5 км. При

организации искусственного водоема не осуществлялось отселения жителей, сноса хозпостроек и затопления сельскохозяйственных земель. Созданное водохранилище находится в пределах речной долины и не выходит за размеры бывшей поймы реки во время весеннего паводка.

Витебская ГЭС. Заказчик строительства – предприятие «Витебскэнерго», а генподрядчик – Китайская национальная корпорация по электрооборудованию (CNEEC). Мощность станции – 40 мегаватт. Четыре ее турбины находятся в здании ГЭС. Длина водосбросной плотины составляет 200 м. Водохранилище Витебской ГЭС имеет площадь более 800 га. Длина водохранилища около 58 км.

Полоцкая ГЭС представляет собой гидроузел, включающий: земляную плотину, бетонную водосбросную плотину с шестью сегментными затворами и здание ГЭС. Площадь водохранилища Полоцкой ГЭС – 1710 га, длина 83 км – от деревни Лучно до пос. Бешенковичи. Наибольшая глубина водохранилища составляет 17 м.

Бешенковичская ГЭС. Объект находится в стадии активного проектирования, которое практически заканчивается. В настоящее время ведется поиск инвестора. На возведение Бешенковичской ГЭС планируется привлечь прямые инвестиции. Есть предложения от нескольких компаний из Китая и России.

Развитие береговых процессов на водохранилищах «каньонного» типа. Рассмотренные выше гидроузлы расположены в узких вытянутых долинах, имеющих высокие (до 15–30 м) очень крутые берега. Все берега склонны к развитию эрозионных процессов, которые вызываются действием гидрологических факторов, преимущественно – режимом течений в водоеме. Развитие береговых деформаций в водохранилищах так называемых каньонного типа будет происходить преимущественно по схеме оползневых процессов. Это утверждение получено на основании наблюдений на существующих водохранилищах данного типа таких как Дубровское, Волковичи и некоторых других.

По прогнозным данным [5; 6] величина наибольшей линейной переработки берегов *Витебской ГЭС* составит более 35 м. Наибольшие разрушения будут находиться в приплотинной наиболее широкой части водохранилища на расстоянии около 8–9 км от створа плотины. Протяженность береговой линии, подверженной абразии по обоим берегам (левому и правому), в соответствии с документом [5], охватит всю береговую линию.

Реально, как показал анализ данных натурных наблюдений, проведенный авторами статьи после заполнения водохранилища в 2016 и 2017 гг., а также материалов проведенного «фонового» прогноза – переработка склонов будет происходить фрагментарно, локально, причем величина переработки будет иметь минимальные значения в целом по всей длине водохранилища. Этому

будет способствовать режим колебания уровней в водохранилище, а также плановые очертания водоема и особенности развития ветрового волнения. На отдельных участках береговой линии величина переработки может быть значительной величины и превышать прогнозные полученные по [6]. На это указывают данные о районировании территории Беларуси по абразионному риску, приведенные в [1; 2]. Опыт проведения фоновых прогнозов, реализованный и проверенный на Дубровском водохранилище Минской области [7; 8], также каньонного типа – показал необходимость в осторожном применении имеющихся региональных методик прогноза, разработанных для крупных равнинных водохранилищ, которые в целом не пригодны для условий Беларуси [1; 2]. Поэтому совершенно очевидно, что прогнозные решения, принятые в ОВОС не соответствуют действительности и дают весьма приблизительные результаты.

Аналогичная картина наблюдается и с *Полоцкой ГЭС* [8]. Результат прогноза показывает, что переработке будет подвержено всего лишь около 7,0 км береговой линии водохранилища. Причем величины линейных деформаций также принимались по методу Н. Е. Кондратьева, что и на Витебской ГЭС [5; 6], что является, как мы показали выше не приемлемым для условий Беларуси.

Проблема оценки масштаба и интенсивности процесса переработки в проектных решениях, как показали наши предварительные натурные обследования береговой линии водохранилища *Гродненской ГЭС* отображается не всегда глубоко и детально. Так, на водохранилище *Гродненской ГЭС* в настоящее время уже происходит активизация процесса абразии на левом берегу в приплотинной части водохранилища и в средней части водоема, где имеются отложения несвязных песчаных грунтов. На этих участках происходит переработка по абразионно-осыпной схеме [1]. В средней части водохранилища, также на левом берегу получило развитие процесса абразии по абразионно-оползневому типу [3] (рис. 2). Протяженность этого участка около 1,2 км.

С вводом в эксплуатацию Гродненской гидроэлектростанции (ГЭС) и водохранилища на р. Неман ГЭС и: водохранилищ Полоцкой и Витебской ГЭС на р. Западная Двина протяженность берегов водохранилищ страны, подверженных активной переработке значительно возрастает. По оценочным расчетам авторов на водохранилище только Гродненской ГЭС в ближайшие годы, переработке будет подвержено до 9,6 км (около 20 % береговой линии). На Витебской ГЭС этот показатель составит соответственно около 12,4 км. Учитывая вероятностную природу процесса переработки можно предположить, что эти цифры могут быть значительно большими. К таким прогнозам следует относиться достаточно серьезно, т. к. развитие процесса переработки коренных берегов водохранилищ на которых предпо-

лагается развивать индустрию отдыха, рекреацию и места постоянного проживания следует детально обследовать и оценивать с выполнением прогнозных перманентных расчетов, причем точность прогнозов будут определять сочетание следующих факторов и условий:

- принадлежности водохранилищ к районам страны, характеризующимся определенным масштабом развития абразионного риска и проявления переработки склонов водохранилищ с учетом карт районирования [1–3];

- формы водоемов в плане и ориентации берегов относительно сторон света;

- гидрологические и метеоусловия, а также: характер ветрового волнения и колебания уровней в безледный период;

- режим внутриводоемных стоковых и ветровых течений;

- дифференциация формы исходного берега (обрывистой либо пологой) и механического состава размываемых грунтов.



Рис. 2. Развитие процесса переработки на водохранилище Гродненской ГЭС

Районирование по абразионному риску и масштабам проявления абразии, представленное в работах [1–3], позволяет отнести водохранилище Гродненской ГЭС к зоне умеренной переработки с величиной линейного отступления берега менее 10 м к зоне (IV). В соответствии с уточненным райони-

рованием территории страны по развитию процесса переработки, выполненным в 2016 г. водохранилищам каскада на р. Западная Двина, а именно: Полоцкой, Бешенковичской и Витебской ГЭС находятся в зоне (II) в которой могут иметь место переработки до 40 м и более [1–3].

Литература

1. Левкевич, В. Е. Динамика берегов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
2. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
3. Левкевич, В. Е. Основные результаты стационарных геоморфологических исследований абразионно-эрозионных процессов на водохранилищах БССР // В. Е. Левкевич // Водное хозяйство и гидротехническое строительство : сб. науч. ст. – Минск, 1988. – № 17. – С. 44–49.
4. Об утверждении Государственной программы строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республики Беларусь : постановление Совета министров Республики Беларусь от 17 дек. 2010 г. № 1838. – URL: <https://normativka.by/lib/document/500120885> (дата обращения 12.03.2024).
5. Левкевич, В. Е. Реализации мероприятий по объекту «Строительство Витебской ГЭС на реке Западная Двина. Мероприятия по ложу водохранилища (ОВОС) / В. Е. Левкевич. – Минск : ЦНИИКИВР, 2015. – 129 с.
6. Кондратьев, Н. Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах: практ. рук-во / Н. Е. Кондратьев. – Л. : Гидрометеиздат, 1960. – 64 с.
7. Левкевич, В. Е. Фоновый прогноз переработки берегов водохранилищ «Дубровское и «Раубичи» на р. Усяже / В. Е. Левкевич, Н. Ф. Самончик // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – Вып. 12. – С.12–14.
8. Левкевич, В. Е. Оценка воздействия на окружающую среду Полоцкой ГЭС на р. Зап. Двина (ОВОС) / В. Е. Левкевич. – Минск : ЦНИИКИВР, 2002. – 52 с.

Развитие мелиоративного и гидротехнического строительства в Беларуси

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены основные этапы развития водохозяйственного строительства в Беларуси, роль его в повышении продуктивности и интенсификации сельскохозяйственного производства, создании современной инфраструктуры сельского быта. Приведены сведения о современном состоянии, задачи в перспективе развития, а также ученые-мелиораторы, внесшие в разное время большой вклад в развитие теоретических и практических проблем мелиорации в Беларуси.

История мелиорации Беларуси насчитывает более 500 лет и уходит корнями в XVI в. Сочетание климатических, почвенных, гидрологических, гидрогеологических, геоморфологических и других условий нашей страны привело к развитию процессов заболачивания почв на больших площадях: в начале XIX в. общая площадь переувлажненных и заболоченных, но потенциально плодородных земель на ее территории превышала 8 млн га, из них 3 млн га – торфяники; в некоторых районах заболоченность достигала 80 %. Эти земли имели низкую пригодность для ведения растениеводства, проживания людей, строительства инфраструктуры, развития промышленности, так как переувлажнены, имеют слабые неустойчивые грунты, здесь распространены малярийные комары, болотные газы и др. Поэтому мелиорация земель в подобных условиях является одним из главных факторов повышения продуктивности и интенсификации сельскохозяйственного производства, создания современной инфраструктуры сельского быта.

Первые работы по осушению заболоченных земель были проведены на территории Беларуси на Полесье в первой половине XVI столетия, когда в Кобринском старостве, принадлежавшем королеве польской и великой княгине литовской Боне Сфорца (1494–1558), был прорыт осушительный канал Бона длиной 34 км, площадь водосбора 52 км². Он берет начало в 2 км от д. Заорье Малоритского р-на Брестской обл., проходит по Кобринскому району и впадает в р. Мухавец, западнее Кобрина. Целью средневекового каналостроения во владениях Боны было улучшение, причем успешное, сенокосных и прилегающих пахотных угодий. Во времена Боны был построен не один, а несколько магистральных каналов по проекту итальянских гидротехников, их трассы влились в современные гидромелиоративные системы.

Во второй половине XVIII в. были построены два крупных канала: Огинский и Днепровско-Бугский. Они оказали значительное влияние на водный режим прилегающих территорий, хотя и предназначались для сплава леса и навигации.

Огинский канал (Днепро-Неманский) соединил р. Ясельда (приток Припяти) и р. Щара (приток Немана). Проходит в Пинском, Ивацевичском и Ляховичском районах Брестской области и имеет длину вместе с пятикилометровым Выгоновским озером 54 км. Канал строился в 1765–1783 гг. В свое время и вплоть до Великой Отечественной войны (1941 г.) канал имел большое значение как транспортный путь, соединяющий Черное море с Балтийским. В Великую Отечественную войну все шлюзы и плотины были разрушены. Сейчас канал является регулятором стока из мелиоративных объектов Ивацевичского и Пинского районов. В настоящее время канал обмелел, зарос и хозяйственного значения не имеет.

Днепровско-Бугский (бывший Королевский) канал соединяет приток Припяти р. Пина (бассейн Днепра) с притоком Буга р. Мухавец (бассейн Вислы). Проходит на юге Брестской области (Брестский, Жабинковский, Кобринский, Дрогичинский, Ивановский и Пинский районы). Строительство канала было начато в 1755 г., был прорыт ров длиной 8 км. После этого строительные работы были заморожены и возобновились только в 1775 году. В конце XVIII в. строительство наконец-то было закончено. Вначале канал имел ширину по дну 10 м, на нем было построено семь разборных деревянных плотин. Для обеспечения высокой воды канал пополнялся водой Ореховского и Белого озер с помощью водопроводов. По нему пропускались небольшие суда и сплавлялся лес. После воссоединения западных областей Беларуси с основной ее частью Днепровско-Бугский канал был углублен, расширен и спрямлен. Было построено восемь новых гидрозелов с плотинами и водоспусками. Длина его достигла 196 км, из которых 110 км составила искусственная часть пути от города Кобрина до деревни Дубой на реке Пине. Канал стал интенсивно использоваться для перевозки различных грузов. Он не имеет выхода в р. Буг, так как в устье р. Мухавец создана плотина для повышения уровня воды. Канал имеет 12 шлюзов, 12 плотин и водоспусков. В период навигации глубина канала до 2,4 м, ширина от 22 до 28 м. Канал до наших времен сохранил свое назначение.

Третьей важной искусственной дорогой на территории Беларуси была Березинская водная система (Днепро-Двинская), которая сооружалась в 1797–1805 гг. Представляла собой водный путь из бассейна Днепра в бассейн Западной Двины. Начинаясь на р. Березина при впадении в нее р. Сергуч и оканчивалась на р. Улла (приток Западной Двины). Протяженность системы 169 км. Имела 14 шлюзов. Использовалась в начале XIX в. для лесосплава и судоходства. Из-за чрезмерной вырубki лесов, обмеления рек

и озер в конце XIX в. лесосплав проводился только в высокую воду. Затем она утратила хозяйственное значение и в настоящее время не действует. Реконструкция Березинской водной системы сдерживается тем, что значительная ее часть проходит по территории Березинского биосферного заповедника, которому, учитывая природоохранную и научную ценность, придан статус биосферного в 1978 г. Реконструкция системы повлечет за собой изменение гидрологического режима экосистем заповедника.

Как водный путь к балтийским портам в 1824–1839 гг. сооружен Августовский канал (Висла-Неман) с целью перевозки грузов с бассейна Днепра (по Днепровско-Бугскому каналу), Вислы и Немана в Балтийское море. Он соединяет р. Неман с р. Бебжа (бассейн Вислы). Проходит на северо-востоке Польши и в Гродненском районе. Канал имеет длину 102 км, в том числе на территории Беларуси – 22 км. Средняя глубина 1,8 м. Состоит из системы искусственных каналов, озер, прудов, канализованных участков рек и протоков между озерами. В пределах территории Беларуси имеет 4 шлюза и 2 плотины, соединяет отдельным руслом длиной 6 км р. Черная Ганча с р. Неман. С развитием железнодорожной сети роль канала как транспортной артерии значительно уменьшилась. Поскольку канал представляет историческую ценность и может использоваться в туристических и культурных целях, в 2006 г. проведена реконструкция части канала, проложенного по территории Гродненского района.

В 1810 г. по повелению российского императора Александра I было издано, составленное Г. Энгельманом, руководство к осушению болот [1]. Во введении к этому документу указано, что истинное богатство Российского государства заключается в «приращении земель для пищи и торговли». Несмотря на осознание важной проблемы осушения болот, в первой половине XIX в. осушительные работы производились непостоянно, на сравнительно незначительных площадях, преимущественно в границах предместий крупных городов, и в основном как санитарные или отчасти логистические мероприятия.

Гидромелиоративные приемы, способствующие сбросу избыточной влаги с заболоченных земель и их использованию в сельскохозяйственном производстве, стали изучаться и применяться в Беларуси с середины XIX в. В 1853 г. на территории Горы-Горецкого земледельческого института (ныне Белорусская государственная сельскохозяйственная академия) под руководством выпускника института 1852 г. А. Н. Козловского, в будущем профессора, ученого в области гидромелиорации был заложен *закрытый трубчатый гончарный дренаж* – один из первых и старейших в Восточной Европе, который частично работает и сейчас. Как писал автор этих работ – А. Н. Козловский, «первоначально в виде опыта в малом масштабе, а с 1856 г. в более обширных размерах» [2]. В 1855–1856 гг. в Горы-Горках

были построены дренажный и кирпичный заводы, печи для обжига, навес для сушки дренажных трубок диаметром от 1 до 5 дюймов (2,5–12,5 см) и кирпича. Дренаж был заложен на площади 94 десятины (свыше 103 га). Он предназначался для различных целей: осушения под луг минеральных тяжелых почв с атмосферным водным питанием, низинных торфяников, замкнутых заболоченных западин, а также осушения строительных площадок под крупные здания и снижения гидродинамического напора грунтовых вод в нижних частях откосов каналов во избежание их выпучивания и обрушения [2]. Здесь трудился и занимался осушением земель и расчетами параметров дренажа на суглинистых почвах кандидат технических наук, доцент Г. И. Михайлов. Доктор технических наук, профессор М. Г. Голченко изучал увлажненность территории и поливной режим сельскохозяйственных культур на минеральных почвах.

С целью развития и улучшения сельского хозяйства западных и северо-западных губерний Департаментом сельского хозяйства Министерства Государственных имуществ России с 1853 г. в Горы-Горецком земледельческом институте было организовано проведение ежегодных сельскохозяйственных съездов (конференций). Участники съездов обсуждали новые сведения по земледелию, скотоводству, лесоводству и занимались пропагандой передового опыта.

С целью поощрения землевладельцев к осушению болот Министерство государственных имуществ России еще в 1857 г. издало «Наставление к осушке и возделыванию болот». К сожалению, данное издание мало повлияло на развитие осушительных работ, хотя его авторы представили весьма рациональные для того времени подходы к осушению и обстоятельно обосновали вред, причиняемый болотами сельскому хозяйству и социальной сфере [3]. Гидромелиорация в тот период осуществлялась в основном благодаря частной инициативе.

Во второй половине XIX в., в связи с ростом населения и развитием промышленности, требующей в том числе и сельскохозяйственное сырье, начали проявляться признаки серьезного отставания сельскохозяйственного производства от потребностей государства. Поэтому 26 мая 1872 г. Комитет министров утвердил Комиссию для исследования положения в сельском хозяйстве и сельской производительности в России под председательством министра государственных имуществ графа П. А. Валуева. На основании выводов Комиссии [4] Министерство государственных имуществ «с Высочайшего соизволения» учредило в 1873 г. сначала Западную (первоначально – Полесскую), а затем и Северную экспедиции по осушению земель. Причем как Западная экспедиция под руководством военного инженера, геодезиста, генерала от инфантерии Иосифа Ипполитовича Жилинского, так и Северная, возглавляемая вначале А. Гржегоржевским (1873–

1875), затем последовательно К. Нотгафтом (1875–1895), И. Августиновичем (1880–1895) и Я. Колосовским, находились в ведении Лесного департамента. Районом действия Западной экспедиции по осушению болот, в которую вошли ведущие специалисты в области гидрологии, геодезии, минералогии, ботаники и других специальностей, было в первую очередь Полесье, то есть Минская и Волынская губернии, а также часть Гродненской. Затем на эту же экспедицию с 1876 г. были возложены обязанности по проведению работ в Московской, Тверской, Рязанской и Владимирской губерниях. С этого периода и начиналась реальная практическая финансируемая государством мелиорация в северо-западных регионах Российской империи.

На экспедицию были возложены обязанности по доскональному обследованию и проведению осушительных работ в регионе Полесья. Названию «Полесье» (или Пинские болота) на тот момент соответствовали площади, приблизительно входящие в треугольник Брест-Литовск – Киев – Могилев-на-Днепре, то есть более 8 млн га [4]. На основании изысканий И. И. Жилинский разработал Генеральный план осушения Полесья, одобренный академиками А. Ф. Миддендорфом и К. С. Веселовским. Была сформулирована конечная цель работ – улучшить естественные луга и леса, создать водные пути в виде каналов для сплава леса. Активное участие в работе принимали К. И. Малаховский, И. К. Милицер, Е. В. Оппоков, А. М. Гатовский, П. С. Петровский, И. К. Радзиковский, И. К. Сикорский, Ф. Н. Ширяев, а также ведущие ученые разных научных направлений: К. С. Веселовский, А. И. Воейков, Е. А. Гейнц, М. О. Гедеман, В. В. Докучаев, В. П. Лукашевич, А. Ф. Миддендорф, Р. П. Спарро, Г. И. Танфильев, Э. И. Эйхвальд.

Основными направлениями исследований экспедиции стали: картографирование и геодезические изыскания, почвенные и геологические обследования, каталогизация флоры, систематические климатические наблюдения, гидрология территории, включая уровенный режим рек Припять и Днепр. Важнейшей частью работ стали научное обоснование, проектирование и осушение болот, в последующем – сельскохозяйственное использование осушенных земель [4].

Общая площадь земель, непосредственно входивших в сферу деятельности экспедиции, составляла более 3,2 млн га. Специалисты и рабочие провели полное или частичное осушение 50 казенных дач, проложили около 5000 км каналов осушительного и лесотранспортного значения, расчистили 134 км речных русел, построили 549 мостов, 17 полушлюзов для задержания воды во время засух. Отвод поверхностных вод, позволивший обеспечить улучшение условий для роста леса, был произведен на площади 500 тыс. га. Помимо осушения болот, специалисты экспедиции выполнили большой объем изыскательских работ, положивших начало комплексному изучению природных условий Полесья [4].

Деятельность Западной экспедиции имела огромное значение для развития мелиорации земель в Беларуси, Украине и России. В Белорусском Полесье были опробованы такие способы осушения, как сеть каналов, гончарный, фашинный, каменный дренажи, строительство осушительно-увлажнительных систем и др. Благодаря усилиям участников экспедиции в России появились первые нормативные документы по осушению и освоению болот, были сделаны первые шаги по созданию отечественной гидромелиоративной инженерной школы. Этот крупный проект по осушению земель не имел аналогов в мире. Впоследствии он был высоко оценен как в России, так и за рубежом, в 1878 г. удостоен золотой медали на Всемирной выставке в Париже. В 1894 г. в структуре Министерства земледелия и государственных имуществ был создан отдел земельных улучшений, который до 1909 г. возглавлял И. И. Жилинский [3].

Мелиорация в Поозерье развивалась по другому сценарию: здесь осушались в сочетании с агромелиоративными приемами преимущественно переувлажненные пахотные земли. Продуктивность осушенных земель неизменно превышала общую; на пахотных землях она достигла уровня 3,5 т/га к. ед., а в 30 % хозяйств – 5 т/га к. ед. [3].

К началу XX века из-за экономических трудностей государственное финансирование работ по мелиорации земель начало резко сокращаться и в 1903 г. Западная экспедиция была упразднена. Функции экспедиции были переданы местным Управлениям Земельных и Государственных Имуществ. Децентрализация мелиоративной отрасли привела к тому, что практически были прекращены все работы по осушению, а отсутствие в местных бюджетах средств на поддержание построенных мелиоративных систем привело их к быстрому выходу из строя.

Очередной недолговременный интерес к мелиорации возник в период Столыпинской реформы. С 1909 г. резко возросли бюджетные ассигнования на мелиорацию, была осознана необходимость развития ее научного обеспечения. В 1910 г. была открыта Сарненская опытная болотная станция, а при Минском Губернском Земстве создана специальная болотная комиссия. Постановлением Минского Губернского Комитета по делам земского хозяйства в г. Минске 22 февраля 1910 г. была организована Минская болотная опытная станция (МБОС) (ныне Институт мелиорации НАН Беларуси), начавшая активную деятельность с 1911 г. Первым директором станции стал магистр ботаники А. Ф. Флеров, затем его сменил доктор сельскохозяйственных наук А. Т. Кирсанов – ученый в области агрохимии и почвоведения. С 1912 по 1917 г. в г. Минске под редакцией руководителей МБОС издавался научно-теоретический ежеквартальный журнал «Болотоведение», где освещались вопросы осушения болот в Минской губернии, Прибалтийском крае, Волыни,

а также опыт осушения в странах Западной Европы, публиковались реферативные статьи, сообщения о съездах, выставках, курсах по мелиорации и т. п.

Следующий этап развития осушительной мелиорации в республике наступил в 30-е годы XX в. В 1933 г. было создано Главное управление мелиорации и водного хозяйства БССР, начали появляться и активно работать мелиоративные коммуны. Наиболее известная из них была организована на месте бывших Марьинских болот, что на Любаньщине.

Во время Великой Отечественной войны (1941–1944) почти все мелиоративные системы были разрушены. Их восстановление началось сразу после освобождения Беларуси. За 20 послевоенных лет (1945–1965) в сельскохозяйственное использование мелиораторами было передано около 1 млн га осушенных земель.

Особое значение для развития гидромелиоративного строительства имели решения майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС, посвященного мелиорации земель. В ходе их выполнения были осуществлены водохозяйственные работы на огромной территории бывшего СССР.

Интенсивное мелиоративное строительство в Беларуси стало возможным благодаря широкому развитию образовательных, научно-исследовательских и проектных учреждений водохозяйственной специализации. В 1848 г. было открыто первое Горы-Горечкое землеустроительное училище с отделением мелиоративного профиля, которое в 1919 г. было трансформировано в самостоятельный агромелиоративный институт, в настоящее время – мелиоративно-строительный факультет Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

В различные периоды были открыты другие научные и учебные центры: в 1961 г. Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), факультеты водохозяйственного профиля в 1920 г. в Белорусском политехническом институте (ныне БНТУ) и в 1966 г. в Брестском инженерно-строительном институте (ныне БрГТУ), а также два мелиоративных техникума – в Пинске (1946 г.) и Лепеле (1974 г.). Значительно усилена база проектирования: укреплен проектный институт «Белгипроводхоз», а в регионе Полесье в г. Пинске (1967 г.) образован институт «Союзгипромелиоводхоз» (как филиал «Союзводпроекта», а позднее (1991 г.) как самостоятельная организация – «Полесьегипроводхоз»).

Следует отметить, что до начала XX в. гидроэнергетические ресурсы Беларуси использовались только на водяных мельницах и лесопилках.

В 1920–1930-е гг. XX в. началось массовое строительство малых водохранилищ и к началу 1941 г. в Беларуси было создано 32 водохранилища при колхозных гидроэлектростанциях (ГЭС). Во время Великой Отечественной войны большинство из них было разрушено. В послевоенный период началось восстановление и строительство новых межколхозных ГЭС

и водохранилищ, особенно интенсивно они создавались в 1950–1960 гг. В результате к концу этого периода в республике в эксплуатации было свыше 170 действующих ГЭС общей мощностью около 15 тыс. кВт, что составляло менее 1 % суммарной мощности всех энергоисточников страны, но в основном они работали на выделенную нагрузку. Постепенно до конца 80-х годов XX в. почти все они были выведены из эксплуатации, в системе Министерства энергетики оставалось в работе только четыре ГЭС [5]. В дальнейшем, в связи с удорожанием традиционных энергоресурсов, экологической эффективностью гидроэнергетических ресурсов, а также новейшими наработками в области автоматики и средств управления, позволяющими обеспечить их полную автоматизацию и существенно сократить эксплуатационные затраты в Беларуси восстановлено и построено за 1990–2010 гг. порядка 40 малых ГЭС [5], а за 2011–2020 гг. – 16 [6]. Так, уже действуют Богинская, Полоцкая и Витебская гидроэлектростанции в Витебской области, Зельвенская и Гродненская в Гродненской, Саковщинская, Жодинская и Вилейская – в Минской, Тетеринская – в Могилевской области и целый ряд других.

Согласно Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. в Беларуси на 1 сентября 2020 г. работает 53 гидроэлектростанции установленной мощностью 96 МВт [7].

На данный момент гидроэнергетический потенциал республики освоен не полностью. Если на Днепре и в бассейне Припяти возможности строительства гидроэлектростанций ограничены из-за необходимости затопления огромных площадей, то на притоках Днепра, а также в бассейнах Западной Двины и Немана есть условия для создания достаточно экономичных и экологически безопасных гидроэлектростанций. По данным [8] суммарногидроэнергетический потенциал средних и малых рек Беларуси составляет 294,3 МВт. С учетом размещенных и планируемых к размещению ГЭС на реках Неман (36 МВт), Западная Двина (94,7 МВт) и Днепр (15,9 МВт) гидроэнергетический потенциал (потенциальная мощность) всех рек Беларуси составляет 441 МВт [8].

Начиная с 1960 г. строительство прудов и водохранилищ преследовало главным образом мелиоративные, а затем и рыбохозяйственные цели.

К началу 1990-х гг. в Беларуси было построено более 100 водохранилищ и около 1500 прудов [9]. Затем темпы гидротехнического строительства по отдельным причинам начали снижаться.

Для более полного обеспечения населения Республики Беларусь рыбой и рыбопродуктами Министерством сельского хозяйства и продовольствия была разработана и утверждена Советом Министров Республики Беларусь (постановление СМ РБ от 1 февраля 2021 года № 59) Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг., включающая подпрограмму 5

«Развитие рыбохозяйственной деятельности» [10]. К началу 2023 г. рыбохозяйственной деятельностью в стране занимается более 600 юридических и физических лиц, в том числе 15 специализированных прудовых рыбоводных хозяйства республиканской и коммунальной форм собственности, 512 арендаторов приспособленных прудов для целей рыбоводства и предприятий сельскохозяйственного профиля, имеющих на балансе пруды для рыбоводства, а также 75 арендаторов и 6 пользователей рыболовных угодий, осуществляющих промысловый лов рыбы и организацию платного любительского рыболовства. Общее число индустриальных хозяйств – 15 [11]. Во ведении Государственного объединения по мелиорации земель, водному и рыбному хозяйству «Белводхоз» Министерства сельского хозяйства и продовольствия – 11 рыбоводных хозяйств. Реализация данной подпрограммы 5 позволит значительно увеличить объем производства прудовой рыбы с достижением полного импортозамещения пресноводной рыбы.

Следует отметить, что в Подпрограмме 6 «Инженерные противопаводковые мероприятия» и 7 «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения» Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. [10] намечены большие задачи по повышению продуктивности мелиорированных земель: инженерная защита сельскохозяйственных земель от затоплений и подтоплений, восстановление потребительских качеств мелиоративных систем, которые были утрачены за продолжительный период эксплуатации, и вовлечение мелиорированных земель в сельскохозяйственный оборот, для чего необходимо провести ремонтно-восстановительные работы и реконструкцию шлюзов-регуляторов, прудов и водохранилищ, водоприемников и др.

В настоящее время в составе сельскохозяйственных земель республики используется более 2,8 млн га осушенных, то есть 35 % от всех сельскохозяйственных земель. В разрезе областей удельный вес осушенных сельскохозяйственных земель в Беларуси составляет: Брестская область – 50,8, Витебская – 37,5, Гомельская – 39,0, Гродненская – 24,3, Минская – 33,9, Могилевская – 21,0 %. Все без исключения районы имеют осушенные сельхозугодья (от 8 % в Шкловском до 74 % в Ганцевичском). В 23 районах мелиорированные земли занимают более 50 % сельхозплощадей и обеспечивают производство основной доли продукции растениеводства [12].

Агробиологический потенциал мелиорированных почв в высокой степени изучен для торфяных почв и составляет не менее 8–10 т/га кормовых единиц. Потенциальные возможности осушенных почв Белорусского Поозерья составляют 6–8 т/га кормовых единиц, осушенных почв легкого гранулометрического состава – 5–6 т/га к. ед. Мелиорированные земли обеспечивают получение трети продукции растениеводства и более 60 % всех зеленых кормов [3].

В перспективе гидротехническое строительство в Беларуси может развиваться в форме строительства гидроузлов комплексного использования – создания водохранилищ для регулирования стока при одновременном использовании их в энергетике, для водообеспечения, рекреации, водного транспорта, мелиорации, рыбоводства и охраны вод.

Успехи по проведению мелиорации земель в нашей стране практически полностью обеспечены благодаря достижениям ученых и практиков, коллективов научно-исследовательских институтов и учебных заведений.

Большой вклад в развитие теоретических и практических проблем мелиорации в Беларуси внесли в разное время ученые В. С. Анашко, А. С. Анженков, В. В. Адамов, Г. И. Афанасик, В. И. Белковский, Б. Б. Бельский, Г. В. Васильченко, Н. К. Вахонин, А. А. Волчек, А. Н. Геращенко, М. Г. Голченко, З. Н. Денисов, Н. А. Дрозд, А. Д. Дубах, П. И. Закржевский, В. М. Зубец, А. И. Ивицкий, Ф. В. Игнатенко, В. Ф. Карловский, В. Т. Климов, К. Я. Кожанов, А. Н. Козловский, В. Н. Кондратьев, Т. Н. Кулаковская, Г. И. Лашкевич, А. В. Лебедев, А. П. Лихацевич, И. С. Лупинович, Г. М. Лыч, И. В. Минаев, А. И. Митрахович, А. И. Михальцевич, Э. И. Михневич, А. И. Мурашко, А. Ф. Печкуров, Н. Н. Погодин, Х. А. Писарьков, Е. В. Руденко, А. П. Русецкий, Ф. В. Саплюков, Н. В. Сеницын, С. Г. Скоропанов, Р. П. Спарро, П. Ф. Тиво, В. Н. Титов, С. И. Тризно, Л. А. Холодок, В. Ф. Шебеко, Э. Н. Шкутов, П. К. Черник, Г. Д. Эркин, Б. И. Яковлев и многие другие. Управляли развитием мелиоративного комплекса в республике А. В. Алексанкин, В. А. Гвоздев, Г. Г. Гулюк, В. В. Ермоленко, В. В. Зарудный, А. А. Зеленовский, В. И. Павлючук, И. В. Титов, А. А. Шахнович, А. П. Басюкевич, А. А. Булыня, В. В. Аскерко и другие профессионалы, заслужившие почет и уважение не только в Беларуси, но и в России.

Литература

1. Энгельман, Г. Теоретическое и практическое руководство к осушению угодьев, или показание причин, рождающих в почве чрезмерную мокроту и производящих зыби, болота и топи / Г. Энгельман. – СПб. : Типография Шнора, 1810. – 291 с.
2. Козловский, А. Н. Дренажные работы при Горы-Горещких учебных заведениях. // Журнал Министерства государственных имуществ. – 1860. – Т. LXXV, отд. II. – С. 50–64.
3. Анженков, А. С. 150 лет Западной экспедиции по осушению болот / А. С. Анженков, А. С. Мееровский // Мелиорация. – 2022. – № 4 (102). – С. 6–11.
4. Жилинский, И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) / И. И. Жилинский. – СПб. : М-во земледелия и государственных имуществ, 1899. – 744 с.

5. Смирнов, А. И. Новый этап восстановления и строительства малых ГЭС в Беларуси / А. И. Смирнов, С. П. Гатилло // Водное хозяйство и гидротехническое строительство : республиканский межведомственный сб. науч. тр. – Вып. 22. – Минск : БНТУ, 2010. – С. 31–35.

6. Смирнов, А. И. О строительстве малых ГЭС в Беларуси / А. И. Смирнов, С. П. Гатилло // Вода. Газ. Тепло 2020 : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», г. Минск, 8–10 октября 2020 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 169–172.

7. О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы (в ред. Постановления СМ РБ от 09.02.2023 №116) : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 февр. 2021 г., № 103 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100103> (дата обращения: 22.07.2023).

8. Гидроэнергетический потенциал средних и малых рек Беларуси / В. Н. Корнеев, И. А. Булак, Л. Н. Гертман. – Минск : Колорград, 2020. – 144 с.

9. Широков, В. М. Водохранилища Белоруссии: справочник / В. М. Широков, В. А. Пидопличко. – Минск : Университетское, 1992. – 80 с.

10. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г., № 59 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100059_161290_4400.Pdf (дата обращения: 08.11.2021).

11. Агеец, В. Ю. О результатах рыбохозяйственной деятельности в Республике Беларусь за 2021 год / В. Ю. Агеец, В. Г. Костоусов, О. Н. Марцуль // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2022. – № 38. – С. 7–20. – <https://doi.org/10.47612/978-985-880-000000-0-2022-38-7-20>.

12. Анженков, А. С. Состояние мелиоративных систем в Беларуси: задачи и перспективы / А. С. Анженков, Н. Н. Линкевич // Мелиорация. – 2022. – № 1 (99). – С. 5–12.

Научно-методические вопросы реализации образовательной программы «Проектирование, постройка и ремонт судов»

Роннов Е. П. Кочнев Ю. А.

Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Российская Федерация

Рассмотрены основные вопросы подготовки кораблестроителей в Волжский государственный университет водного транспорта: особенности перехода от бакалавриата к подготовке специалистов, «компетентный» подход при формировании учебного плана, специфика заочного обучения по специальности и т. д.

Для проектирования, постройки и технической эксплуатации судов требуются специалисты, обладающие необходимым комплексом специальных знаний и умений. Для подготовки кораблестроителей в России с годами сложилась отлаженная система обучения, которая на протяжении многих лет существования показала свою эффективность и надежность.

В СССР срок обучения в вузах по большинству инженерных специальностей долгое время составлял 4 года 10 месяцев. Признавая сложность обучения корабельному ремеслу, срок обучения будущих кораблестроителей был увеличен до 5 лет 6 месяцев.

В связи с присоединением России к Болонскому соглашению по образованию произошла, можно сказать, нивелировка в подготовке инженерных и гуманитарных специалистов. Вместо учета особенностей подготовки специалистов по конкретной специальности, отличающейся своей трудоемкостью, стала осуществляться подготовка по направлению, объединяющему группу родственных специальностей. В отношении специальности «Кораблестроение», такой обобщенный подход ведет к снижению качества подготовки специалистов за счет сокращения и устранения ряда специальных дисциплин, уменьшения времени производственных практик и дипломного проектирования.

Наш университет уже пять лет назад отказался от Болонской системы и с разрешения Минобрнауки перешел на подготовку по системе СПЕЦИАЛИТЕТ. Это первое, что удалось поправить с целью улучшения подготовки корабелов.

Вторая проблема, косвенно сказывающаяся на качестве корабельного образования – это переход на так называемые «компетенции» при формулировании требований в Государственном образовательном стандарте (ФГОС) [1]. Такой подход вместо вполне определенных требований к выпускнику-специалисту, делает эти требованиями общими и неконкретными.

Например, как в одном из ФГОУ была сформулирована профессиональная компетенция ПК-1 корабеля для проектной деятельности выпускника: «готовность участвовать в разработке проектов судов и средств океанотехники ... с учетом технико-эксплуатационных, эргономических ... требований». Или компетенция ПК-2: «готовность использовать информационные технологии при разработке новых образцов морской (речной) техники». Это скорее лозунги и призывы. Что значит готовность? Присутствовать при этом? Понимать их можно по-разному и соответственно реализовывать их выполнение очень сложно. А такой характер имеют большинство компетенций. В дореформенное время в высшей школе в ФГОС в качестве требований указывались перечень основных корабельных дисциплин и их минимальный объем в часах. Выполнение этого требования в ходе учебного процесса гарантировало уровень подготовки корабелов никак не ниже сегодняшних требований «готовность участвовать...», «готовность использовать...» и т. д. Конечно, мы для себя выбрали перечень таких дисциплин и сохраняем его при каждом новом варианте ФГОС.

Следующий проблемный вопрос – федеральный стандарт предусматривает возможность заочного образования по корабельному направлению подготовки. Однако при этом вносит регламентацию по количеству аудиторных часов для них: не более 20 % от аудиторных часов для очников. Учитывая общеобразовательный уровень этой категории студентов, их занятость на производстве, сложность дисциплин кораблестроительного профиля, фонд часов занятий с преподавателем недостаточен. На наш взгляд, надо либо корректировать стандарт, либо прекращать заочное образование корабелов.

Федеральный стандарт в последней редакции, строго говоря, не предусматривает время для выпускной квалификационной работы, констатируя, что в блок «Государственная итоговая аттестация» входит время на ее защиту, подготовку к процедуре защиты, а также подготовку к сдаче государственного экзамена. На наш взгляд, время дипломного проектирования на кораблестроительном факультете необоснованно занижено, что снижает роль этого крайне важного этапа подготовки инженерных кадров.

В стандарте есть требования об участии в реализации учебного процесса представителей производства. В принципе эта идея совершенно правильная. Но установленные нормативы создают при их реализации многие проблемы. Во-первых, специальность преподавателя вуза и специалиста на производстве совсем не одно и то же и, конечно, эти люди не взаимозаменяемые. Во многих случаях у ведущих специалистов с предприятий по многим причинам нет мотивации заниматься дополнительно преподавательской работой, так как дополнительный заработок от нее просто смешной, а нагрузка по основной работе, как правило, предельная. Существенно боль-

ший будет эффект при общении с этими специалистами на практике, протяженность которой надо увеличивать. К сожалению, следует констатировать, что так называемые реформы образования привели к тому, что падает престиж и мотивация преподавательской деятельности. Причин этому несколько. Материальное вознаграждение за работу в вузе преподавателя, имеющего ученые степени и ученые звания (даже самые высокие), не сопоставимы с уровнем заработка специалистов аналогичного потенциала на производстве. В настоящее время даже начальная зарплата выпускника часто соизмерима с зарплатой доцента.

Нельзя не остановиться еще на одном важном в наше время вопросе, существенно влияющем на качество подготовки специалистов-корабелов – это мотивация студентов к учебе на должном уровне. Не секрет, что на технические специальности далеко не всегда идут учиться абитуриенты с хорошей средне школьной подготовкой. Причин к этому много. Это и пресловутое ЕГЭ, это и СМИ, через которое систематически (а может даже и умышленно) подбрасывается идея всем выпускникам школ идти в экономисты, потом юристы, сейчас на IT-шников, а в инженерии – кто туда не попал. То есть не самые подготовленные. И с ними надо работать, чтобы выучить инженера-кораблестроителя. Прошли те времена, когда на «корфак», также как и, например, самолетостроение конкурс был не менее 15 человек на место.

Сейчас поступивших приходится учить и элементарным вещам из школьного курса, и учить учиться. В этой ситуации мы видим выход в том, чтобы студента максимально держать в поле зрения, в рабочем состоянии. По основным корабельным дисциплинам по каждому техническому разделу студенты должны выполнять расчетно-графическую работу предварительно сдав на компьютере тест, подтверждая тем самым предварительные знания и умения по материалу данного раздела. Кто хочет стать инженером, тот проходит через это, кто не хочет – отсеивается.

Нельзя не вспомнить еще один фактор повышения качества подготовки будущих кораблестроителей. Необходимо вернуться к ранее существовавшей системе организации учебно-методических объединений (УМО). В вузах, где обучаются будущие кораблестроители, накоплен хороший опыт взаимного обмена и анализа положительных и отрицательных сторон реализации учебного процесса. Эту важную работу успешно проводило УМО, во главе которого многие десятилетия стоял Санкт-Петербургский морской технический университет (кораблестроительном институте). Работа УМО организовывала обсуждения и принятие решений на разных уровнях – факультетов, отдельных кафедр, специальных дисциплин. В настоящее время это, к сожалению, практически разрушено.

Многолетний опыт подготовки кораблестроителей показывает, что в этой сложной работе большая роль принадлежит работодателям, для которых ведется подготовка специалистов. В Волжском государственном университете водного транспорта (ВГУВТ) найдены интересные формы такой работы. Организационные аспекты содружества ВГУВТа с отраслевыми работодателями обсуждает Координационный совет, на котором рассматриваются все актуальные проблемы подготовки кадров.

В создавшейся ситуации маркетинговая политика в отраслевом образовании должна быть четко ориентирована на выпуск специалистов, которые востребованы на рынке труда. Для укрепления взаимодействия работодателей, профессиональных учебных заведений целесообразно создавать ведомственные программы, закрепляющие механизм и формы реализации контрактной подготовки специалистов.

В процессе учебы во ВГУВТе будущие кораблестроители изучают и приобретают навыки использования новых средств обучения. Например, используется 3D-моделирование судов с использованием голландского комплекса NUPAS и другое современное программное обеспечение. На производственных практиках многие студенты работают в штатных должностях. Для этого на младших курсах они получают рабочую специальность и затем на практике реальным трудом повышают свои производственные навыки и заработную плату. В этом отношении большую помощь при проведении производственных практик оказывают специалисты Невского судостроительно-судоремонтного завода в Шлиссельбурге, ООО «Судостроитель» в Аксае и «Завод «Красное Сормово». Они уделяют постоянное внимание нашим практикантам.

В настоящее время на многих предприятиях сложилась ситуация, когда с появлением новых заказов ощущается острая нехватка специалистов: возраст ИТР достиг предела, а молодых специалистов не хватает. При этом наблюдается такая особенность: в последние годы потребность в кораблестроителях превышает количество выпускников ВГУВТ в несколько раз. Вместе с тем география предприятий, где ждут наших воспитанников, постоянно расширяется. Среди них судостроительно-судоремонтный завод «Нерпа» в Снежногорске, Зеленодольский судостроительный завод имени М. Горького, завод «Залив» в Керчи, ЗАО «Нефтефлот» в Самаре, другие предприятия.

Институт «Кораблестроения и инфраструктуры водного транспорта» и входящие в него, специализированные кафедры постоянно проводят мероприятия, позволяющие укреплять связь с производством. В вузах России нет обязательного распределения выпускников. Однако каждую весну деканат проводит встречи выпускников института с будущими работодателями. Мы убеждены, что такие встречи полезны как работодателям, так и для молодых кораблестроителей. Опыт показывает, что поддержка первых шагов

на производстве молодых специалистов очень важна, она во многом определяет их карьерный рост на производстве.

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – специалитет по специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники : приказ от 14 авг. 2020 г. № 1022. – URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-26-05-01-proektirovanie-i-postroyka-korablye-sudov-i-obektov-oceanotekniki-1022/> (дата обращения: 05.05.2025).

УДК 631.452

Агрохиммелиоранты и технические решения восстановления плодородия почв временно выбывшего из оборота и нарушенных мелиорируемых земель

Вчерашня В. В.¹, Мажайский Ю. А.²

¹Белорусская государственная сельскохозяйственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени

сельскохозяйственная академия

Горки, Республика Беларусь,

²ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,

Москва, Российская Федерация

На основании проведенных исследований предложены технологические решения восстановления плодородия почв мелиорированных земель, временно выбывших из сельскохозяйственного оборота. Рассмотрены методы регулирования водно-воздушного режима с использованием запатентованного дренажного устройства, а также применение агрохиммелиорантов. Проведен анализ эффективности внесения компоста на основе местных органических отходов. Установлено положительное влияние разработанного комплекса мероприятий на водно-физические свойства почв. Представленные подходы способствуют ускоренному восстановлению продуктивности и устойчивому развитию аграрного сектора.

Мелиорированные земли в Республике Беларусь занимают значительную часть сельскохозяйственных угодий – около 3273,7 тыс. га – и играют ключевую роль в обеспечении стабильного урожая, рационального водопользования и продовольственной безопасности [1]. Однако в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к ухудшению состояния данных земель. Это связано с климатическими изменениями, деградацией почв,

нарушением гидрологических режимов и снижением уровня агротехнического ухода. В связи с этим мелиорированные земли временно выбывают из сельскохозяйственного оборота, что создает риски для устойчивого функционирования аграрного сектора.

Особую угрозу представляют водная и ветровая эрозия, переувлажнение или, напротив, засушливость, а также истощение почвенного покрова вследствие утраты гумуса и снижения биологической активности. В связи с этим возрастают требования к технологиям восстановления продуктивности нарушенных земель. Наиболее перспективным направлением является применение комплекса агрохимических мелиорантов и технических решений, направленных на восстановление водно-воздушного режима, улучшение структуры и питательного состава почв [2].

Разработка и внедрение таких технических решений требуют научно обоснованного подхода, с учетом специфики конкретных мелиоративных систем, агроклиматических условий региона и состояния почв. Целью настоящего исследования является обоснование и апробация комплекса мероприятий по восстановлению плодородия мелиорированных земель, временно выведенных из использования, с применением современных агрохимических и инженерно-технических средств.

Вопросами восстановления нарушенных и временно выбывших из оборота мелиорированных земель активно занимаются как белорусские, так и зарубежные исследователи. Существенный вклад в изучение процессов деградации почв и разработку методов их восстановления внесли такие ученые, как В. И. Титова, Т. Ф. Персикова, А. П. Лихацевич, В. В. Лапа и т. д. Их работы посвящены совершенствованию мелиоративных технологий, агрохимической рекультивации, стабилизации водного режима и оптимизации органоминерального питания растений на осушенных и нарушенных почвах.

Несмотря на наличие научных данных, касающихся восстановления нарушенных и деградированных земель, существует необходимость в разработке и адаптации конкретных технологических решений в условиях северо-восточной части Республики Беларусь. В этой связи проведенное нами исследование направлено на разработку и апробацию комплекса агрохимических и инженерных мероприятий, позволяющих ускоренно восстанавливать плодородие мелиорированных почв, временно выведенных из сельскохозяйственного оборота, с последующим возвращением их в эффективное использование.

Объектом нашего исследования является мелиоративная система «Восход», расположенная в д. Ходоровка Горецкого района Могилевской области. Система является осушительной, с гончарным дренажем (Ø 50–150 мм, глубина залегания 1,1–1,2 м). Почвы – дерново-подзолистые, суглинистые, с атмосферно-грунтовым питанием.

В рамках исследования разработан комплексный подход по восстановлению плодородия мелиорированных земель, временно выведенных из сельскохозяйственного оборота. Методика опиралась на инженерные, агрохимические и технологические решения.

Первым этапом стало регулирование водного режима на дренажной системе «Восход» с помощью устройства, установленного на устье коллектора. Такое устройство позволяло управлять уровнем грунтовых вод в диапазоне 0,1–1,2 м и расходом до 4 л/с, предотвращая переувлажнение и обеспечивая влагой данный участок в засушливый период. Это способствовало активизации микробиоты и восстановлению структуры почвы. На данное устройство получен патент РФ №2770486 «Дренажное устройство».

Дополнительно применялись мелиоранты: биопрепарат ЭридГроу ЖГАТ-К и компост из костры льна, мякоти и барды. Наилучшие результаты получены при дозе ЭридГроу 2 л/га. Внесение компоста (40 т/га) улучшило агрофизические свойства: pH – 7,1, влажность – 65 %, содержание гумуса – высокое.

После проведения ряда мероприятий проведенный анализ динамики изменений почвенных свойств, который подтвердил высокую эффективность предложенного технического решения. В пахотном горизонте 0–30 см плотность почвы снизилась с 1,36 до 1,25 г/см³, а в глубоком слое (до 60 см) – на 3,4 % относительно исходного уровня, что указывает на улучшение структуры, снижение уплотненности и повышение аэрации. Это создало более благоприятные условия для роста корней, увеличения активности почвенной микробиоты и интенсивности биологических процессов. Наименьшая влагоемкость повысилась с 21,8 % до 23,63 % от массы абсолютно сухой почвы, что отражает улучшение способности почвы накапливать и удерживать влагу, особенно в период засух.

Выводы

1. Комплексное применение технических решений и агрохиммелиорантов эффективно восстанавливает плодородие нарушенных мелиорируемых почв.
2. Регулирующий дренаж обеспечивает стабильный водный режим, способствующий восстановлению агрофизических свойств почвы.
3. Биопрепараты и органические удобрения (в частности, ЭридГроу и компост) улучшают структуру почвы, повышают содержание гумуса и усиливают микробиологическую активность.
4. Предложенные меры могут быть рекомендованы для масштабного применения при восстановлении залежных и деградированных мелиорированных земель.

Литература

1. Медведева, И. В. Статистический справочник «Сельское хозяйство Республики Беларусь» / И. В. Медведева. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2024. – 19 с.

2. Лихацевич, А. П. Сельскохозяйственные мелиорации: учебник для студентов высших учебных заведений по специальности «Мелиорация и водное хозяйство» / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко, Г. И. Михайлов ; под ред. А. П. Лихацевича. – Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 464 с.

УДК 379.1.429

Опыт реконструкции действующей станции обезжелезивания на водозаборе «Полыковичи» в г. Могилеве

Криволап С. Н., Ковалев А. В.

Государственное предприятие «Могилевжилпроект»
Могилев, Республика Беларусь

Увеличение мощности крупных существующих водозаборов возможно обеспечить путем их реконструкции, в том числе путем замены фильтрующей засыпки, на основании опытных изысканий и подбора технологии очистки.

В городе Могилеве ведется строительство нового района жилой застройки «Соломинка-2». Согласно проекта «Детальный план района многоэтажной застройки «Соломинка-2» в городе Могилеве», площадь территории застройки составляет 252,06 га.

Расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды района «Соломинка-2» с учетом перспективного заселения района должны составить:

- среднесуточный – 8262 м³/сутки;
- максимально суточный – 9088 м³/сутки;
- минимально суточный – 6609 м³/сутки.

Водоснабжение данной части города осуществляется от водозабора «Полыковичи», который находится в Могилевском районе севернее г. Могилева.

В состав водозабора входит:

- 37 артезианских скважин;
- станция обезжелезивания;
- насосная станция второго подъема;
- насосная станция третьего подъема.

Средний объем добычи воды на водозаборе до реконструкции составлял 16945 м³/сутки.

Технология очистки предусмотрена посредством упрощенной аэрации (свободное падение воды и обогащение ее кислородом).

Станция обезжелезивания оснащена: четырьмя фильтрами по две секции в каждом фильтре, в качестве фильтрующей засыпки применен гранитный щебень фракции 5–20 мм; двумя насосами, используемыми для промывки фильтров; шлюзами, выполняющих регулировку потока; автоматической системой управления.

На насосной станции второго подъема водозабора установлено 5 насосов, подающих воду на станцию третьего подъема. В результате длительной эксплуатации три из них находились в нерабочем состоянии. Оставшиеся работали в крайне энергонеэкономичном режиме.

Для обеспечения потребителей с учетом строящегося района добыча воды на водозаборе «Польковичи» должна составлять 29089 м³/сутки.

Станция обезжелезивания воды (рис) введена в эксплуатацию в 1970 г. и оборудована 4-мя фильтрами. Проектная мощность одного фильтра составляет 370 м³/ч.

Фактическая нагрузка на один фильтр до реконструкции составляла 207,4 м³/ч. Это предел возможности, с учетом закоксованности фильтрующей загрузки.

Фактическая скорость фильтрации в фильтрах – более 11 м/ч.

Необходимая нагрузка на фильтр – 412,3 м³/ч.

В рамках предпроектной проработки изучалось 2 варианта решения задачи по обеспечению водоснабжения строящегося района:

1. Строительство нового водозабора;
2. Реконструкция действующего водозабора «Польковичи».

Реализация первого варианта потребовала бы значительного времени на гидрогеологические изыскания, выбор площадки, отвод земельного участка и на порядок больших затрат на строительство объекта.

ГП «Могилевжилпроект» совместно УП «Полимерконструкция» был проведен комплекс технологических изысканий для подтверждения работоспособности существующих фильтров водозабора «Польковичи» при повышенной нагрузке на один фильтр и доведения воды до норм СанПиН.

Для стабильной работы станции обезжелезивания с учетом планируемого увеличения водопотребления, для обеспечения очистки исходной воды до нормативных показателей выполнено изучение возможности работы существующих фильтров с повышенной скоростью фильтрации более 11 м/ч и с учетом увеличения нагрузки на один фильтр до 412,3 м³/ч.

В основе технологического процесса применен метод окисления ионов двухвалентного железа в присутствии кислорода воздуха и последующем задержании образующихся соединений в толще загрузки фильтра. Данная технология безреагентная и не требует введения дополнительных окислителей.



Рис. Станция обеззараживания воды

Была смоделирована технологическая схема с двумя параллельно работающими безнапорными фильтрами.

Проведены два опытных исследования:

В первом варианте с фильтрующей загрузкой – щебень фракции 5–10 мм с высотой загрузки 2 м;

Во втором варианте исследования в качестве загрузки использовался песок кварцевый с фракцией 1–2 мм, высота слоя фильтрующей загрузки в фильтре составляла 1,5 м.

В ходе пилотных изысканий безнапорные фильтры в обоих вариантах показали высокую эффективность в снижении растворенного железа в исходной воде, при скорости фильтрации более 13,3 м/ч и с учетом увеличения нагрузки на один фильтр до 439 м³/ч, до показателей ниже 0,3 мг/л и мутности до 0,58 мг/л, что соответствует требованиям СанПиН 10-124 РБ 99, действовавшего на момент проектирования объекта.

Расчетный фильтрационный цикл составил 168 часов на загрузке из щебня. Расчетный фильтрационный цикл на загрузке из песка составил 48 часов.

Данные исследования показали, что возможна реконструкция фильтров с заменой системы дренажа, аэрации, заменой загрузки фильтров и увеличением отверстий на водосборных лучах до 11 мм.

В целом для подключения потребителей района многоэтажной жилой застройки «Соломинка-2» к централизованной системе холодного водоснабжения проектом предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- бурение 4-х новых скважины на водозаборе «Полыковичи» с заменой щитов управления и автоматики и, соответственно, тампонаж старых скважин;

- на станциях второго и третьего подъемов – замена насосного оборудования, имеющего большой процент износа;

- на станции обезжелезивания – реконструкция фильтров с заменой системы дренажа, аэрации, замена загрузки фильтров;

- интеграция новой технологии и оборудования в существующую систему автоматики;

- строительство резервуара чистой воды объемом 1000 м³ на станции второго подъема;

- строительство магистральных сетей водоснабжения по ул. Турова, ул. Жемчужная и вдоль дороги на Николаевку от ул. Крупской, а также от пересечения ул. Турова с ул. Жемчужной до ул. 30 лет Победы из ПЭ труб Ø 500 мм и Ø 400 мм, общей протяженностью 4,14 км;

- строительство водовода от станции 2-го подъема до станции 3-го подъема водозабора «Полыковичи» протяженностью 5280 м из труб ПЭ диаметром 630 мм;

В настоящее время проект находится на завершающем этапе реализации. Сметная стоимость реконструкции водозабора составила 17710 тыс. руб. При этом затраты на строительство нового водозабора аналогичной мощности были бы на порядок выше.

Выводы: увеличение мощности крупных существующих водозаборов возможно обеспечить путем их реконструкции, в том числе путем замены фильтрующей засыпки, на основании опытных изысканий и подбора технологии очистки.

**Реконструкция гидротехнических сооружений
на примере ГЭС «Яново»**

Немеровец О. В.¹, Чайко П. В.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²РУП «Белнипиэнергопром»

Минск, Республика Беларусь

В статье рассматриваются вопросы реконструкции гидротехнических сооружений на примере ГЭС «Яново». Проанализированы причины необходимости модернизации, проведены оценки технического состояния существующих объектов, а также предложены основные направления реконструкционных мероприятий. Работа демонстрирует важность системного подхода к реконструкции гидротехнических сооружений для обеспечения их долговечности и безопасности.

Гидроэлектростанции (ГЭС) являются важными элементами энергетической системы, обеспечивая экологически чистую и возобновляемую энергию. Однако со временем эксплуатация гидротехнических сооружений требует проведения реконструкционных мероприятий, направленных на повышение их надежности, безопасности и эффективности. При разработке проектной документации для плотин, подлежащих реконструкции и новостроящихся, производятся прогнозные расчеты параметров волны прорыва и зон вероятного затопления по [1]. Положения [1] применяют при разработке оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) для объектов, к которым относятся искусственные водоемы с площадью водной поверхности более 50 га, плотины высотой 2 м и более [2; 3]. За последние пять лет в мире имели место более 300 аварий ГЭС IV класса. Это объясняется неудовлетворительным уровнем их технического обслуживания, отсутствием или недостаточным штатом эксплуатационного персонала, а в ряде случаев – потерей собственника и эксплуатирующей организации [4]. В Республике Беларусь все земляные плотины согласно [5] относятся плотинам III и IV классов. В настоящее время эксплуатируется около 150 водохранилищ с объемом более 1 млн м³ [6]. На наиболее крупных водохранилищах требования к обеспечению безопасности удовлетворяются в полной мере, чего нельзя сказать о многочисленной группе менее крупных водохранилищ водохозяйственного комплекса, которые эксплуатируются 40–50 лет и нуждаются в выделении необходимых средств для выполнения ремонтных работ. В свою очередь ГЭС «Яново» – одна из ключевых станций региона, эксплуатируемая более 50 лет, что обуславливает необходимость ее модернизации.

Текущее состояние и причины необходимости реконструкции. Обследование технического состояния выявило износ основных элементов: выщелачивание бетона на водосливной поверхности плотины, неработоспособность гидроагрегатов, систем управления и защиты. Основные проблемы включают:

- усталость бетона и коррозию металлических элементов;
- недостаточную пропускную способность при паводковых нагрузках;
- ограничения по экологическим требованиям.

Эти факторы требуют проведения комплексной реконструкции для обеспечения безопасной эксплуатации станции в долгосрочной перспективе.

Основные направления реконструкционных мероприятий:

1. Усиление и ремонт плотинных конструкций.

Проведен расчет прочности и устойчивости существующих плотинных сооружений с целью определения необходимости усиления. Предлагается замена или укрепление устаревших участков бетона, установка дополнительных армирующих элементов.

2. Модернизация гидроагрегатов.

Обновление турбинных установок с целью повышения КПД до современных стандартов (до 90 %), снижение уровня шумов и вибраций, а также внедрение автоматизированных систем управления.

3. Улучшение систем защиты и автоматизации.

Установка современных систем мониторинга состояния сооружений, автоматизированных систем управления аварийными ситуациями, а также системы дистанционного контроля за параметрами работы оборудования.

4. Повышение пропускной способности.

Расширение пропускной способности водосбросных устройств для безопасного прохождения паводковых вод с учетом изменений климата.

Инженерные расчеты и проектные решения. На основе проведенных расчетов определены параметры новых конструктивных элементов: толщины укреплений, мощности турбин, характеристик систем автоматизации. Используются современные программные комплексы для моделирования поведения сооружений при различных нагрузках.

Реализация предложенных решений позволит повысить надежность станции, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить соответствие экологическим требованиям.

ГЭС «Яново» расположена на реке Лоша у д. Изабелино Островецкого района. Согласно гидрогеологического районирования территории Беларуси район расположен в границах Прибалтийского гидрогеологического артезианского бассейна. Гидрографическая характеристика и гидрологическая изученность Река Лоша - река в Ошмянском и Островецком р-нах, левый приток Вилии). Длина 55 км.

ГЭС «Яново» – русловая гидроэлектростанция, которая относится к IV классу капитальности. Установленная мощность ГЭС 150 кВт. В состав гидроузла входит водосбросное сооружение в виде ячеистой плотины, грунтовая однородная плотина, резервный пруд и ГЭС. Построен гидроузел в 1955 году по проекту Гипросельэлектро, после размыва грунтовой плотины в 1994 году восстановлен.

Водосбросное сооружение представляет собой двухпролетную водосливную плотину практического профиля железобетонной конструкции и предназначено для пропуска в нижний бьеф расходов весеннего половодья и дождевых паводков. Водослив состоит из двух водосливных пролетов шириной по 6 м каждый. Пролеты перекрыты монолитными плитами по монолитным балкам. Отметка порога водослива 150,30 м. Водопропускные отверстия шириной 6,0 м и напором на пороге водослива 3,5 м перекрываются рабочими плоскими металлическими затворами с винтовыми подъемниками. Над водосливной плотиной на ж. б. опорах смонтированы подъемные механизмы с электроприводом для управления затворами, установленные по проекту РУП «Полесьегипроводхоз», 2009 г.

Водосброс обеспечивает пропуск расхода воды – 149 м³/с при напоре на водосливе 3,5 м. Со стороны верхнего бьефа предусмотрены пазы для установки ремонтного загораживания. Для гашения энергии сбросного потока в нижнем бьефе устроен железобетонный водобойный колодец длиной 16 м и глубиной 0,5 м. За водобойным колодцем выполнена рисберма длиной 28,5 м, которая заканчивается зубом из каменной наброски. План гидротехнических сооружений представлен на рис. 1.

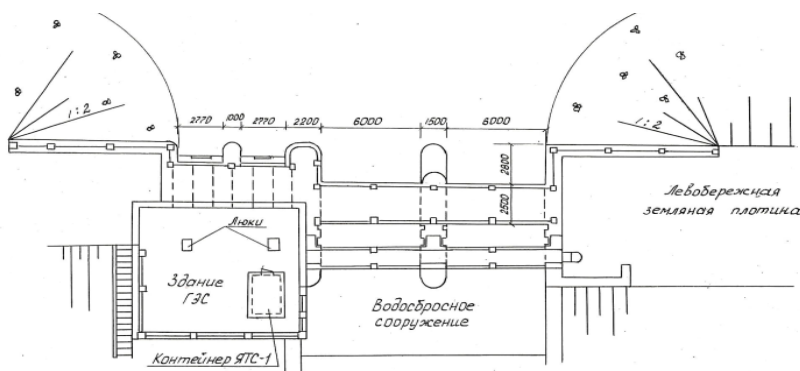
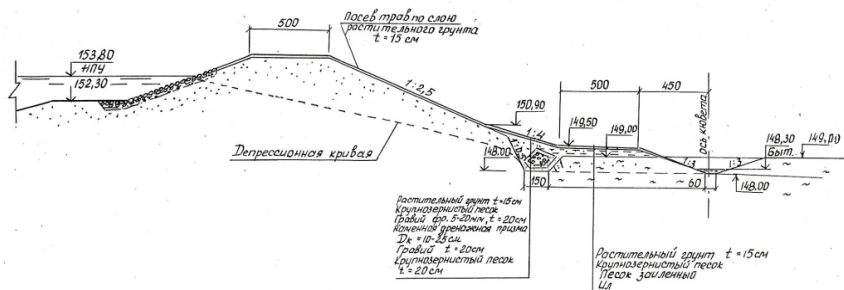


Рис. 1. План гидротехнических сооружений

Поперечный разрез грунтовой плотины представлен на рис. 2. Основные технико-экономические показатели ГЭС приведены в табл.



Размеры в см.

Рис. 2. Поперечный разрез грунтовой плотины

В соответствии с данными технического отчета «Визуальный осмотр подводной части гидротехнических сооружений по объекту «Реконструкция гидросооружений ГЭС «Яново» с благоустройством территории Островецкого района», выполненного ПодводТехСервис в 2025 г. и результатам общего инженерного обследования строительных конструкций, выполненного РУП «Белнипиэнергопром в 2022 г. строительных конструкций железобетонные сооружения ГЭС в подводной и надводной частях требуют ремонта.

Рабочие затворы водосливной плотины и здания ГЭС имеют ряд дефектов:

- конструкции металлических плоских затворов значительно деформированы, имеют перекосы, «выгиб» в сторону нижнего бьефа. Между направляющими затвором в пазах быков и устоев и конструкциями самих металлических затворов образованы зазоры шириной 20–100 мм. Наблюдаются значительные протечки воды в узлах «паз-затвор». Данные повреждения не обеспечивают нормальное функциональное назначение затворов – создание напора в верхнем бьефе и регулируемый сброс воды;

- антикоррозионная защита металлических затворов и направляющих (закладных) в пазах для установки затворов утрачена.

Подводными обследования гидротехнических сооружений ГЭС «Яново» установлено что:

- перед затворами образовалось скопление растительного и бытового мусора шириной полосы вдоль затвора до 2 м и высотой до 0,5 м;

- у разделительного бычка образовалось скопление наносов в объеме 0,6 м³;

- со стороны нижнего бьефа дно водобойного колодца покрыто донными наносами 3–5 см (преимущественно песчаными);

– образование воронки размыва за водобойным колодцем глубиной 2,28 м площадью 50 м².

Настоящим проектом реконструкции ГЭС «Яново» в соответствии с техническим заданием на разработку проектной документации для выполнения модернизации гидросооружений предусматривается:

- разработка схемы пропуска строительных расходов на период выполнения ремонтных работ;
- замена рабочих и ремонтного затворов водосливной плотины;
- замена рабочих, ремонтных затворов и сороудерживающих решеток здания ГЭС;
- ремонт и расчистка понура;
- ремонт и расчистка рисбермы, с последующей отсыпкой крупным камнем;
- расчистка придамбового канала;
- ликвидация размыва грунта.

После осушения котлована проектом предусматривается расчистка дна верхнего и нижнего бьефов от наносов, ила и мусора.

В соответствии с заданием на проектирование проектом так же предусматривается расчистка придамбового канала. Для обеспечения стока канал предусмотрена планировка канала с уклоном не менее 0,003 ‰.

Понур предназначен для увеличения пути фильтрации и уменьшения фильтрационного давления на бетонные сооружения. В связи с длительной эксплуатацией сооружений настоящим проектом предусмотрено устройство понура соответствии с п.7.3.4 СН 3.04.01-2020 из суглинка толщиной 0,6 м с пригрузкой щебнем и креплением сборными железобетонными плитами. Длина понура принята 10 м.

При выполнении подводного обследования установлено наличие размыва грунта объемом 1,7 м³ под плитой водобойного колодца на расстоянии 3,6 м от внешнего угла левобережного устоя нижнего бьефа. Длина участка 5,2 м, высота 0,27 м и глубина подмыва 1,2 м.

Для ликвидации подмыва проектом предусматривается укладка щебня и каменной наброски по слою геотекстиля.

На основе проведенных расчетов РУП «Белнипиэнергопром» определены параметры новых конструктивных элементов: толщины укреплений, мощности турбин, характеристик систем автоматизации. Используются современные программные комплексы для моделирования поведения сооружений при различных нагрузках.

Таблица

Основные технико-экономические показатели ГЭС

1. Местоположение объекта		
1. Створ гидроузла	В створе водопропускного сооружения водохранилища на р. Лоша	
2. Гидрологические данные		
1	2	3
1. Расчетный расход 1 % обеспеченности весеннего половодья	м³/с	119,46 (131,0)
2. Расчетный расход 5 % обеспеченности весеннего половодья	м³/с	83,72 (91,0)
3. Расчетный расход 10 % обеспеченности весеннего половодья	м³/с	67,44
4. Расчетный уровень 1 % обеспеченности весеннего половодья	м	150,12
5. Расчетный уровень 5 % обеспеченности весеннего половодья	м	149,75
6. Расчетный уровень 10 % обеспеченности весеннего половодья	м	149,55
3. Данные по гидроузелу		
3.1. Водохранилище (существующее)		
1. Отметка НПУ	м	153,80
2. Отметка УМО	м	153,3
3. Площадь зеркала водохранилища при НПУ	км²	1,06
4. Емкость водохранилища при НПУ	млн.м³	2,27
5. Средняя глубина	м	2,1
6. Назначение	гидроэнергетика	
3.2. Здание ГЭС		
1. Тип здания	русловое	
2. Установленная мощность	кВт	150 (по проекту)
3. Количество гидроагрегата	шт	2¹ (по проекту)
4. Годовая выработка электроэнергии (50 % обеспеченности)	тыс. кВт*ч	861,6 (по проекту)
5. Работа с установленной мощностью	час/год	8240
3.3. Турбинные водоводы		
1. Количество	шт.	2
2. Диаметр	мм	1000
3.4. Отводящие водоводы		
1. Количество	шт.	2
2. Диаметр	мм	1000

¹В настоящее время один турбоагрегат демонтирован.

²В скобках указаны значения взятые по паспорту ГЭС.

Реализация предложенных решений позволит повысить надежность станции, снизить эксплуатационные расходы и обеспечить соответствие экологическим требованиям.

Литература

1. Правила определения количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках : ТКП 17.06-06-2012 (02120). – Введ. 16.01.2012. – Минск : Минприроды, 2012. – 40 с.

2. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду : Закон Республики Беларусь от 8 июля 2016 г. № 399-З // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N11600399> (дата обращения: 23.04.2025).

3. Пособие по проведению оценки воздействия на окружающую среду водохранилищных ГЭС / Концерн «Белэнерго». – Минск : Белэнерго, 2005. – 68 с.

4. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, [и др.]. – Новочеркасск : РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

5. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). – Введ. 30.12.2009. – Минск : Минстройархитектуры, 2011. – 74 с.

6. Водоохранилища Беларуси : справочник / М. Ю. Калинин, В. Н. Счисленок, П. П. Рутковский [и др.]. – Минск : ЦНИИ КИВР, 2005. – 183 с.

УДК 624.131.552

Методика оценки влияния вибродинамических воздействий при производстве работ на строительной площадке на эксплуатационную надежность рельсовых путей башенных кранов

Повколас К. Э., Шавловская О. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предложена методика расчета дополнительной динамической осадки плитных фундаментов на примере расчета деформаций (абсолютных и относительных) оснований рельсовых путей башенных кранов. Она основана на экспериментально обоснованном факте о достижении предельного уплотнения основания при вибродинамических воздействиях, распространяющихся в грунте, после превышения критического ускорения колебаний грунта.

Цель работы – демонстрация применения инженерной методики расчета дополнительных динамических осадок плитных фундаментов на примере забивки свай вблизи рельсовых путей башенных кранов.

Для достижения указанной цели выполнено формирование исходных данных, численное моделирование методом конечных элементов системы «источник вибрации – грунтовая среда – рельсовые пути башенных кранов», определены дополнительные статические и динамические осадки рельсовых нитей.

Данная работа является примером практического применения исследований, изложенных в работе [1].

Вблизи рельсового пути под передвижной полноповоротного башенного крана КБМ-401П выполняются сваебойные работы по устройству свайного основания под возводимое здание. Основные параметры крана КБМ-401П: максимальная грузоподъемность, т – 8,0; максимальный грузовой момент, т·м (кН·м) – 160 (1570); вылет, м: максимальный – 30, минимальный – 5,6; база, м – 6; колея, м – 6; расчетная нагрузка ходового колеса на рельс, кН – 270; число колес – 8 (4 двухколесные тележки). Вес, кН: – крана конструктивная – 571; крана общая – 1071,5; противовеса – 500,5. Момент, кНм: удерживающий грузовой МУ – 2034; удерживающий собственный МУС – 1856; опрокидывающий грузовой МО – 1863; опрокидывающий собственный МОС – 1536.

Обозначения реакций опор приводятся на рис. 1.

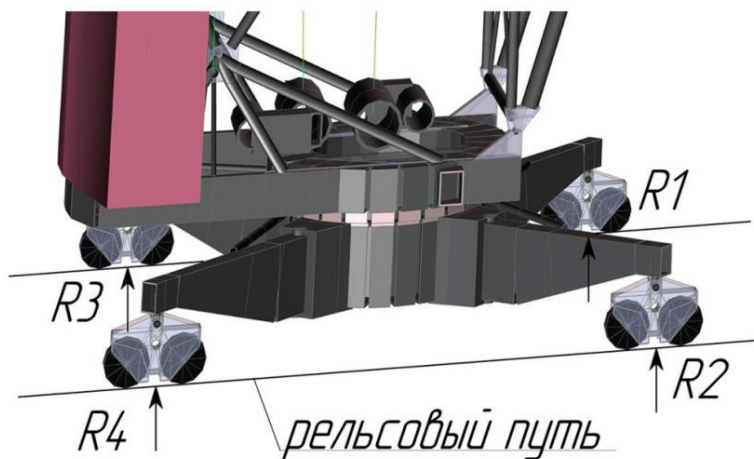


Рис. 1. Реакции, возникающие в 4-х опорах при расчете башенного крана КБМ-401П

На расстоянии 18,5 м от оси крайнего рельса моделируется забивка сваи длиной 8 м. Так как забивка сваи происходит на расстояниях менее 25 м от эксплуатируемых рельсовых путей следует выполнить оценку влияния данных работ на эксплуатационную надежность рельсовых путей в соответствии с п. 4.12. Так же в соответствии с п. 4.12 работа крана в период проведения работ, связанных с вибродинамическими воздействиями и выполняемых на расстоянии менее 25 метров от крайней рельсовой нити, должна быть остановлена. В этой связи в расчет приняты 4 опорные реакции, которые определены с учетом действия опрокидывающих и удерживающих моментов, приложенных относительно центральных осей поворотного механизма башенного крана, по его паспортным данным. Был рассмотрен вариант приложения нагрузок с расположением стрелы крана поперек путей и ориентацией наиболее нагруженного участка рельсовой нити на точку забивки сваи. Опорные реакции тележек $R_2 = R_4 = 71,8$ кН, $R_1, R_3 = 464,1$ кН.

Забивка свай сечением 300×300 мм длиной 8 м производится дизель-молотом С-222 с наибольшей высотой падения ударной части молота $H_m = 1,79$ м и весом ударной части молота $G = 12$ кН. Сопротивление грунта под нижним концом сваи принято равным 2600 кПа.

Форма графика зависимости ударной нагрузки в верхнем сечении сваи от времени, принята в виде полуволны синусоиды, что не превышает погрешности в 15 % по сравнению с диаграммой удара, согласно экспериментальным данным. Максимальное напряжение $\sigma_{\max}$ в голове сваи определяется на основе волновой теории удара, примененной Н. М. Герсевановым к решению задачи удара молота о сваю, с использованием упрощенного метода Каншина-Плуталова-Смита в соответствии с Приложением 40 [2]. В нашем случае $\sigma_{\max} = 20,02$ МПа.

Длительность ударного импульса t (сек.) определяется по следующей формуле [3]:

$$t = \frac{1}{2(k_f g_c + b_f)},$$

где k_f – коэффициент, равный 1,0 для песков и 3,0 для пылевато-глинистых грунтов; g_c – сопротивление грунта погружению конуса при статическом зондировании, МПа; b_f – коэффициент, равный 6,0 для песков и 3,5 для пылевато-глинистых грунтов.

В примере принят песок средней крупности средней прочности с $g_c = 10$ МПа.

Длительность ударного импульса составит $t = 0,03125$ с.

В ходе забивки сваи вероятно возникновение дополнительной динамической осадки грунта в основании нижнего строения рельсового пути.

Расчет динамических осадок производится следующим образом:

1. Построение математической модели системы «источник колебаний – грунтовая среда – строение» на основании метода конечных элементов и положений теории упругого инерционного полупространства.

2. Определение статических и динамических параметров элементов системы (смещений, скоростей, ускорений, напряжений, изгибающих моментов, продольных и поперечных сил).

3. Определение на основании опытных или справочных данных критического ускорения колебаний $a_{кр}$.

4. Построение кривых $a_{max} = f(z)$ по вертикальным осям, проходящим через каждую из рельсовых нитей в поперечном сечении, наиболее близком к источнику вибродинамических воздействий и имеющему наиболее неблагоприятную комбинацию геологических условий.

5. Определение зоны динамического уплотнения грунта H под подошвой фундамента, нижняя граница которой определяется точкой пересечения кривых $a_{max} = f(z)$ и $a_{кр} = f(z)$.

6. Расчет максимальных суммарных (статических и динамических) осадок фундаментов.

7. Сравнение полученных данных с лимитируемыми параметрами.

Динамическая осадка фундамента определяется по формуле:

$$S_{max} = \sum_{i=1}^n h_i \frac{e_i - e_{min,i}}{1 + e_i},$$

где e_i – коэффициент пористости i -го слоя грунта под подошвой фундамента в естественных условиях; $e_{min,i}$ – максимально достижимый коэффициент пористости i -го слоя грунта при максимальном уплотнении, который может определяться по формуле:

$$e_{min,i} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{d,max}} - 1,$$

где γ_s – удельный вес частиц грунта; $\gamma_{d,max}$ – удельный вес сухого грунта в предельно плотном состоянии.

Зона развития осадок грунта H («активная» толща), в пределах которой развивается дополнительная динамическая осадка, определяется превышением ускорения вибраций под нижним строением рельсового пути (уплотненной грунтовой подушкой) критического ускорения $a_{кр}$. Под критическим ускорением колебания грунта $a_{кр}$ понимается величина, при достижении которой начинают развиваться объемные и сдвиговые деформации грунта, сопровождающиеся разрушением его структуры. Величины критических

ускорений для пылевато-глинистых грунтов и песков приводятся соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Величины критических ускорений (в долях от ускорения силы тяжести, равном $9,8 \text{ м/с}^2$) для пылевато-глинистых грунтов*

Пылевато-глинистые грунты	Консистенция пылевато-глинистого грунта I_L								
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
глина	0,70	0,55	0,43	0,35	0,28	0,23	0,18	0,16	0,14
суглинок	0,68	0,52	0,39	0,33	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
супесь	0,63	0,50	0,36	0,31	0,22	0,20	0,15	0,12	0,10

*Промежуточные значения критических ускорений колебаний $a_{кр}$ определяются путем линейной интерполяции.

Они приняты по данным приложения Д ТКП 45-5.01-264-2012. Методика определения критического ускорения колебания грунта $a_{кр}$ по данным лабораторных исследований приводится в [4]. Расчет выполнен в конечно-элементном расчетном комплексе Lira 10.10 с использованием элементов, моделирующих упругое инерционное полупространство. Общее количество конечных элементов составило 57582. Время интегрирования 0,6 с. Для исключения отражения волн от боковых и нижней границ массива применялся конечный элемент «неотражаемые границы». Конечно-элементная схема смоделированного грунтового пространственного массива размерами $36 \times 36 \text{ м}$ высотой 21 м представлена на рис. 2, а, а взаимное расположение забиваемой сваи и нижнего строения рельсового пути на рис. 2, б.

При назначении размеров пространственной расчетной схемы в методе конечных элементов (МКЭ) для задач динамики грунтов с использованием модели упругого инерционного пространства следует учитывать волновые процессы при назначении граничных условий за счет:

1. *Сокращения размеров области:* Без неотражающих (поглощающих граничных условий) границ размеры КЭ схемы должны быть такими, чтобы за время расчета отраженная от границы продольная волна не достигала объекта моделирования. С неотражающими границами допустимо уменьшение размеров, так как поглощающие условия устраняют отражения.

Рекомендуется назначать наименьший размер схемы не менее, чем $2L_R$, где L_R – длина поверхностной (Релевской) волны. При этом расстояние от крайней точки объекта исследования или точки приложения динамической нагрузки до границы КЭ схемы не должно быть меньше $0,5 L_R$.

Таблица 2

Величины критических ускорений (в долях от ускорения силы тяжести, равном $9,8 \text{ м/с}^2$) для песков*

Песок	крупный			средний			мелкий		
	маловлажный	влажный	насыщенный водой	маловлажный	влажный	насыщенный водой	маловлажный	влажный	насыщенный водой
прочный	0,29–0,39	0,15–0,18	0,10–0,14	0,24–0,33	0,15–0,24	0,09–0,13	0,24–0,33	0,14–0,25	0,11–0,14
средней прочности	0,25–0,34	0,14–0,16	0,08–0,11	0,20–0,26	0,12–0,18	0,08–0,10	0,18–0,23	0,10–0,15	0,06–0,09

*Меньшему значению $a_{кр}$ соответствует меньшее значение песка по прочности и большее по влажности в рассматриваемом диапазоне.

2. *Минимизации дисперсионных ошибок*: Наибольший размер конечного элемента Δx должен быть не более $L_R/8$.

Длина поверхностной волны L_R определяется по формуле:

$$L_R = \frac{V_R}{f},$$

где f – техническая частота вибродинамического воздействия, Гц; V_R – скорость распространения поверхностной (Рэлеевской) волны, м/с;

Определяется по приближенной формуле Бергманна-Викторова:

$$V_R = \frac{0,87 + 1,12\mu}{1 + \mu} V_s,$$

где V_s – скорость распространения поперечной волны, м/с; μ – коэффициент Пуассона.

Определяется по формуле теории упругости:

$$V_s = \sqrt{\frac{E_o}{2\rho(1+\mu)}},$$

где ρ – плотность грунта.

Определяется по формуле:

$$\rho = \frac{\gamma}{g},$$

где γ – удельный вес грунта; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

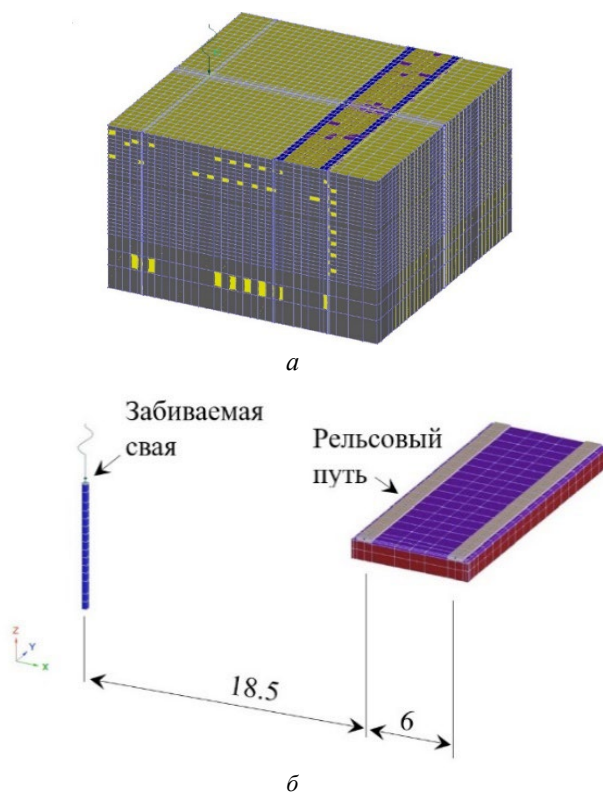


Рис. 2. Расчетная схема:

a – конечно-элементная схема грунтового пространственного массива;

b – расположение забиваемой сваи и нижнего строения рельсового пути

Динамический модуль упругости E_d и скорость распространения поперечной волны в грунте V_s рекомендуется определять по методике натуральных исследований и корреляционным зависимостям, приведенным в рекомендациях [5].

В данном примере E_o (в МПа) определялся по коэффициенту пористости грунта e естественного сложения e по следующей эмпирической формуле:

$$E_d = \frac{37,5}{e - 0,364}, \text{ где } 0,391 \leq e \leq 0,71.$$

Также существует возможность определения E_d по остальным физико-механическим характеристикам, используемым в геотехнических расчетах и имеющихся в распоряжении специалиста, выполняющего расчет.

Коэффициент Пуассона μ допускается принимать равным: 0,30–0,35 для песков и супесей; 0,35–0,37 для суглинков; 0,2–0,3 при $I_L < 0$; 0,3–0,38 при $0 < I_L \leq 0,25$; 0,38–0,45 при $0,25 < I_L \leq 1,0$ для глин. При этом меньшие значения μ принимают при большей плотности грунта. Для водонасыщенных песков, супесей и суглинков (за исключением твердых и полутвердых) μ рекомендуется принимать равным 0,45.

Грунт представляет из себя песок средней крупности средней прочности со следующими физико-механическими свойствами: – удельный вес грунта $\gamma = 20,13 \text{ кН/м}^3$; удельный вес сухого грунта $\gamma_d = 17,29 \text{ кН/м}^3$; удельный вес сухого грунта в предельно плотном состоянии $\gamma_{dmax} = 17,86 \text{ кН/м}^3$; удельный вес частиц грунта $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$; коэффициент пористости в природном сложении $e = 0,55$; коэффициент пористости в предельно плотном состоянии $e_{min} = 0,5$; динамический модуль упругости $E_d = 201,6 \text{ МПа}$; модуль общей деформации $E_o = 23 \text{ МПа}$; коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$; угол внутреннего трения $\varphi = 35^\circ$; удельное сцепление $C = 2 \text{ кПа}$. Степень влажности грунта $S_r = 0,8$, влажность грунта $W = 17,05 \%$. В примере характеристики назначались по справочным данным для песчаных грунтов четвертичных отложений. Механические свойства бетона забивной сваи сечением $300 \times 300 \text{ мм}$ длиной 8 м приняты для бетона класса C25/30. Модуль упругости бетона E_{cm} принят как для мелкозернистого бетона и класса бетонной (марки) бетонной смеси S1 (П1) равным 29750 МПа .

Расчет выполнялся методом конечных элементов в трехмерной постановке при помощи расчетной программы ЛИРА 10.10 разработка (разработка ООО «Лира софт», г. Москва) с использованием нелинейных конечных элементов в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора и учетом бытовых (природных) напряжений.

Значения характеристик грунтовой подушки из песка крупного насыпного при значении коэффициента уплотнения $K_{com} = 0,98$ приняты равными $\varphi = 35^\circ$, $C = 0,001 \text{ МПа}$, $E_o = 50 \text{ МПа}$, $\mu = 0,3$ при показателе максимальной

неоднородности $L_m = 4$ мм и оптимальной влажности $W_0 = 13,8$ % согласно табл. Б.1 прил. Б П5-2000 «Проектирование и устройство оснований из насыпных, малопрочных грунтов, уплотненных вибродинамическим методом» к СП 5.01.01. Геометрические параметры грунтовой подушки согласно обозначениям на рис. В.1 приложения В приняты следующими: $B = 8$ м, $A = 6$ м, $d_1 = 1300$ мм, включая толщину балластной призмы $h_b = 110$ мм, $S = 1000$ мм.

Значения характеристик балластной призмы из песчано-гравийной смеси приняты равными: $\varphi = 43^\circ$, $C = 0,002$ МПа, $E_0 = 50$ МПа, $\mu = 0,27$.

Механические свойства бетона инвентарной железобетонной подшпальной распределительной плиты размерами 4150×1000 мм толщиной 200 мм приняты для бетона класса С25/30. Модуль упругости бетона $E_{ст}$ принят как для мелкозернистого бетона и класса бетонной (марки) бетонной смеси S1 (П1) равным 29750 МПа. Механические свойства и геометрические параметры рельс приняты согласно справочным данным для рельса Р65.

На рис. 3 представлена расчетная зависимость распределения максимальных ускорений колебаний a_{max} по глубине z под подошвой уплотненной грунтовой подушки для первого (ближайшего к погружаемой свае) рельса (график 1) и второго (удаленного рельса) (график 2).

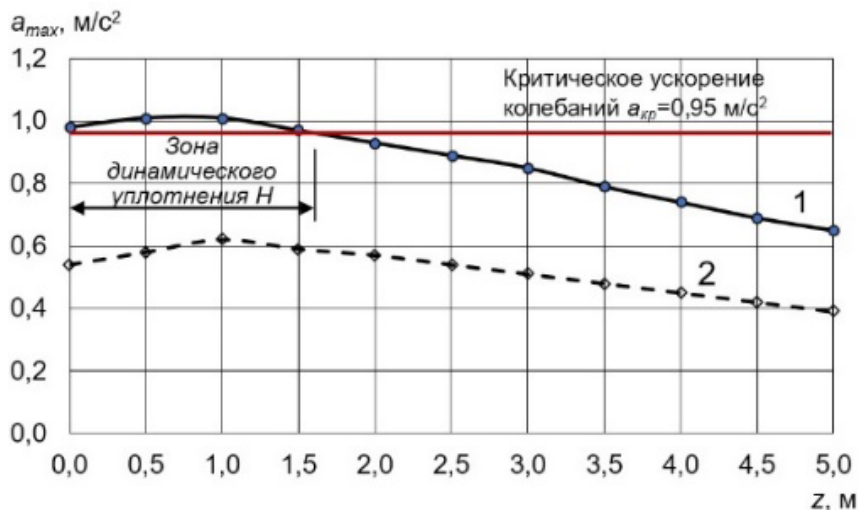


Рис. 3. Зависимости максимальных ускорений колебаний a_{max} от расстояния z от подошвы уплотненной грунтовой подушки по глубине основания, под рельсами, расположенными на расстояниях:
1 – 18,5 м; 2 – 24,5 м от точки забивки

Критическое ускорение колебаний $a_{кр}$ для данного грунта по данным табл. 2 составит $0,95 \text{ м/с}^2$. Сравнение этой величины с данными рис. 3 показывает, что имеет место превышение критических ускорений колебаний на глубину $H = 1,6 \text{ м}$ для грунта, расположенного под крайним рельсом от точки забивки свай на кратчайшем расстоянии.

Динамическая осадка первого (ближайшего к погружаемой свае) наиболее нагруженного участка рельсовой нити, определенная по формуле 2 составит $51,6 \text{ мм}$. Его расчетная статическая осадка в том же поперечном сечении составила $2,73 \text{ мм}$.

Разность осадок головок рельс не должна превышать превышает предельных величин в 30 мм и $0,004 \times 6000 = 24 \text{ мм}$ (6000 мм – расстояние между рельсами в поперечном направлении). Условие не выполняется. Требуется выполнение мероприятий по снижению вибраций (изменение технологии устройства свай с переходом на лидерное бурение или буронабивные сваи, увеличение расстояния до точки погружения свай забивкой от рельсового пути, устройство временного виброзащитного барьера в грунте).

Литература

1. Повколас, К. Э. Методика расчета дополнительных динамических осадок оснований плитных фундаментов зданий и сооружений от вибраций, распространяющихся в грунтовой среде / К. Э. Повколас // Наука и техника. 2024. – Т. 23, № 1. – С. 46–57.
2. Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01—83) / НИИОСП им. Н. М. Герсевича. – М. : Стройиздат, 1986. – 567 с.
3. Калужнюк, М. М. Свайбойные работы при реконструкции (Влияние колебаний на здания и сооружения) / М. М. Калужнюк, В. К. Рудь. – Л. : Стройиздат, 1989. – 160 с.
4. Рекомендации по определению устойчивости структуры и уплотняемости несвязных грунтов при динамических деформациях одноосного сжатия : П 67-76. – Л. : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1978.
5. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами, инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка : РСН 66-87. – М. : Госстрой РСФСР, 1987. – 30 с.

Устройство для удаления песчаных пробок

Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А., Артемчик А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье авторами предложена технологическая схема удаления песчаных пробок с помощью скважинного гидроэлеватора, согласно которой вода из напорного бака подается рабочим высоконапорным насосом по подводящему трубопроводу одновременно в размывающий насадок и активное сопло струйного насоса, снабженного подающим трубопроводом для удаления из скважины образующейся пульпы.

При интенсивной эксплуатации водозаборных скважин из водоносного пласта через фильтры могут поступать вместе с водой и песок, что при длительной эксплуатации водозабора может привести к появлению песчаной пробки как в отстойнике фильтровой трубы, так и в самом фильтре.

Одним из способов очистки водоприемной части скважины от песчаной пробки является желонирование [1; 2]. Как известно, такой способ часто ведет к порче фильтров, выпучиванию и порыву сетки вследствие уплотнения пород желонкой, кольматации сетки песком [2].

Более безопасным, менее трудоемким и более производительным является удаление песчаной пробки с помощью эрлифта [2; 3]. Однако применение эрлифтов сопряжено с использованием мощных передвижных компрессоров с дизельными двигателями и кранового оборудования для монтажа-демонтажа эрлифта, что достаточно трудоемко и не всегда экономично, особенно при прокачках неглубоких скважин малых диаметров.

В БНТУ для удаления образовавшейся песчаной пробки при песковании скважин предложено применять гидроэлеваторную установку с размывающим насадком, имеющую следующее технологическое оборудование (рис. 1): рабочий высоконапорный насос 1, установленный в баке с водой 2 у оголовка скважины, струйный насос 3 с подводящим 4 и подающим 5 трубопроводами. [4; 5].

Усовершенствованная конструкция установки предполагает размещать размывающий насадок 6 и сопло 7 на конце подводящего трубопровода, соединяя их параллельно. Это позволит отказаться от применения отдельного гидромониторного трубопровода, упростить технологическое оборудование и снизить весогабаритные показатели спускаемого оборудования в скважину. Струя из насадка разрыхляет песчаные отложения 8, и образо-

вавшаяся пульпа удаляется из скважины с помощью гидроэлеватора по подающему трубопроводу в бак. Сочетание высоконапорного центробежного насоса со струйным насосом позволяет удалять песчаные пробки из скважин, пробуренных на четвертичные отложения.

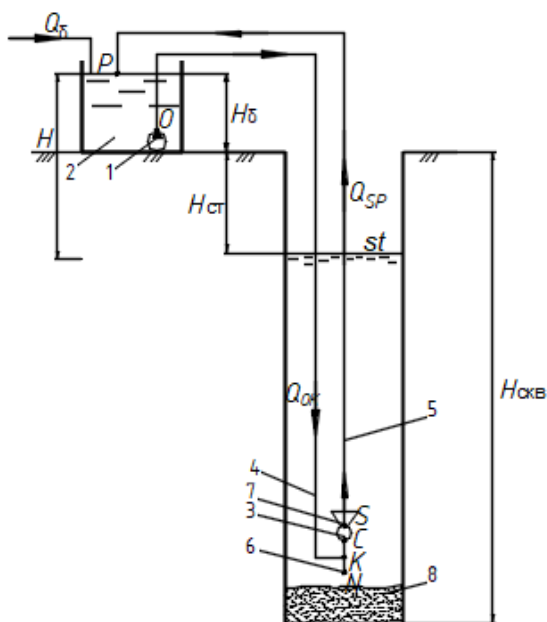


Рис. 1. Схема гидроэлеваторной установки с размывающим насадком:
 1 – рабочий насос; 2 – бак с водой; 3 – струйный насос; 4 – подводящий трубопровод; 5 – подающий трубопровод; 6 – размывающий насадок;
 7 – сопло; 8 – песчаные отложения

Глубина ремонтируемой скважины зависит от марки применяемого насоса и геометрических размеров струйного насоса и размывающего насадка. При этом в качестве высоконапорного насоса предлагается использовать погружной многоступенчатый насос, предназначенный для перекачивания чистой воды, который можно установить в емкости с водой на поверхности земли, а струйный насос на пластиковых трубах опустить в зону песчаной пробки. Преимуществом гидроэлеваторной установки по сравнению с эрлифтом является то, что для ее работы не требуется сложное нестандартное оборудование, компрессор и автокран. Это позволяет упростить технологическое оборудование.

На рис. 2 представлена предлагаемая схема движения жидкости при работе скважинного гидроэлеватора с размывающим насадком.

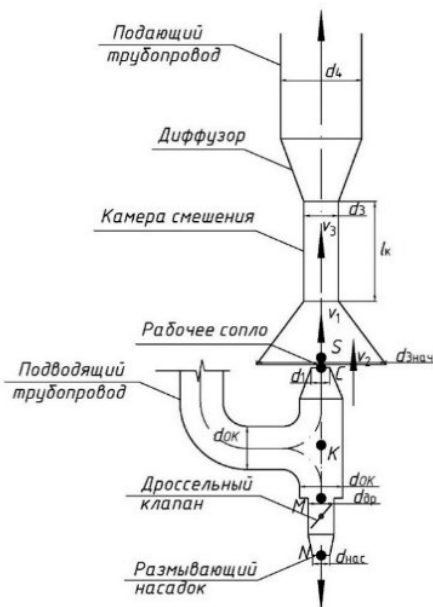


Рис. 2. Схема течения жидкости в скважинном струйном аппарате

Участок $KС$ содержит поворот и заканчивается рабочим соплом, а участок KN – составной и включает в себя поворот, резкое сужение, дроссельный затвор, размывающий насадок.

Так как в струйный насос могут поступать сравнительно крупные частицы колюматанта и песка из фильтра скважины, принимаем увеличенную площадь в начале смесительной камеры для инжестируемого потока, что позволяет уменьшить скорость v_2 . В результате получаем коническую смесительную камеру с диаметром $d_{3нач} > d_3$.

В процессе работы рабочий насос забирает воду из емкости высотой H_6 и подает ее в скважину глубиной $H_{скв}$ с глубиной статического уровня $H_{ст}$ по трубопроводу OK в точку разветвления K , откуда вода по участкам $KС$ и KN поступает в сопло и размывающий насадок, соответственно.

Натурные эксперименты по удалению песчаной пробки с использованием гидроэлеваторной установки были проведены на водозаборной скважине № 2/2011 глубиной 38,5 м в д. Узла Мядельского района Минской области, которые показали ее эффективность [4].

Литература

1. Эксплуатация и ремонт систем сельскохозяйственного водоснабжения: Справочник / В. А. Блинов, Г. А. Волоховский, Ю. А. Гугель [и др.] – М. : Росстройиздат, 1982. – 224 с.
2. Тугай, А. М. Водоснабжение из подземных источников : справочник/ А. М. Тугай, И. Т. Прокопчук. – Киев : Урожай, 1990. – 264 с.
3. Башкатов, Д. Н. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду: справочник / Д. Н. Башкатов, С. Л. Драхлис, В. В. Сафонов. – М. : Недра, 1988. – 268 с.
4. Ивашечкин, В. В. Ремонтпригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2016. – 228 с.
5. Медведева, Ю. А. Расчет параметров технологического оборудования гидроэлеваторной установки для удаления песчаных пробок из скважин / Ю. А. Медведева, В. В. Ивашечкин, Е. С. Сацута // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 281–289.

УДК 628.112.2

Реагентные способы и устройства для стимулирования водоотбора из водозаборных скважин

Ивашечкин В. В., Артемчик А. А., Казьмирук И. Ч., Кондратович А. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предложено устройство для поинтервальной реагентной обработки водозаборных скважин, которое позволяет осуществлять возвратно-поступательное движение реагента в закольматированных фильтре и гравийной обсыпке скважины. Основными элементами устройства являются: корпус; поперечная перегородка, разделяющая устройство на отсеки; центральная трубка с боковыми отверстиями; ограничительные стержни; рукава; погружной реверсивный насос. Высокая надежность устройства обеспечивается за счет отсутствия контакта насоса с реагентом.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт проведения текущих ремонтов водозаборных скважин наиболее эффективными способами стимулирования водоотбора являются реагентные, причем период стабильной работы скважин после обработки, как правило, превышает три года. Это вызвано высокой степенью удаления кольматирующих отложений. Однако существующее оборудование, применяемое для реагентных обработок, харак-

теризуется сложностью и требует повышенных мер охраны труда, что затрудняет производство работ. Поэтому исследования по разработке эффективных и в то же время технологичных реагентных методов стимулирования водоотбора из водозаборных скважин продолжаются.

Циркуляционные реагентные способы получили широкое распространение на водозаборах Германии. Различные фирмы предлагают свои услуги по регенерации и санации водозаборных скважин. ГмбХ «Hölscher Wasserbau» [1, с. 21–22] предлагает осуществлять циркуляцию путем подачи реагента из емкости, находящейся на устье скважины, под действием гидростатического давления и откачку продуктов реакции насосом, установленным в скважине. Процесс регенерации предусматривает установку устройства на нужном интервале фильтра, регенерацию и удаление продуктов реакции. Основным недостатком данной схемы циркуляции является то, что давление в нагнетательной секции будет зависеть от гидростатического давления, создаваемого реагентом. При высоком расположении статического уровня, скорость заливки реагента будет очень низкой и реагента, поступающего в нагнетательную секцию, не хватит для полноценного растворения коагулирующего осадка, что приведет к притоку воды к насосу из водоносного горизонта. Давление, создаваемое при таком расположении статического уровня, может быть недостаточным для продавливания реагента в прифильтровую закоагулированную зону. Кроме этого, выпускаемые промышленностью погружные насосы, не предназначены для перекачивания реагента, что снижает надежность предлагаемого оборудования.

Во ВНИИВодГео предложено устройство для реагентной обработки скважин, содержащее погружной насос с электродвигателем для подачи реагента, размещенный в откачной секции устройства, колонну водоподъемных труб с верхним и нижним пакерами, установленными на расстоянии один от другого, закачной секции, расположенной между пакерами [2]. К недостаткам устройства также следует отнести его низкую надежность, так как погружной насос непосредственно находится в реагенте и перекачивает его, что может вызвать преждевременный выход из строя насосного агрегата.

В БНТУ предложено устройство для реагентной обработки водозаборной скважины, содержащее поперечную перегородку, в которой размещен реверсивный насос, камеру с нижним и верхним отсеками, снабженными сильфонами [3]. При проведении регенерации реверсивный насос попеременно выкачивает воду из одного сильфона и подает в другой сильфон, при этом происходит сжатие одного сильфона и расширение другого. Реагент выдавливается из камеры с расширяющимся сильфоном в гравийную обсыпку и движется по ней в сторону камеры с сжимающимся сильфоном,

а при переключении насоса на реверс – в обратную сторону. Знакопеременные фильтрационные потоки реагента обеспечивают эффективную промывку закольматированной обсыпки скважины. Устройство обладает повышенной надежностью, так как реверсивный насос перекачивает воду, находящуюся в отсеках под защитой сифонов, не соприкасаясь с реагентом, однако к недостаткам устройства следует отнести ограниченную зону обработки, которая лимитирована небольшими размерами сифонов. Это делает поинтервальную обработку фильтров нетехнологичной, так как после обработки короткого участка фильтра надо устанавливать устройство на новый интервал.

В БНТУ предложено усовершенствованное устройство для реагентной обработки водозаборной скважины (рис. 1). Устройство включает в себя корпус 1 с центральной трубкой 2, имеющей боковое отверстие 3, и поперечной перегородкой 4. На внешней поверхности корпуса 1 в верхней, средней и нижней части закреплены манжетные уплотнения 5, которые делят фильтр на два участка: верхний и нижний.

Снаружи корпуса закреплены два рукава 6 и 7, изготовленные из полимерного материала, которые образуют внутри корпуса 1 верхний 8 и нижний 9 отсеки. Снаружи рукавов установлены ограничительные стержни 10. К центральной трубке 2 подсоединен погружной реверсивный насос 11, установленный под нижним отсеком 9. В центральной трубке 2 в верхней части нижнего отсека 9 выполнено калиброванное отверстие 12 для выпуска воздуха. Устройство вывешивают в колонне скважины ниже оголовка и через заливочное отверстие заливают внутрь воду в верхний отсек 8, которая через боковые отверстия 3 и 12 в центральной трубке 2 и насос 11 поступает в нижний отсек 9, вытесняя из него воздух в верхний отсек 8 через калиброванное отверстие 12 в центральной трубке 2. Воду не доливают до верха верхнего отсека 7, оставляя в нем воздушную полость определенного объема, который зависит от глубины скважины. Заливочное отверстие закрывают пробкой и устройство на тросе опускают в скважину и устанавливают в нижней части закольматированного фильтра, при этом воздух в воздушной полости сжимается под действием гидростатического давления и его первоначальный объем уменьшается по изотермическому закону прямо пропорционально гидростатическому давлению.

Из бака подают по шлангу (на рисунке не показан) порцию реагента в кольцевое пространство между стенкой фильтра и рукавами 6 и 7. Затем включают в работу реверсивный насос 11, который забирает воду из нижнего отсека 9 и по центральной трубке 2 через боковое отверстие 3 подает воду в полость верхнего отсека 8.

По мере осушения нижнего отсека его объем уменьшается, а объем верхнего отсека увеличивается за счет сжатия воздуха в его верхней части и поступления туда жидкости. Причем рукав 7 нижнего отсека 9 может полностью складываться при откачке воды, а рукав 6 верхнего отсека полностью распрямляется при закачке в него воды. При переключении насоса на реверс вода из верхнего отсека перекачивается из верхнего в нижний отсек, объем которого увеличивается и реагент вытесняется в нижнюю секцию фильтра. Это обеспечивает попеременное задавливание и извлечение значительных порций реагента из фильтра и прифилтровой зоны. Затем насос снова переключают на реверс и процесс регенерации повторяют до полной обработки двух секций фильтра. Устройство переставляют на следующий интервал обработки.

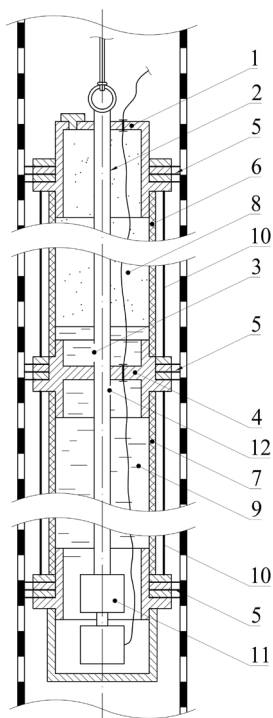


Рис. 1. Устройство для реагентной обработки водозаборной скважины:
 1 – корпус; 2 – центральная трубка; 3 – боковое отверстие;
 4 – поперечная перегородка; 5 – манжетные уплотнения; 6, 7 – рукава;
 8 – верхний отсек; 9 – нижний отсек; 10 – ограничительные стержни;
 11 – погружной насос; 12 – калиброванное отверстие

Устройство позволяет осуществлять возвратно-поступательное движение реагента в закольматированных фильтре и гравийной обсыпке, что обеспечивает поинтервальную регенерацию скважины. Применение вместо сильфонов ограниченной длины длинных рукавов из полимерного материала позволяет увеличить зону обработки фильтра по высоте и по глубине, а также повысить производительность устройства.

Литература

1. Ивашечкин, В. В. Регенерация скважин и напорных фильтров систем водоснабжения / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, А. Н. Кондратович ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2008. – 276 с.
2. Устройство для реагентной обработки скважин : а. с. 1654473 СССР: МКИ ЕОЗВ 3/15 / К. Г. Иванищев, В. Е. Воропанов, В. А. Попов. – № 447788/33 ; заявл. 24.08.88 ; опубл. 07.06.91, Бюл. № 12. – 3 с.
3. Устройство для реагентной обработки водозаборной скважины: пат. 21426 Респ. Беларусь: МПК ЕОЗВ 3/15 (2006.01) Е 21В 47/00 (2012.01) / Ивашечкин В. В., Машук Ю. С., Иванова И. Е. Курч А. Н. ; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а20140395 ; заявл. 16.07.2014 ; опубл. 30.10.2017. – 3 с.

УДК 627.824

Конструктивные особенности резервных водосбросов с размываемыми вставками

Богославчик П. М., Евдокимов В. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены конструктивные особенности резервных водосбросов с размываемыми грунтовыми вставками, принципы их конструирования и расчетов.

При проектировании резервных водосбросов с размываемыми грунтовыми вставками возникают вопросы, которые можно условно разделить на три части: конструкции, компоновочные решения, расчеты. Резервный водосброс с размываемой грунтовой вставкой представляет собой водопропускное отверстие в напорном фронте, перекрытое грунтовой вставкой, отсыпанной из песчаного грунта. Отметка гребня вставки несколько ниже отметки гребня основных подпорных сооружений. При аварийной ситуации, когда уровень верхнего бьефа поднимается выше критических отметок,

происходит перелив через вставку и ее размыв. В освободившееся отверстие сбрасывается излишний расход. Конструктивные и компоновочные схемы такого сооружения могут быть следующими.

1. Размываемая вставка располагается в теле грунтовой плотины. Ограничивающая размыв одежда – бетонная (рис. 1).

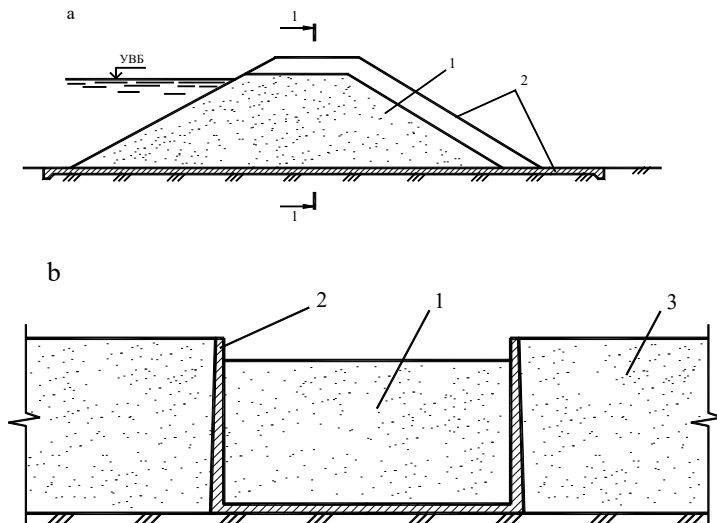


Рис. 1. Водосброс с размываемой грунтовой вставкой с ограничивающей размыв бетонной одеждой:

a – поперечный разрез; *b* – продольный разрез 1-1;

1 – размываемая вставка; *2* – ограничивающая размыв одежда

2. То же, но ограничивающая размыв одежда выполнена из мягкого полимерного материала, например, из геотекстиля или полимерной пленки (рис. 2).

3. Размываемая вставка располагается в одном или нескольких пролетах поверхностного водосброса (рис. 3). В этом случае, вставка работает как затвор «Гидроплюс» [1].

4. Размываемая вставка располагается вне напорного фронта в обход плотины (рис. 4).

Цель гидравлических расчетов – определение размеров водопропускного отверстия, времени размыва грунтовой вставки, предельного повышения уровня верхнего бьефа при установленных выше размерах водопропускного отверстия, а также построение гидрографа расхода через рассматриваемый водосброс.

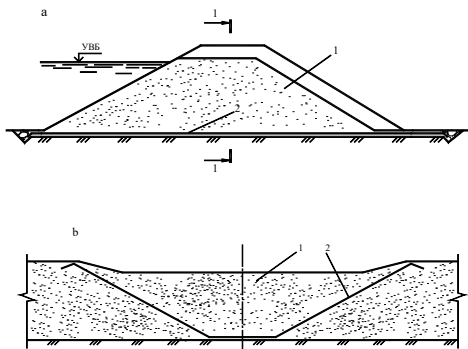


Рис. 2. Водосброс с размываемой грунтовой вставкой с ограничивающей разрыв одеждой из мягкого полимерного материала:
a – поперечный разрез; *b* – продольный разрез 1-1;
 1 – размываемая вставка; 2 – геотекстиль или полимерная пленка

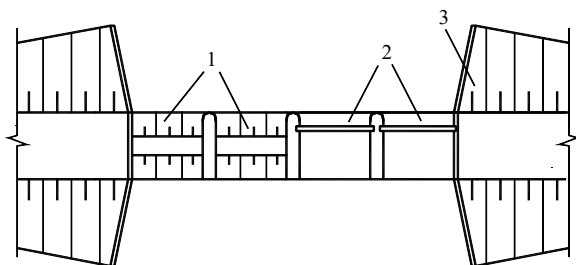


Рис. 3. Компонка с размываемой вставкой в пролетах
 поверхностного водосброса:
 1 – размываемая вставка; 2 – регулируемые пролеты
 поверхностного водосброса

Алгоритм расчета разработан на основе исследований, результаты которых были опубликованы ранее [2; 3]. В соответствии с характером работы водосброса расчет следует условно разделить на несколько этапов.

На первом этапе определяют размеры водопропускного отверстия. Ширина отверстия может быть определена из условия пропуска расчетного расхода Q_p из следующей формулы (по аналогии с расчетом пропускной способности прорана при пионерном перекрытии русла [4]):

$$Q_p = mb\sqrt{2g}H_0^{1,5},$$

где m – коэффициент расхода; b – ширина водопропускного отверстия; H_0 – напор с учетом скорости подхода.

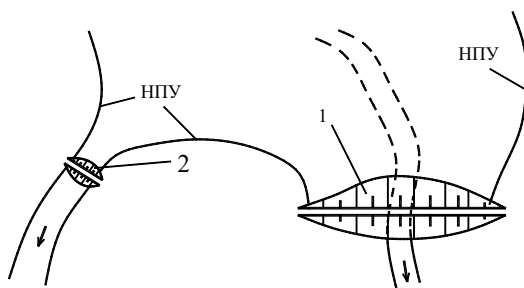


Рис. 4. Пример компоновки с размываемой вставкой в обход плотины:
1 – подпорное сооружение; 2 – размываемая дамба

Расчетная схема представлена на рис. 5. Коэффициент расхода при $z/H \leq 0,35$ рекомендуется определять по формуле:

$$m = \left(1 - \frac{z}{H_0}\right) \sqrt{\frac{z}{H}},$$

где z – перепад уровней верхнего и нижнего бьефов.

При $z/H > 0,35$ следует принимать $m = 0,385$.

Ширину водопропускного отверстия b при трапецидальной форме можно принимать среднюю по высоте.

После определения размеров водопропускного отверстия следует выполнить расчет размыва вставки. Целью расчетов является, во-первых, определить предельное повышение уровня верхнего бьефа при установленных выше размерах водопропускного отверстия, во-вторых построить гидрограф расхода через рассматриваемый водосброс.

Экспериментально установлено, что физическая картина размыва суще-

ственно зависит от скорости повышения уровня верхнего бьефа. При быстром повышении размыв происходит с одинаковой интенсивностью одновременно по всей ширине вставки. При медленном повышении уровня верхнего бьефа размыв может начаться в одной точке, после чего образуется небольшой проран, который постепенно увеличивается как в глубину, так и в ширину. Применительно к водосбросам более опасным для гидроузла является первый случай, то есть случай быстрого повышения уровня верхнего бьефа. Поэтому дальше рассматривается только этот случай.

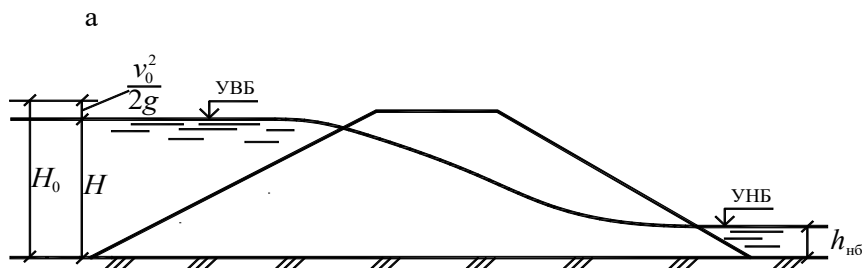


Рис. 5. Расчетная схема к определению размеров водопропускного отверстия:
 а – поперечный разрез; б – трапециевидальное отверстие;
 с – прямоугольное отверстие

Как было установлено ранее [2], размыв вставки начинается со стороны низового откоса и до полного размыва низовой призмы $ABCD$ (рис. 6) отметка гребня размываемого водослива со стороны верхней бровки остается постоянной. Уравнение деформации для этой стадии размыва имеет вид [7]:

$$\frac{dM}{dt} = 0,055 \frac{m^{1,45} i^{1,275} (2g)^{0,725}}{n^{2,55}} (z - y)^{2,175}, \quad (1)$$

где M – масса размываемого грунта, кг; t – время, с; m – коэффициент расхода размываемого водослива, на первой стадии определяется как для водослива с широким порогом; i – уклон дна по низовому откосу; n – коэффициент шероховатости, рекомендуется определять по формуле В. Н. Гончарова, а именно $n = 0,0324d^{0,125}$ [6]; z – уровень верхнего бьефа; y – отметка гребня размываемой плотины (для данной стадии размыва $y = y_1 = \text{const}$).

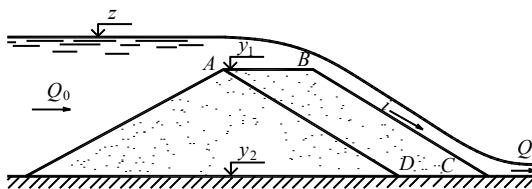


Рис. 6. Схема к расчету размыва вставки

Изменение уровня верхнего бьефа описывается следующей формулой:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F(z)}, \quad (2)$$

где Q_0 – расход воды в верхнем бьефе, $\text{м}^3/\text{с}$; $F(z)$ – площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке z , м^2 . Q – расход воды через размываемую вставку, $\text{м}^3/\text{с}$, определяется по формуле:

$$Q = \sigma mb \sqrt{2g} (z - y)^{1.5}. \quad (3)$$

После размыва низовой призмы начинается интенсивный размыв гребня и снижение отметки y . Уравнение деформации для этой стадии размыва имеет следующий вид [3]:

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{B m^{0.43} \varepsilon_1}{\rho_1} (z - y)^{0.6}, \quad (4)$$

$$\text{где } B = 6,77(1 + \varphi) d g^{2.17} \left(\frac{5,64 n \sqrt{2g}}{\varphi w} \right)^{3.33}, \quad \varepsilon_1 = \frac{1 - 1,26 m^{2/3}}{\beta} 2g,$$

где σ – коэффициент подтопления; ρ_0 – плотность грунта тела плотины, $\text{кг}/\text{м}^3$; d – средний диаметр частиц размываемого грунта, м ; φ – параметр турбулентности (отношение расчетной скорости падения частицы в воде к ее действительной гидравлической крупности), в соответствии с рекомендациями [6] для мелкозернистых песков принимается равным 2,25; β – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,5 – 2,0; коэффициент расхода m на этой стадии размыва определяется как для безвакуумного водослива практического профиля.

В отличие от методики, изложенной в [3] и [5], ширина b является величиной заданной, так как размыв в случае быстрого повышения уровня верхнего бьефа происходит по всей ширине водосбросного отверстия.

Расчеты по формулам (1)–(4) удобно вести численным методом, а именно методом конечных разностей. Задаются интервалом времени Δt . Начальный момент времени $t = 0$ – это момент, когда уровень верхнего бьефа при его повышении становится равным отметке гребня размываемой вставки, т. е. $z = y$. На окончание каждого интервала времени $t + \Delta t$ определяют z , Q , ΔM . При $\Sigma \Delta M = M_0$, где M_0 – масса низовой призмы $ABCD$, переходят к расчету по формуле (4). По расчетам строятся графики $z = f(t)$, $y = f(t)$ и $Q = f(t)$. Отметка z в какой-то момент не должна достигать величины, опасной для гидроузла. В противном случае следует увеличить ширину отверстия и расчеты повторить.

Выводы

1. Анализ опыта применения резервных водосбросов с размываемыми грунтовыми вставками позволил выделить четыре конструктивно-компоновочные схемы этих сооружений, которые дают основание для разработки проектных решений в зависимости от конкретных топографических и технологических условий.

2. Приведен порядок гидравлических расчетов, целью которых является определение размеров водопропускного отверстия, а также гидравлических параметров процесса размыва грунтовой вставки. Полученный в результате расчетов гидрограф расходов в створе размываемого водосброса $Q = f(t)$ позволяет при необходимости прогнозировать процессы в нижнем бьефе, а график изменения уровня верхнего бьефа во времени $z = f(t)$ позволяет определить максимальные уровни, которые не должны превышать предельно допустимых.

Литература

1. Лунаци, М. Э. Затворы системы «Гидроплос» как фактор повышения безопасности и экономичности гидроузлов / М. Э. Лунаци, Г. Ф. Онирченко, В. Б. Родионов // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 2 и 3. – М. : ОАО «НИИЭС», 1998. – С. 89–99.
2. Богославчик, П. М. Гидравлический расчет резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой / П. М. Богославчик // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республиканский межведомственный сборник. – Минск : Вышэйш. шк., 1990. – Вып. 19. – С. 24 – 30.
3. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 92–296.

4. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – М. : Энергия, 1974. – 313 с.

5. Теоретические основы расчета размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень / В. В. Ивашечкин, П. М. Богославчик, В. В. Веремениук, О. В. Немеровец // Энергетика. – 2022. – Т. 65, № 3. – С. 197–208.

6. Гончаров, В. Л. Динамика русловых потоков / В. Л. Гончаров. – Л. : Гидрометеиздат, 1962. – 373 с.

УДК 627.8.04

Методы расчета устойчивости грунтовых откосов

Богославчик П. М., Устюжанина В. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены методы расчетов грунтовых откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Дан анализ и их численное сравнение.

Расчет устойчивости откосов выполняется по первой группе предельных состояний – по несущей способности [1]. Откос устойчив, если соблюдается следующее условие:

$$n_c F \leq R \frac{m}{k_H}, \quad (1)$$

где n_c – коэффициент сочетания нагрузок; R – расчетное значение обобщенной несущей способности; F – расчетное значение обобщенного силового воздействия; m – коэффициент условий работы, учитывающий тип сооружения конструкции или основания, вид материала, приближенность расчетных схем и др.; k_H – коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения.

Формула (1) является общей для расчета любых сооружений на прочность и устойчивость. Запишем ее в следующем виде:

$$k_H \leq \frac{R}{F} \frac{m}{n_c}. \quad (2)$$

Правая часть формулы (2) – коэффициент запаса устойчивости. Получаем:

$$k_y = \frac{R}{F} \frac{m}{n_c} \geq k_n. \quad (3)$$

Расчетные методы можно объединить в две группы.

К первой группе относятся методы, основанные на теории предельного равновесия, в которых предполагается, что во всей рассматриваемой области грунтового массива одновременно возникает предельное состояние. Следовательно, в массиве одновременно возникает множество поверхностей предельного равновесия, по которым возможен сдвиг, и задача заключается в отыскании наиболее опасной. Решение этой задачи было получено Ренкиным (для случая прямолинейных поверхностей скольжения) и Кеттером (для криволинейных поверхностей обрушения). Дальнейшее развитие эти методы получили в работах Соколовского В. В., которым получены решения для откосов из неоднородных грунтов с учетом фильтрационных сил. Однако они не имеют простых инженерных решений в широком понимании, а допущение о возникновении предельного состояния одновременно во всех точках рассматриваемой области с физической точки зрения весьма условно. В связи с этим методы этой группы в практических расчетах применяются крайне редко.

Ко второй группе относятся методы, базирующиеся на представлении, что обрушение откоса дамбы может произойти по некоторой заранее заданной поверхности, которую чаще всего принимают в форме дуги окружности (круглоцилиндрическая поверхность скольжения) или ломаной, состоящей из нескольких прямолинейных отрезков (плоские и комбинированные поверхности скольжения). Методы предложены Паттерсоном, в дальнейшем развиты Чугаевым Р. Р., Ничипоровичем А. А., Моргуновым Н. С., Федоровым И. В., Терцаги, Флориным, Креем, Бишопом и др. [2–4], нашли наибольшее применение.

Коэффициент запаса устойчивости откоса определяется способами:

- по отношению сил разрушающих (предельных) к расчетным;
- по отношению сил, сопротивляющихся сдвигу (реактивных), к силам, сдвигающим (активным);
- по отношению характеристик сопротивления грунта сдвигу, при котором происходит обрушение, к фактически имеющимся.

Оползающий массив рассматривается как одно монолитное тело либо условно делят на несколько твердых отсеков. Способы расчета, в которых деление на отсеки не производится, могут использоваться для расчета откосов из однородных грунтов. Для этого случая Тейлором получено точное решение.

Наибольшее практическое значение имеют методы расчета, предусматривающие деление сдвигающегося массива грунта на отсеки, т. е. позволяют учитывать неоднородность массива и различные силы, действующие

[illegible]

Коэффициент запаса устойчивости призмы обрушения определяется по формуле (3).

Определив моменты активных и реактивных сил относительно центра кривой скольжения, и имея в виду, что предельная величина реактивных касательных напряжений $\tau_{пр}$ рассчитывается по уравнению Кулона

263

получаем выражение для расчета устойчивости откоса дамбы по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения при отсутствии дополнительных внешних сил:

$$K = \frac{\sum M_p}{\sum M_a} = \frac{R \sum \tau_p \Delta l}{R \sum \tau_a \Delta l} = \frac{\sum \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i l_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}, \quad (4)$$

где σ_i – нормальные напряжения на поверхности скольжения i -го отсека; l_i – длина кривой скольжения в пределах i -го отсека; G_i – вес i -го отсека; φ_i , c_i – соответственно, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта, в котором проходит кривая скольжения в пределах отсека « i ».

Разработано несколько методов расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения с делением массива на отсеки, которые отличаются друг от друга способом определения нормальных напряжений, действующих на поверхности оползания.

Метод Крея. В соответствии с предложением Крея величину $\sigma_i l_i$ находят из условия равенства нулю проекции всех сил на вертикальную ось, считая, что в предельном состоянии силы трения по боковым поверхностям отсека взаимно уравновешиваются:

$$G_i - \sigma_i l_i \cos \alpha_i - \tau_i l_i \sin \alpha_i - p_i l_i \cos \alpha_i = 0. \quad (5)$$

Заменяя в этом выражении τ_i через $\sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i$ и

$$l_i = \frac{b_i}{\cos \alpha_i},$$

произведя преобразования и подставляя полученное выражение для $\sigma_i l_i$ в формулу (5) получаем расчетную зависимость:

$$k_y = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i} \sum \frac{G_i - P_i + c_i b_i \operatorname{ctg} \varphi_i}{\cos \alpha_i \operatorname{ctg} \varphi_i + \sin \alpha_i}.$$

Метод Крея рекомендован для расчетов устойчивости откосов дамб из неоднородных грунтов и по исследованиям показывает результаты, согласующиеся с практическими.

Метод Терцаги-Флорина. Значение $\sigma_i l_i$ находится из условия равенства нулю проекции всех сил на ось, нормальную к поверхности скольжения, считая, что в предельном состоянии силы трения по боковым поверхностям отсека и силы взаимодействия между соседними отсеками взаимно уравновешиваются:

$$G_i \cos \alpha_i - \sigma_i l_i - p_i l_i + (W_i - W_{i+1}) \sin \alpha_i = 0. \quad (6)$$

С учетом того, что разность давлений воды на гранях отсека $(W_i - W_{i+1})$ с достаточной точностью может быть представлена в виде $p_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i$ из уравнения (6) находим $\sigma_i l_i$, и подставляя в (5), получаем расчетную зависимость:

$$k_y = \frac{\sum (G_i - P_b) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}.$$

Метод Терцаги-Флорина нашел широкое применение благодаря своей простоте.

Метод Мейера-Ничипоровича. Значение $\sigma_i l_i$ находится из условия равенства нулю проекции всех сил на ось, нормальную к поверхности скольжения, считая, что в предельном состоянии силы трения по боковым поверхностям отсека, силы взаимодействия между соседними отсеками и силы давления воды на боковые поверхности отсека взаимно уравновешиваются:

$$G_i \cos \alpha_i - \tau_i l_i - p_i \cos \alpha_i = 0. \quad (7)$$

Подставляя значения $\sigma_n l_n$, найденные из уравнения (7) в (5) получаем расчетную зависимость:

$$k_y = \sum \frac{(G_i \cos \alpha_i - P_b / \cos \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}.$$

Метод Мейера-Ничипоровича, который является частным случаем метода Бишопа, дает резко заниженные значения коэффициента запаса устойчивости.

Метод Чугаева Р. Р. Метод Чугаева Р. Р. (метод весового давления), основан на формальном совпадении его результатов расчетов с точным методом Тейлора. При откосах с заложением $m = 2,0-2,5$ сумма нормальных сил на поверхности скольжения принимается равной весу грунта оползающего массива, а при более крутых откосах дамб – его проекции на нормаль к поверхности сдвига с поправочным коэффициентом 1,05. Расчетная зависимость при этом принимает вид:

$$k_y = \frac{\sum (G_i - P_b) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}.$$

Величина p_i по предложению Ничипоровича А. А. в общем случае определяется как сумма давления взвешивающего $p_{вз}$, фильтрационного p_{ϕ} и порового p_k или давления консолидации:

$$P_i = p_{вз} + p_{\phi} + p_k.$$

Сила P_v направлена вверх перпендикулярно плоскости скольжения.

Для сравнительного анализа указанных методов ранее [5] были выполнены расчеты с помощью Delfi-программы. В качестве примера для расчетов была взята грунтовая плотина с экраном высотой 20 м, выполненная из мелкозернистого песка со следующими физико-механическими характеристиками: пористость $n = 0,39$; удельное сцепление сухого грунта $c = 3,0$ кПа, водонасыщенного $c_m = 3,0$ кПа; угол внутреннего трения сухого грунта $\phi = 32$ град., водонасыщенного $\phi_m = 27$ град. Основание сложено супесью со следующими физико-механическими характеристиками: пористость $n = 0,35$; удельное сцепление сухого грунта $c = 15,0$ кПа, водонасыщенного $c_m = 5,0$ кПа; угол внутреннего трения сухого грунта $\phi = 27$ град., водонасыщенного $\phi_m = 20$ град. В табл. представлены результаты расчетов устойчивости низового откоса для различных коэффициентов его заложения.

Таблица

Результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости
разными методами

Коэффициент заложения откоса	Коэффициент запаса устойчивости откоса			
	По методу Крея	По методу Терцаги-Флорина	По методу Мейера-Ничипоровича	По методу Чугаева
2,0	1,14	0,99	0,93	1,18
2,5	1,23	1,09	1,03	1,28
3,0	1,34	1,22	1,11	1,39
3,5	1,45	1,31	1,21	1,50
4,0	1,53	1,43	1,30	1,58

Анализ выполненных сравнительных расчетов устойчивости откосов плотин по вышеприведенным методам показал, что метод Мейера-Ничипоровича дает заниженные на 20–30 % результаты, а методы Р. Р. Чугаева, Терцаги-Флорина и Крея дают результаты отличающиеся друг от друга на 2–5 %. Метод Р. Р. Чугаева не рекомендуется при неоднородном сложении откоса и его основания. Метод Крея согласно литературному анализу достаточно точен, однако, как указывал Р. Р. Чугаев, автор «изложил свой способ в крайне неясной и даже ошибочной форме» [2]. Метод Терцаги – Флорина дает нормальные результаты, очень понятный и наглядный.

К сожалению, сравнить полученные результаты с экспериментальными данными сложно, так как в силу ряда причин весьма сложно провести эксперимент, данные которого можно было бы признать достаточно достоверными. Но сравнивая результаты расчетов можно отметить, что методы Крея и Флорина-Терцаги дают близкие значения. Но метод Крея несколько запутанный и при компьютерном счете часто дает сбои, причину которых бывает сложно найти.

Литература

1. Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04–150–2009. – Введ. 16.11.2009 ; отмен. 13.07.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 116 с.
2. Чугаев, Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения / Р. Р. Чугаев. – М.–Л. : Государственное энергетическое издание, 1963. – 144 с.
3. Ничипорович, А. А. Плотины из местных материалов / А. А. Ничипорович. – М. : Стройиздат, 1973. – 320 с.
4. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / под ред. В. П. Недриги. – М. : Стройиздат, 1983. – 544 с.
5. Богославчик, П. М. Оценка методов расчета устойчивости откосов грунтовых плотин / П. М. Богославчик // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы III Республиканской научно-технической конференции, Минск, 27–28 апр. 2023 г. – Минск, 2023. – С. 276 – 281.

УДК 631.862

Технические средства утилизации животноводческих стоков

Курчевский С. М.¹, Голубенко М. И.²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Заслуженный изобретатель России

Владимир, Российская Федерация

Приведено описание пруда-накопителя животноводческих стоков для утилизации на полях орошения за счет предварительного аккумуляирования, основанного на технологии почвенной очистки в процессе внесения стоков и в качестве удобрительного орошения. Это позволит включить в биологический круговорот биогенные элементы стоков и снизить экологическое состояние окружающей среды вокруг крупных животноводческих комплексов.

Навозные стоки животноводческих комплексов являются экологически опасными отходами. В связи с этим животноводческие стоки (например, свиноводческие) вначале необходимо подвергать биологической очистке на промышленных очистных сооружениях (аэротенках), а после, в естественных условиях, – на ирригационных полях утилизации (ИПУ). Сброс сточных вод в водные объекты загрязняет их, и приводит к нарушению процессов самоочищения. Подобная проблематика и пути решения исследователями рассматривались и ранее [1].

Нагрузка на ИПУ зависит от многих факторов: климатических условий региона, структуры почвы и ее фильтрационной способности, уровня залегания грунтовых вод, характера загрязнения сточных вод и их концентрации. Поэтому основными определяющими показателями загрязнений являются требования к качеству сточной жидкости, направляемой на поля орошения, и допустимая нагрузка на единицу орошаемой площади.

В связи с этим Экспертный центр при Государственном научном центре РФ «НИИ ВОДГЕО» в 2023 г. дал заключение по безопасности прудов-накопителей (№ 6 и 7) сточных вод для свиноводческого комплекса ЗАО «Владимирское» (г. Владимир). На землях комплекса, а именно на площади 1143 га, была запроектирована и построена оросительная система для утилизации навозных стоков до 600 тыс. м³/год с применением дождевальной техники ДКН-80 и ДКН-100. Проект разработан в 1981 г. специалистами ПИО ЗАО «Владимирагроводстрой».

Для оценки безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) на прудах-накопителях № 6 и 7 использовались исходные материалы и данные натурных наблюдений, а также показатели фактического состояния ГТС и соответствие их нормативным параметрам. Нами было проведено моделирование возможных аварий, предполагающее сценарии развития гидродинамической аварии, анализ опасностей и риска чрезвычайных ситуаций (имеются в виду определение границ возможного затопления в случае гидродинамической аварии, оценка безопасности ГТС).

Обследования безопасности эксплуатации прудов-накопителей показали, что объекты № 6 и 7 являются связующим звеном между комплексом очистных сооружений и системой подачи стоков на поля. Они аккумулируют сток не только в зимний, но и в летний период, когда сточные воды одновременно подаются на ИПУ.

Схема расположения гидротехнических сооружений на прудах-накопителях № 6 и 7 состоит из двух прудов, двух водовыпусков, одной накопительной камеры, двух перепускных трубопровода и водоотводящей канавы.

Пруды располагаются на водоразделе, однако часть примыкает к истоку р. Денисовка. В случае аварии сточные воды попадут в реку, а затем в торфяное болото Лаптевское площадью 502 га (оно разработано в 1936 г.;

с 2003 г. торф на нем не добывается). Из болота вода вытекает на север р. Суйма. Данное болото является буфером безопасности в ходе эксплуатации прудов-накопителей. Оно предотвращает от затопления близлежащие объекты свиноводческого комплекса, и может задерживать сточные воды в случае возникновения непредвиденных опасных ситуаций.

Для наблюдения за качеством грунтовых вод были предусмотрены наблюдательные скважины.

Пруды-накопители сточных вод запроектированы из расчета на 108 тыс. голов свиней, они являются связующим звеном между очистными сооружениями комплекса и системой подачи стоков на поля орошения для их доочистки. Накопление стоков в этих прудах начинается в осенне-зимний период, когда прекращается орошение полей стоками. Концентрация аммиака в них достигает 498 мг/л (наполнение одного пруда – 300 тыс. м³). Степень риска надежности прудов-накопителей $R_a = 0,206$.

Функционирование таких прудов-накопителей обусловлено климатическими условиями и необходимостью длительного выдерживания в них сточных вод. После их опорожнения в летне-осенний период и накануне нового заполнения на зиму проводится общий осмотр сооружений, дамб, оценивается состояние временно неработающего сооружения (при его наличии); водовыпускные трубы очищаются от посторонних предметов, препятствующих свободному пропуску стоков и т. д. Данное правило обязательно для персонала, занимающегося эксплуатацией сооружений прудов-накопителей и обеспечивающего выполнение задач по технической безопасности подобных сооружений.

Стоки заполняют сначала пруд № 6, затем через перепускную трубу – пруд № 7. На дне каждого пруда на момент проведения обследования (2003 г.) находилось отложение ила (100 тыс. м³). На основании чего было установлено, что общая емкость прудов-накопителей уменьшилась на 150 тыс. м³ и создало дополнительное напряжение при эксплуатации.

Животноводческие стоки по железобетонному трубопроводу диаметром 800 мм поступали в накопительный пруд, далее подачу осуществляли забором насосной станции на поля удобрительного орошения. Орошаемые поля в основном состояли из многолетних трав площадью 1140 га; на них включались дождевальные машины ДКН-80 и ДКН-100. Протяженность трассы распределительных трубопроводов – 51 км.

Анализ подготовленной фракции стоков на орошение и норм внесения проводился по наличию калия 800 м³/га для заданной расчетной площади. Соотношение азота, фосфора и калия при годовой норме внесения составило: азот – 76,6 кг/га; фосфор – 57,5 кг/га; калий – 159,9 кг/га. С урожаям многолетних трав выносятся 160 кг/га азота; 80 кг/га фосфора; 160 кг/га ка-

лия. Оросительная норма и площадь орошения жидкими стоками рассчитываются по выносу питательных элементов из урожая. При этом на полях орошения имеется закрытый дренаж.

С учетом требования об обязательной утилизации подготовленной жидкой фракции стоков первый полив осуществляется в апреле перед вегетацией многолетних трав, а последний (с целью опорожнения прудов-накопителей на зимний период) – в сентябре. Удобрительное орошение проводят с оросительной нормой 600 м³/га в 3 полива (по 200 м³/га).

Сточные воды попадают на ИПУ в соответствии с разработанным графиком полива из регулирующих прудов-накопителей и распределяются с помощью отрегулированных поливных трубопроводов в поливной сети, подключенных через гидранты-стояки к дождевальным машинам.

Принципиальная схема конструкции прудов-накопителей подробно описана исследователями [2; 3]. Глубина прудов не превышает 4 м; объем заранее рассчитывают по проекту от количества животных на комплексе. Стоки, поступающие в зимний период в пруд-накопитель, заполняют его, и их хранение производится при помощи подачи теплого воздуха, что позволяет в этот период интенсивно насыщать воздух кислородом, активно воздействующим на жизнедеятельность микроорганизмов для разложения ила, поступающего со сточной водой. Благодаря этому пруд-накопитель круглосуточно подвергается процессу аэрации в районе подачи. Затем он эксплуатируется на полях орошения в летний период, что сохраняет устойчивость экологической обстановки и безопасность сооружения, независимо от климатических и других условий его использования, с последующим применением органических удобрений при поливе на животноводческих комплексах.

В результате хранения стоков (в основном в течение 7–8 месяцев, в холодный период времени, когда отсутствует поливной сезон) процесс аэрации пруда достигает наиболее высокого качества перед началом поливного сезона. Кроме того, по акватории пруда известными методами ведется наблюдение за его состоянием. Поэтому предпочтение отдается аэрационным свойствам, при помощи подачи сжатого теплого воздуха в толщу заполняемого стоками пруда.

Схемы реализации способа промывки пруда-накопителя показана на рис. 1 и 2.

Ил, накопленный в зимний период эксплуатации пруда-накопителя 8 (рис. 1) приводится во взвешенное состояние посредством компрессора 19 (рис. 2) сжатым воздухом воздухомангнетательными устройствами 14 и 15 через перфорированные отверстия трубопроводов 16 уложенных на дно пруда-накопителя 8.

Благодаря этому отложения ила размываются и приходят во взвешенное состояние по всей площади объема стоков пруда-накопителя 8 (рис. 2). В результате забора стоков в отводящий водозаборный трубопровод 22 ил интенсивно перемещается в него, далее – в водоприемник 9. Необходимая скорость воздушного потока для взмучивания накопленного ила по поперечному сечению пруда-накопителя 8 захватывает область всего поступившего жидкого навоза, приводит его в поступательное движение в отводящем водозаборном трубопроводе 22. Это связано с тем, что существует перепад отметок дна данного трубопровода и дна самотечного трубопровода 25, соединенного по длине в конце со стокотриемной камерой 10, таким образом образуя наполнение камеры 10 жидким навозом перед перекачивающей насосной станцией 11. Далее идет поступление навоза на ИПУ 25 к дождевальным машинам (на рисунках не показано).

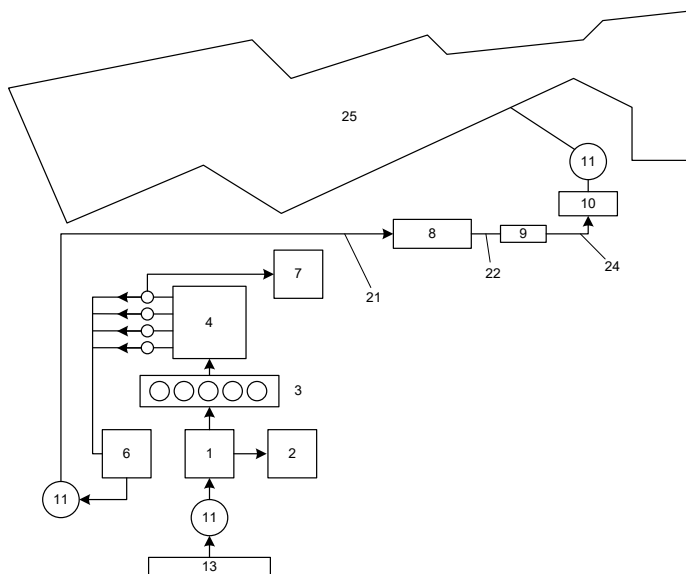


Рис. 1. Ситуационная схема промывки пруда-накопителя свиноводческого комплекса:

1 – цех отделения твердой фракции; 2 – бетонированная площадка хранения твердой фракции; 3 – вертикальные отстойники; 4 – аэротенк; 5 – вторичный отстойник; 6 – карантинная емкость; 7 – иловые карты; 8 – пруды-накопители стоков; 9 – водоприемник стоков; 10 – стокотриемная камера; 11 – насосная станция; 12 – ограждающая дамба; 13 – животноводческий комплекс; 21 – трубопровод подачи стоков; 22 – водозаборный трубопровод; 23 – задвижка; 24 – самотечный трубопровод; 25 – поля утилизации.

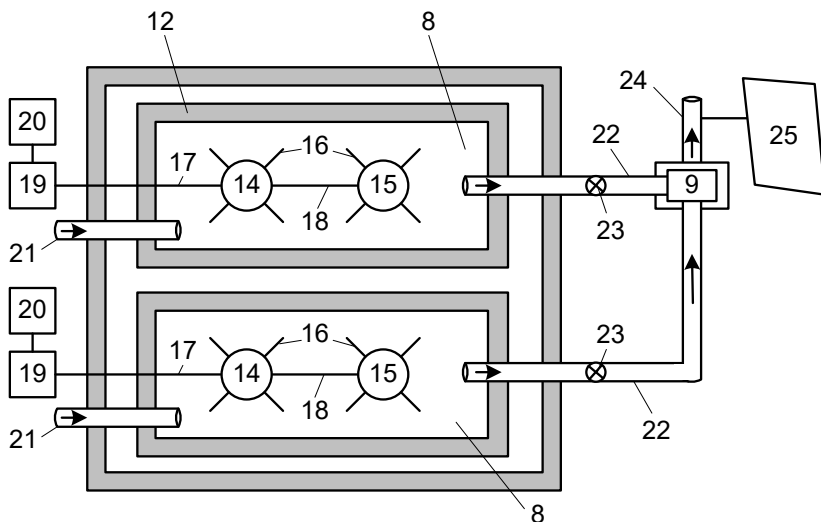


Рис. 2. Схема промывки пруда-накопителя с устройствами на орошаемом поле:
 8 – пруды-накопители стоков; 9 – водоприемник стоков; 12 – ограждающая дамба;
 14, 15 – воздушнагнетательные устройства; 16 – перфорированный трубопровод;
 17, 18 – подводящие трубопроводы; 19 – компрессор; 20 – реле времени;
 21 – трубопровод подачи стоков; 22 – водозаборный трубопровод;
 23 – задвижка; 24 – самотечный трубопровод; 25 – поля утилизации

Формирование, разработка и транспортировка такого стока (потока) с илом осуществляется активно по всей длине и ширине пруда-накопителя 8, что сокращает время сработки пруда-накопителя 8 в период вегетации ИПУ 25, освобождению и подготовке пруда-накопителя 8 к зимнему периоду эксплуатации в режиме его наполнения животноводческими стоками. В результате чего сохраняется устойчивость экологической обстановки и безопасность сооружения.

Известен также иной вариант выполнения промывки прудов-накопителей с применением плавучей платформы [2]. В данном случае участок акватории разбивают по полосам. Шланг укладывается и перемещается в процессе работы плавучей платформы. Таким образом, при размыве осадка ила в пруду производятся периодические промеры с целью определения размера осадка ила в данной зоне (конструкция устройства описана в [2]). Разрыхление и взмучивание осадка ила осуществляется струей воздуха через перфорированные отверстия насадка, соединенного с металлическим стволом путем подсоединения его к напорному шланговому воздуховоду. Давление воздуха может создаваться в пределах 0,3–0,5 МПа, (т. е. 3–5 кг/см²).

Такой вариант выполнения может быть использован в том случае, если пруд-накопитель уже построен и эксплуатируется без учета особенностей подготовки жидкой фракции навоза на основном комплексе, что не было учтено при проектировании.

Применение прудов-накопителей животноводческих стоков и вышеописанных схем промывки позволит упростить забор стоков, независимо от горизонтов в пруду-накопителе и его загрязнения (наличия осадочного ила). В данном случае ил периодически взмучивается, и его можно утилизировать на удобренных полях орошения с применением дождевальных машин. Это будет препятствовать завалу илом пруда-накопителя.

Таким образом, новые технические решения, защищенные патентами, обеспечивают реализацию основных направлений: надежность и долговечность работы прудов-накопителей животноводческих стоков в естественных условиях для их биологической очистки, бесперебойной работы дождевальной техники на подготовленных сельскохозяйственных полях орошения с целью выращивания безопасных сельскохозяйственных культур, а также эффективность функционирования комплекса сооружений для утилизации сточных вод.

Литература

1. Желязко, В. И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорированных агроландшафтах Нечерноземья / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво, Ю. А. Мажайский. – Рязань : Мещерский ф-л Всеросс. НИИ гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.

2. Патент RU № 2552358, МПК E02B 8/02(2006.01), E02B 11/00(2006.01), C02F 1/74(2006.01), C02F 3/02E 02 B 9/04. Способ промывки пруда-накопителя животноводческих стоков (варианты): № 2552358(13)C1: заявлено 14.01.2014 ; опубл. 10.06.2015 / М. И. Голубенко. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2552358C1/ru> (дата обращения: 17.08.2020).

3. Патент RU № 2621751, МПК C02F3/20, C02F103/20, C02F1/74, B01F3/04. Способ аэрации животноводческих стоков пруда-накопителя: № 2016101976 ; заявлено 10.06.2016; опубл. 06.07.2017 / М. И. Голубенко. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2621751C1> (дата обращения: 14.09.2024).

Математическая модель и ее реализация самобалансируемого якоря повышенной держащей силы

Костерина С. Д., Кочнев Ю. А., Роннов Е. П.

Волжский государственный университет водного транспорта

Нижний Новгород, Российская Федерация

В статье представлена математическая модель судового якоря, учитывающая взаимосвязь между нормируемыми ГОСТом и Правилами классификационных обществ, и не нормируемыми параметрами. Модель включает уравнения и неравенства, описывающие баланс массы, требования к материалу, геометрии, прочности, пространственному положению лап, технологичности и держащей силе якоря, а также зависимость массы веретена от положения оси вращения. Приведены результаты практической реализации математической модели.

Масса и габаритные размеры судовых якорей определяются ГОСТом и требованиями Правил классификационных обществ. Однако, большинство частных размеров не регламентируется нормативами, и принимаются конструктивно. Большинство таких «незначительных» параметров существенно влияют характеристики якоря.

Математическая модель судового якоря – это совокупность уравнений и неравенств, отражающих взаимосвязь между нормируемыми и не нормируемыми характеристиками [1; 2]:

$$\begin{cases} M_i = f(X, R, P), i \in I \\ M_\psi = s(X, R, P), \psi \in \Psi \end{cases}$$

где M_i – i -ое качество (требование) из множества I , уровень которого регламентируется конкретным значением; M_ψ – ψ -е качество (требование) из множества Ψ , нормируемое предельное значение которого не должно превышать некоторой величины; X – вектор заданных элементов, в качестве которых принимаются основные параметры – тип, масса и регламентируемые размерения; R – вектор параметров и характеристик, отражающих регламентируемые качества и свойства; P – вектор неизвестных элементов и характеристик.

Качества, которые следует представлять в модели якоря, в виде строгих равенств:

– баланс массы якоря:

$$M_{\text{я}} = \sum_i m_i,$$

где $M_{\text{я}}$ – заданная масса якоря, кг; m_i – масса i -ого конструктивного элемента, кг;

– требования к химическому составу материала:

$$C_j = C_j^{\text{норм}},$$

где C_j – концентрация j -ого химического элемента в материале якоря; $C_j^{\text{норм}}$ – нормативное содержание j -ого химического элемента;

– требования к геометрии якоря:

$$l_k = l_k^{\text{н}},$$

где l_k – k -ый конструктивный размер, м; $l_k^{\text{н}}$ – k -ый конструктивный размер, нормируемый стандартом или техническим условием, м.

Качества, которые представляются в виде неравенств:

– условие прочности:

$$(\sigma_{eq})_i \leq [\sigma]_i,$$

где σ_{eq} – напряжения, действующие в i -ом конструктивном элементе якоря, МПа; $[\sigma]_i$ – допускаемые напряжения для i -ого конструктивного элемента якоря, МПа;

– условие пространственного положения лап якоря:

$$\alpha \leq \alpha^{\text{н}},$$

где α – угол отклонения лап от вертикали при всех эксплуатационных вариантах положения якоря (при подъеме, при входе в якорный клюз, при фиксации в якорной нише и т. д.); $\alpha^{\text{н}}$ – нормативное значение, указанного выше угла;

– технологические условия:

$$t_{\min} \leq t_{ki} \leq t_{\max},$$

где t_{ki} – значения k -ого размера i -ого конструктивного элемента, m ; $t_{\min}$, $t_{\max}$ – минимальный и максимальный k -й размер i -ого конструктивного элемента, обусловленный технологическими возможностями завода-изготовителя, m ;
 – условие обеспечения держащей силы якоря:

$$K \geq K_H,$$

где K – коэффициент держащей силы якоря; K_H – нормативное значение коэффициента держащей силы якоря.

Массу якоря можно представить, как сумму масс лап якоря $m_{\text{л}}$, веретена $m_{\text{в}}$, якорной скобы $m_{\text{ск}}$ и стопорной планки $m_{\text{сп}}$. При этом две последние величины много меньше масс лапы и веретена и не зависят от особенностей геометрии, поэтому ими можно пренебречь. Тогда окончательная масса якоря для задач его исследовательского проектирования будет равна:

$$M_{\text{я}} = m_{\text{л}} + m_{\text{в}}.$$

Масса веретена якоря при моделировании представляется как сумма некоторой постоянной массы (узел крепления скобы, ограничитель наклона веретена) и массы, зависящей от положения оси вращения коробки лап на веретене, которое на рассматриваемых якорях имеет форму усеченной призмы. Так как свойства материала и размеры сечения для веретена известны, то его массу в зависимости от положения оси вращения можно представить уравнением:

$$m_{\text{в}}(z_{\text{осн}}) = m'_{\text{в}} + (h_{\text{я}} - z_{\text{осн}})b_2^2\rho + k_{\text{в}}\pi d_{\text{в}}^2b_2\rho_{\text{я}},$$

где $m'_{\text{в}}$ – постоянная масса веретена; $h_{\text{я}}$ – высота якоря, определяемая ГОСТ; $z_{\text{осн}}$ – аппликата оси вращения на веретене; b_2 – размеры сечения веретена, регламентируемые ГОСТ; $d_{\text{в}}$ – диаметр оси веретена; $k_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий длину оси веретена; $\rho_{\text{я}}$ – плотность материала якоря.

Требуемая масса лап якоря при моделировании должна определяться уравнением:

$$m_{\text{л}} = M_{\text{я}} - m_{\text{в}}(z_{\text{осн}}).$$

Она имеет сложную пространственную форму, описать которую аналитически не всегда представляется возможным, но используя твердотельное моделирование, представляя лапу как совокупность элементарных элемен-

тов в виде суммы простых геометрических тел: призм, конусов, параллелепипедов и т. п. требуемых конечных размеров. В аналитическом виде масса и центр масс лап якоря может быть записан так:

$$m_{\text{л}} = \sum_{\text{и}} m_{\text{и}}(a_i, b_j, w_k, \rho),$$

$$z_{\text{л}} = m_{\text{л}}^{-1} \sum_{\text{и}} [m_{\text{и}}(a_i, b_j, w_k, \rho) z_{\text{и}}(a_i, b_j, w_k)],$$

где $m_{\text{и}}(a_i, b_j, w_k, \rho)$ – масса и-ого элементарного элемента лап, кг; $z_{\text{и}}(a_i, b_j, w_k)$ – центр тяжести элементарного элемента, м; a_i – регламентированные параметры лапы якоря; b_j – нерегламентированные, т. е. «управляемые» проектантом параметры лап якоря; w_k – пропорциональные размеры якоря.

К регламентируемым, то есть фиксированным нормативными требованиями параметрам якоря могут быть отнесены высота h , длина l , ширина лапы b_1 и расстояние между носиками лапы e (рис. 1).

К «управляемым» параметрам, на наш взгляд, исходя из опыта конструирования подобных якорей, целесообразно отнести: высоту среза лапы, мм; толщину коробки лапы, расстояние между лапами, высоту коробки лапы, толщину лапы у основания, толщину «носика» лапы.

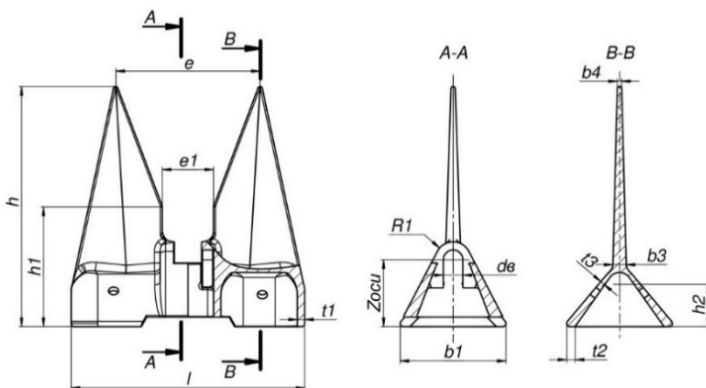


Рис. 1. Регламентируемые и управляемые размеры лап якоря

К пропорциональным размерам лап якоря отнесены все оставшиеся размеры, не оказывающие существенного влияния на физические характеристики якоря.

Полученное при моделировании положение центра масс лапы должно обеспечивать их самобалансировку, которая возможна, если расстояние между ним и осью вращения будет равно:

$$\Delta z_g \geq \mu \frac{d_b \alpha}{2(1 - \cos \alpha)},$$

где μ – коэффициент трения скольжения; α – угол отклонения лап якоря от вертикали.

Используя предлагаемую математическую модель разработаны электронные прототипы, рабочие чертежи и готовые изделия якорей повышенной держащей силы сбалансированных (рис. 2) и якорей типа AC-14 full balance (рис. 3).



Рис. 2. Якорь повышенной держащей силы сбалансированный

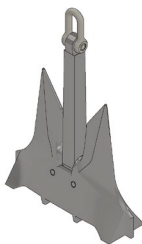


Рис. 3. Якорь типа FC-14 full balance

Литература

1. Судовые устройства : справочник / под. ред. Александрова М. Н. – Л. : Судостроение, 1987 – 656 с.
2. Роннов, Е. П. Математическая модель судового якоря / Е. П. Роннов, Ю. А. Кочнев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4(42). – С. 23–28.

**Инновационные технологии
в развитии естественных наук
и современного образования**

Методика измерения чувствительности многоканальных фотоприемников

Есман А. К., Зыков Г. Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В работе представлена методика измерения чувствительности фотоприемников, позволяющая минимизировать систематические и случайные погрешности, возникающие в процессе измерения. Подчеркивается важность измерения чувствительности для сравнения фотоприемников, оптимизации систем, в которых они используются, калибровки оборудования и разработки новых технологий. Показано, что исследования в этой области имеют важное значение как для научных исследований, так и для практических приложений в различных отраслях, включая системы оптической связи, медицинскую диагностику и солнечную энергетику.

Возможны несколько методов описания характеристик многоканальных фотоприемников (МФ). Четкость и однозначность используемой терминологии часто зависит от того, кто ее применяет: оптик или технолог, специалист по вычислительной технике или электронике и т. д. Однако одной из основных характеристик является интегральная чувствительность, обозначаемая S , определяемая отношением напряжения выходного электрического сигнала к мощности принимаемого оптического сигнала [1].

Хотя именно чувствительность определяет уровень реакции фотоприемника, но не она обуславливает предельно малое значение измеряемой величины, которое можно обнаружить практически. Это значение принято называть порогом чувствительности. Порог определяется условием, согласно которому значение измеряемой величины должно быть не меньше, чем уровень помех или шумов при данных условиях измерения.

Шумы различного вида имеют флуктуационное происхождение, и они неизбежно возникают как в самом приемнике, так и в устройствах, измеряющих реакцию фотоприемника. Целесообразно применять измерительные устройства такой чувствительности, чтобы была возможность наблюдать флуктуации сигнала фотоприемника. В этом случае минимальная воспринимаемая величина определяется, главным образом, порогом чувствительности приемника и можно считать, что возможности данного приемника реализуются полностью [2; 3].

Нами разработана достаточно универсальная методика измерения чувствительности фотоприемников и предложено устройство для ее реализации, блок-схема которого приведена на рис. 1. Работа его осуществляется следующим образом. Луч света источника излучения 1 разделяется светоделительным элементом 2 в заданном соотношении. Незначительная часть света со второго выхода светоделительного элемента 2 поступает на контрольный фотоприемник 10, а оставшаяся часть направляется на оптоэлектронный модулятор 3, находящийся в «закрытом» состоянии. По сигналу программного блока 14, управляемого мини-ПК, формирователь напряжения 8, формирует опорный сигнал на выходе схемы сравнения 9:

$$U_1 = k \times \text{шум} + I_{\text{т}},$$

где k – коэффициент усиления формирователя напряжения 8; $I_{\text{т}}$ – темновой ток.

Одновременно по команде программного блока 14 включается оптоэлектронный модулятор 3 через аналоговый сумматор 12 и запрещается прием информации формирователем 8. На второй вход схемы сравнения 9 поступает сигнал с аттенюатора 7:

$$U_2 = k \times \text{шум} + I_{\text{т}} + I_{\text{ф}},$$

где k – коэффициент ослабления аттенюатора 7 (коэффициент усиления формирователя напряжения 8 равен коэффициенту ослабления аттенюатора 7); $I_{\text{ф}}$ – фототок.

Оптоэлектронный модулятор 3 по программе (заданному алгоритму) программного блока 14 подает на испытуемый фотоприемник 6 соответствующее количество энергии, каждой из которых будет соответствовать свой сигнал U_2 . Как только фототок станет равным шуму + темновому току, схема сравнения 9 выдает сигнал, по которому прекращается изменение энергии, поступающей на испытуемый фотоприемник 6. При этом энергия, поступающая на испытуемый фотоприемник 6, равна мощности светового потока, умноженной на длительность импульса освещения. Регистратор 13 (осциллограф с цифровым выходом), управляемый мини-ПК, фиксирует значение длительности импульса засветки, соответствующее пороговой энергии света, т. е. энергии, которую нужно подать испытуемый фотоприемник 6, чтобы на его выходе получить сигнал, равный шуму.

В мини-ПК происходит обработка результатов измерения. В том случае, когда в процессе измерения произойдет по какой-либо причине изменение мощности светового потока источника излучения 1, изменяется электриче-

ский сигнал с выхода контрольного фотоприемника 10 на соответствующую величину. Это изменение сигнала через блок регулировки 11 и аналоговый сумматор 12 сместит рабочую точку оптоэлектронного модулятора 3 и тем самым стабилизирует на его выходе мощность оптического излучения.

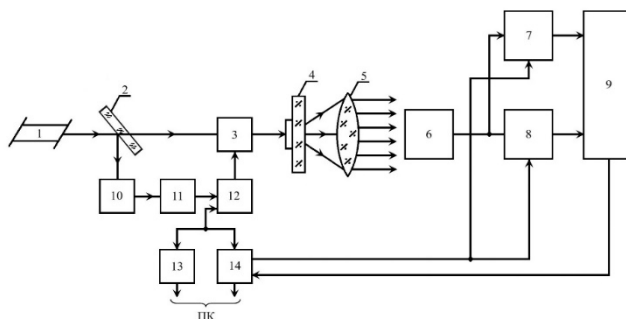


Рис. 1. Схема измерительной установки:

- 1 – источник излучения; 2 – светоделительный элемент;
 3 – оптоэлектронный модулятор; 4 и 5 – коллимирующая система;
 6 – испытуемый фотоприемник; 7 – аттенюатор; 8 – формирователь
 напряжения; 9 – схема сравнения; 10 – контрольный фотоприемник;
 11 – блок регулировки; 12 – аналоговый сумматор; 13 – регистратор;
 14 – программный блок

Таким образом, устройство позволяет производить все операции по измерению чувствительности испытуемого фотоприемника без изменения пространственного расположения его элементов, а, следовательно, и последующей юстировки оптического тракта. Более того, любые колебания мощности источника излучения, возникающие как непосредственно перед измерением, так и в процессе измерения, компенсируются соответствующим смещением рабочей точки оптоэлектронного модулятора по сигналу, поступающему с блока регулировки через аналоговый сумматор. Так как процесс измерения осуществляется в автоматическом режиме, то исключаются все возможные ошибки оператора. Автоматизация процесса измерения позволяет значительно повысить производительность измерительных операций и тем самым увеличить точность измерений. Сокращение времени измерительных операций уменьшает влияние нестабильности параметров измерительной аппаратуры на результаты измерений, что позволяет повысить достоверность полученной информации.

Чувствительность фотоприемников измеряется для оценки их способности реагировать на световые сигналы. Это важный параметр, который позволяет понять, насколько эффективно устройство может преобразовывать свет в электрический сигнал.

Предложенная методика измерения позволяет снизить систематическую погрешность, порожденную несовершенством метода измерения, а также случайную погрешность, обусловленную влиянием на результаты измерения таких факторов, как колебания мощности источника излучения, вибрации, визуальное совмещение светового пятна и светочувствительной площадки исследуемой ячейки фотоприемника.

Измерения чувствительности позволяют сравнивать разные фотоприемники и выбирать наиболее подходящий для конкретной задачи, будь то в системах оптической связи, медицинской диагностике или научных исследованиях.

Зная чувствительность фотоприемников, инженеры могут оптимизировать системы, в которых они используются, например, настраивать параметры освещения или улучшать оптические системы, чтобы достичь максимальной эффективности.

Измерение чувствительности необходимо для калибровки фотоприемников, чтобы обеспечить точность и надежность данных, получаемых в экспериментах или в производственных процессах.

Исследования в области чувствительности фотоприемников способствуют разработке новых технологий, таких как более эффективные фотодетекторы для солнечных панелей, камер, лазерных систем и других приложений.

Все это делает измерение чувствительности фотоприемников важным аспектом как научных исследований, так и практических приложений в различных отраслях.

Литература

1. Проблемы при измерениях интегральной чувствительности фотоприемников и некоторые пути их решения / И. В. Докторович, В. Н. Годованюк, В. Г. Юрьев [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2015. – № 2–3. – С. 53–60.
2. Есман, А. К. Матричное микрорезонаторное ИК фотоприемное устройство / А. К. Есман, В. К. Кулешов, Г. Л. Зыков // Квантовая электроника. – 2009. – Т. 39, № 12. – С. 1165–1168.
3. Кремниевые дифференциальные фотоприемники. Технологии, характеристики, применение / В. В. Гаврушко, А. С. Ионов, О. Р. Кадриев [и др.] // Журнал технической физики. – 2023. – Т. 93, вып. 9. – С. 1353–1363.

Функциональный контроль многоканальных фотопреобразователей

Есман А. К., Зыков Г. Л.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотренный в работе функциональный контроль матричных фотопреобразователей играет ключевую роль в обеспечении высокого качества изображений и надежности работы устройств. Функциональный контроль важен как при производстве, так и в процессе эксплуатации, позволяя своевременно выявлять и устранять дефекты, гарантируя оптимальную производительность и долговечность матриц.

Функциональный контроль многоканальных фотопреобразователей включает в себя проверку их характеристик и параметров, чтобы убедиться в корректной работе устройства. Многоканальные фотопреобразователи, такие как CCD (Charge-Coupled Device) и CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), используются в различных приложениях, включая цифровую фотографию, видеосъемку и научные исследования.

Поэтому при использовании многоканальных фотопреобразователей (МФ) необходимо знать, с какой максимальной скоростью при заданном уровне оптической энергии на один канал может производиться преобразование оптической информации, обеспечивающее требуемую достоверность.

Функциональный контроль МФ представляет собой тестовую последовательность, реализуемую с помощью компьютера. При разработке тестов следует рассмотреть наиболее вероятные неисправности МФ, возникновение которых связано с особенностями топологии при интегральном исполнении, взаимного влияния отдельных элементов, соединительных шин, влияние перекрестных помех.

Неисправности можно разделить на две основные группы: статические неисправности и динамические сбои.

Статистические неисправности вызываются необратимыми изменениями внутренней структуры МФ и не зависят от конкретного содержания входного информационного потока и режима работы. Динамические сбои обусловлены режимом эксплуатации МФ, и в общем случае, могут зависеть от конкретной оптической информации на входе, состояния в соседних ячейках, предыдущего состояния опрашиваемой ячейки и т. д.

В первую группу следует отнести также неисправности, как наличие «тождественный 0» или «тождественная 1». Неисправность типа «1» может

возникнуть в результате пробоя регистрирующей ячейки или при образовании паразитной связи между адресной и информационной шинами. При выборе адреса такой шины, информация в соответствующем информационном канале всегда будет восприниматься как «1», независимо от засветки фотоячейки. Неисправность типа «0» может быть вызвана пробоем коммутирующего элемента, обрывом в цепи фотоячейки или обрывом адресных или информационных шин. Пробой коммутирующего элемента вызывает изменение режима работы фотоячейки. Кроме того, возможны неисправности так называемого мостикового типа, вызванные статическими связями, когда информация в одних элементарных ячейках МФ влияет на соседние. Например, образование паразитного диода между двумя адресными шинами, при этом информация при выборе одной из них будет правильная, а при выборе другой – будет представлять дизъюнкцию двоичных переменных по всем каналам обоих адресных шин.

Динамические сбои определяются динамически функциональным контролем, который для этого должен проводиться на максимально возможной частоте. Они зависят от постоянной времени, определяемой емкостью фотодиода и сопротивлением нагрузки, на которую влияют также входные параметры усилителей считывания, и от паразитных реактивных связей взаимодействия между элементарными ячейками и шинами. К отказам динамического типа следует отнести увеличение времени выборки и времени восстановления, влияния смены информации с выбранного адреса. Увеличение времени выборки или времени восстановления вызвано наличием значительной наведенной импульсной помехи в информационных шинах при коммутации адресных шин.

Кроме функционального контроля, процедура тестирования должна давать возможность локализовать обнаруженные неисправности и динамические сбои по возможности с более высокой степенью точности. Решение этой задачи является альтернативой сокращения длины теста и, соответственно, длительности тестовой процедуры. Более того, расширение возможностей тестовой программы приводит к усложнению аппаратурной реализации. Поэтому оптимальным является выбор конкретной тестовой программы в каждом отдельном случае в зависимости от поставленных целей.

Для функционального контроля МФ с последовательно-параллельным видом преобразования информации удобно организовать тестовую программу по аналогичному принципу. Информация в строке идентична по всем по всем информационным каналам, что и позволяет управлять ею с помощью одного бита. Такая организация тестовых слов дает возможность уменьшить длину кодового слова, а значит, и число каналов управления по сравнению с традиционными методами, имеющими длину $\sim N^2$ в N раз, где

N – количество информационных каналов. Кроме того, это позволяет сократить длину тестовой комбинации, а с ней и время процедуры тестирования. Вместе с тем, путем введения двух управляющих бит в кодовом слове сохраняется полнота функционального контроля и возможность диагностики до уровня элементарных ячеек, а для статических неисправностей – до элементного уровня.

Для проведения функционального контроля МФ была разработана тестовая программа, содержащая следующие пять тестов: статические – тест «нулей», «единиц», «диагональ единиц» и «строка единиц» и динамические – «импульсная засветка» и тест «зебра».

Первый тест «нулей» представляет собой считывание информации с затемненного МФ и предназначен для обнаружения статической неисправности «тождественная единица». Тест «единиц» детерминирует неисправность «тождественный нуль». Эти два теста позволяют не только контролировать работоспособность МФ, но и локализовать неисправности до уровня элементарной ячейки. Анализ полученной информации дает возможность понизить уровень локализации до элемента. Третий тест «диагональ единиц» состоит из двух этапов. Первый предназначен для проверки наличия неисправностей мостикового типа. В этом случае имеет место несоответствие информации на входе и выходе по i -му и j -му информационным каналам при выборе i -ой или j -ой адресной шины. Однако дифференцировать неисправность между адресными шинами от неисправностей между информационными каналами по результатам этого теста невозможно. Поэтому тест имеет вторую часть «строка единиц», которая может контролировать только неисправность между адресными шинами. Такая двухэтапная организация теста дает возможность сократить время контроля в случае отсутствия неисправностей мостикового типа.

Неисправность мостикового типа может возникнуть, когда один или несколько элементов (например, пиксели в фотоприемнике) перестают функционировать должным образом из-за проблем в соединениях или электрических цепях, которые должны обеспечивать их работу.

Для устранения неисправностей мостикового типа может потребоваться диагностика системы, проверка соединений и компонентов, а также замена неисправных элементов.

Неисправности мостикового типа могут значительно повлиять на функциональность устройства, поэтому их своевременная диагностика и ремонт важны для поддержания работоспособности системы.

Мостиковая структура представляет собой параллельное соединение последовательных цепочек элементов с диагональными элементами, включенными между узлами различных параллельных ветвей. Работоспособность такой системы определяется не только количеством отказавших элементов,

но их положением в структурной схеме. На рис. приведена упрощенная техническая система с соединением элементов мостикового типа пяти элементов. Работоспособность технической системы будет утрачена при одновременном отказе элементов 1 и 4, или 2 и 5, или 2, 3 и 4 и т. д. Отказ элементов 1 и 5, или 2 и 4, или 5, 3 и 4, или 2, 3 и 1 к отказу системы не приводит.

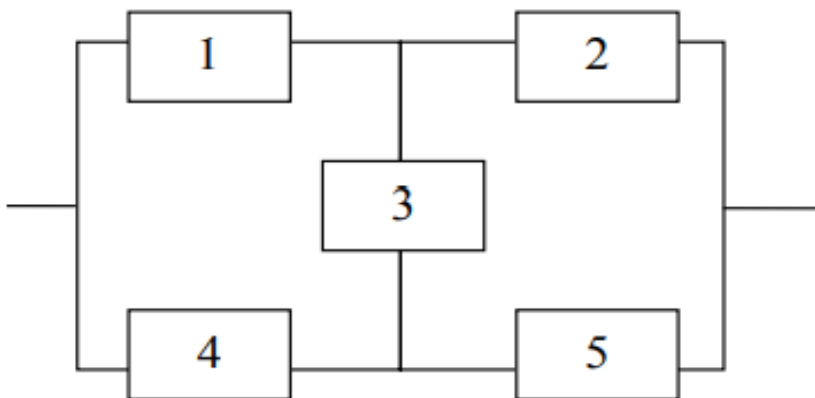


Рис. Упрощенная техническая система с соединением элементов мостикового типа пяти элементов

Четвертый тест проводится для определения влияния смены информации в не выбранных строках на выбранную. По нему производится импульсная засветка МФ, кроме строки, выбранной дешифратором адреса и с которой считывается информация.

Критерием степени влияния паразитных реактивных связей на работоспособность МФ на высоких скоростях опроса может служить также произведение заданной оптической мощности, приходящейся на одну элементарную ячейку, на минимальную длительность импульса выборки строки при заданной вероятности ошибки.

Все тесты представляют собой последовательность машинных слов, генерируемых в соответствии с заданной программой.

Таким образом, функциональный контроль матричных фотопреобразователей является важным этапом в их производстве и эксплуатации, так как он обеспечивает высокое качество получаемых изображений и надежность работы устройств.

**Исследование материалов в системе Zn–Ti–O
для керамических элементов малогабаритных антенн**

Савчук Г. К., Юркевич Н. П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты условий получения керамик со свойствами для малогабаритных антенн. Установлено, что наименьшие потери имеют керамики состава $0,754\text{Zn}_2\text{TiO}_4-0,246\text{TiO}_2$, легированные висмутом. Микродобавки олова в количестве 1 масс. % и сурьмы количестве 2 масс. % понижают диэлектрическую проницаемость с 30 до 25,1 и 25,9, соответственно.

Антенна – один из важнейших компонентов подсистемы беспроводной связи. Современные антенны обычно представляют собой малогабаритные устройства. При выборе керамических материалов для изготовления малогабаритных антенн наряду с достижением миниатюризации следует обеспечить необходимую для работы эффективность антенны.

Теоретические расчеты, выполненные для различных моделей антенн, показали, что приемлемое значение эффективности антенны должно составлять не менее 70 %, поэтому достигнуть его можно только при использовании керамических материалов с $\varepsilon < 30$ и температурным коэффициентом ε ($\text{ТК}\varepsilon$) $\leq 9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. При этом диэлектрические потери не приводят к значительному снижению эффективности антенны только в случае, если величина тангенса диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) керамического материала будет составлять порядка 10^{-4} .

Данная работа посвящена изучению керамических материалов в системе Zn–Ti–O, которые могут быть использованы для изготовления малогабаритных диэлектрических антенн.

В системе Zn–Ti–O существует ряд соединений, на основе которых получают керамические материалы [1–3].

Исследования проводились на образцах, полученных по двухстадийной керамической технологии [4]. В синтезированных твердые растворы состава $0,754\text{Zn}_2\text{TiO}_4-0,246\text{TiO}_2$ оксиды сурьмы Sb_2O_5 , висмута Bi_2O_3 и олова SnO_2 вводились на стадии процесса спекания.

Исследования микроструктуры керамик, содержащих добавку сурьмы, проведенные с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO показали, что средний размер зерен для фазы TiO_2 составляет 3–5 мкм, для фазы Zn_2TiO_4 – 5–10 мкм. Для керамик с добавкой олова зерна фазы TiO_2

уменьшаются и составляют 1–4 мкм, а зерна фазы Zn_2TiO_4 растут и их размеры варьируются в пределах 8–12 мкм. При легировании керамик оксидом висмута зерен фазы TiO_2 имеют размеры порядка 2–3 мкм, а для Zn_2TiO_4 – 5–8 мкм.

Таким образом, наличие ионов висмута и сурьмы приводит к сдерживанию роста зерен фаз Zn_2TiO_4 и TiO_2 , в то время как ионы олова стимулируют рост зерен Zn_2TiO_4 .

По результатам EDX анализа, проведенного с помощью микроанализатора Röntec Edwin (диаметр зондирующего участка – 3 мкм) было установлено, что микродобавки Sb, Sn и Bi находятся в межзеренном пространстве.

Результаты измерений диэлектрических свойств (ϵ и $\text{tg}\delta$) образцов, полученных на основе модифицированной системы $\text{Zn}_2\text{TiO}_4\text{--TiO}_2$, в зависимости от условий спекания и вида легирующих микродобавок представлены в табл.

Таблица

Диэлектрические параметры (ϵ и $\text{tg}\delta$) керамик, полученных на основе легированной системы состава $0,754\text{Zn}_2\text{TiO}_4\text{--}0,246\text{TiO}_2$

Микродобавка	Температура и время спекания	ϵ	$\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$
Sn 1 %	1100: 3ч	25,1	1,0
Bi 1 %	1200: 2ч	28,7	0,9
Sb 2 %	1200: 2ч	25,9	1,0

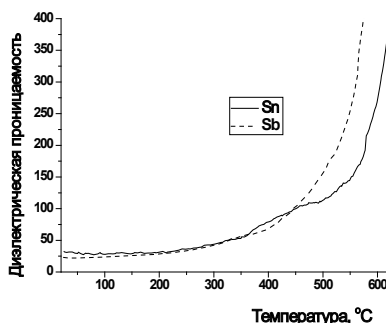


Рис. Температурные зависимости ϵ керамик состава $0,754\text{Zn}_2\text{TiO}_4\text{--}0,246\text{TiO}_2$, легированных оксидами олова и сурьмы

На основании диэлектрических измерений исследуемых керамических образцов, выполненных на частоте 1 МГц в температурном интервале от 0

до 600 °С (рис.), установлено, что полученные материалы обладают высокой температурной стабильностью ТКЕ ($\text{ТКЕ} \sim (4-16) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) в интервале температур 10–240 °С.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены керамические материалы на основе бинарной системы $\text{Zn}_2\text{TiO}_4\text{--TiO}_2$, которые при легировании оксидами олова, сурьмы и висмута имеют $\varepsilon < 30$ и $\text{tg}\delta$ порядка 0,0001 и ниже. Установлено, что наиболее высокую добротность Q ($Q = 1/\text{tg}\delta$) имеют материалы, легированные оловом в количестве 1 масс. %, сурьмой – в количестве 2 масс. %, при этом диэлектрическая проницаемость материалов изменяется от 25,1 до 28,7.

Литература

1. Савчук, Г. К. Диэлектрические свойства керамических материалов на основе титанатов цинка / Г. К. Савчук, А. К. Летко, А. А. Климза // Весці НАНБ. Серыя фіз.-мат. навук. – 2011, № 4. – С. 110–113.
2. Диэлектрические свойства керамических СВЧ-материалов для активных GPS-ГЛОНАСС антенн / Г. К. Савчук, А. К. Летко, Н. П. Юркевич, [и др.] // Авиация: история, современность, перспективы развития : материалы IV междунар. научно-практ. конференции, г. Минск, 22 мая 2014 / Минский гос. высший авиационный колледж. – Минск, 2014. – С. 104–106.
3. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmechhydro23_05076/e3sconf_conmechhydro23_05076.html (дата обращения 12.05.2025).
4. Акимов, А. И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезоэлектрические, сверхпроводящие): условия получения, структура, свойства / А. И. Акимов, Г. К. Савчук. – Минск : Изд. центр БГУ, 2012. – 256 с.

**Расчет магнитных полей в рамках диалога
с искусственным интеллектом**

Савчук Г. К.¹, Юркевич Н. П.¹, Ахмедов А. П.², Худойбергганов С. Б.²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь,

²Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Республика Узбекистан

Рассмотрена возможность расчета магнитных полей токов различной конфигурации с привлечением искусственного интеллекта (ИИ).

Для обучения студентов инженерно-технического профиля курсу физики имеется наработанный методический материал для проведения лабораторных [1–3] и практических занятий [4–6] по различным разделам дисциплины «Физика». С другой стороны, с развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) возникает задача использования ИИ для повышения эффективности изучения курса физики, снижения временных затрат на поиск как теоретического материала, так и численного решения задач различного уровня.

Раздел «Магнетизм» в курсе физики является довольно сложным для студентов при обучении в техническом вузе. В первую очередь это связано с трудностями в понимании фундаментальных процессов, происходящих при порождении магнитных полей токами, ряда теорем и законов, которыми определяется весь класс магнитных явлений, а также сложностью математических вычислений, требующих хорошее знание интегрального и дифференциального исчисления.

Целью данной работы является оценка возможности использования ИИ для расчета магнитных полей токов различной конфигурации.

Одним из наиболее распространенным ИИ является ChatOn AI (GPT-4o mini), который легко скачать из Google Play. Данная версия ИИ обладает широким функционалом и предоставляет бесплатный доступ, ограниченный пятью запросами в день. Подобного рода ограничений существуют практически во всех ИИ. Доступ полного функционала предоставляется только на коммерческой основе.

Для анализа степени адекватности реагирования ИИ были сформулированы вопросы как качественного, так и количественного характера.

На вопрос об использовании ИИ в лабораторных работах по магнетизму был получен ответ, содержащий направления данной нейросети. К таким направлениям ИИ относит анализ данных, моделирование, оптимизацию

экспериментов, визуализацию данных, автоматизацию процессов. В целом ответ ИИ соответствует тому, что закладывается в разработки учебно-методического и лабораторного обеспечения для проведения занятий со студентами. Поэтому важно настроить соответствующие связи между ИИ и существующими информационными ресурсами по конкретному разделу «Физики», в частности по магнетизму.

На вопрос, как ИИ моделирует магнитное поле проводника с током любой конфигурации, был получен ответ, содержащий отсылку к законам Био-Савара-Лапласа и Ампера. Ответ также указывал на возможность использования для решения дифференциальных уравнений методов конечных элементов и конечных разностей.

ИИ также справился с простой задачей по расчету индукции магнитного поля прямолинейного проводника с током 5 А, при этом самостоятельно указав расстояние до проводника, так как по условию задачи оно не было задано, а также сделав акцент, что для вычисления поля в другой точке пространства необходимо задать расстояние до проводника.

Расчет модуля вектора магнитной индукции магнитных полей соленоидов конечной и бесконечной длины по соответствующим формулам [7] также был выполнен правильно. При этом, не совсем верно был назван термин: индукция магнитного поля в русскоязычном отклике ИИ была заменена на интенсивность магнитного поля, что неверно. Также трудности у ИИ возникли с вопросом графического изображения магнитного поля соленоида: из всевозможных вариантов существующих изображений в сети была выбрана совершенно нечитаемая без контекста картина поля.

Таким образом, ИИ справляется с несложными задачами достаточно хорошо, более сложные постановки задач могут вызвать у ИИ серьезные затруднения. Использование ИИ может принести хороший результат из-за быстрого отклика, позволяет студентам и преподавателю оптимизировать процесс сбора и анализ данных по поставленной конкретной задаче, проводить уточнения по информационной базе ресурсов. Но для такой интеграции, даже в рамках одного раздела физики, следует разрабатывать схему коммуникации с ИИ с использованием ресурсов платформы и системы конкретных вопросов.

Литература

1. Кужир, П. Г. Общая физика: Оптика. Квантовая физика. Физика атомного ядра и элементарных частиц : сборник задач // П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск : БНТУ, 2018. – 197 с.
2. Кужир, П. Г. Общая физика : электричество, магнетизм. Сборник задач : учеб. пособие / П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск : Изд-во Гревцова, 2013. – 272 с.

3. Использование компьютерных технологий для контроля знаний студентов при выполнении физического практикума в рамках работы совместного факультета ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов [и др.] // ВОДА. ГАЗ. ТЕПЛО 2020: материалы Междун. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белор. нац. техн. ун-та, 100-лет. каф. «Гидротехнич. и энергетич. строит., водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020 г. / Белорус. нац. технический. ун-т ; редкол. С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 324–328.

4. Ахмедов, А. П. Совмещение реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Н. П. Юркевич // Актуальные проблемы современного естествознания: материалы XI Республиканского научно-методологического семинара, Минск, 3 декабря 2020 г. / Респ. ин-т высшей школы. – Минск, 2020. – С. 91–95.

5. Yurkevich, N. P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk // Sciences of Europe. – 2022. – Vol. 1, № 86. – P. 59–66.

6. Изучение в физическом лабораторном практикуме методов определения продуктов распада в ядерных реакциях / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов [и др.] // Вышэйшая школа. – 2024. – № 4. – С. 10–13.

7. Юркевич, Н. П. Исследование распределения магнитного поля в многослойном соленоиде конечной длины / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, П. Г. Кужир // Физическое образование в вузах. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 49–60.

УДК 629.113.65

Оптимизация накопления и использования электрической энергии от пьезоэлектрических элементов в дорожных покрытиях с применением интеллектуальных систем управления

Ахмедов А. П.¹, Худойберганов С. Б.¹, Юркевич Н. П.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье предлагается инновационный подход к повышению эффективности накопления электрической энергии, генерируемой за счет пьезоэлектрического эффекта в дорожных покрытиях при механической деформации от движения транспортных средств. Рассматривается интеграция

интеллектуальных систем управления для оптимизации работы накопительных систем, включающих суперконденсаторы и аккумуляторные батареи. Предложены методы адаптивного регулирования параметров накопления заряда в зависимости от интенсивности транспортного потока, типа и массы автомобилей. Особое внимание уделено анализу экономической целесообразности и экологического воздействия технологии. На основе математического моделирования и экспериментальных данных демонстрируется возможность увеличения энергоэффективности системы на 15–20 % по сравнению с традиционными подходами. Результаты исследования могут быть использованы для создания энергоэффективных решений в области умной инфраструктуры автомобильных дорог.

У некоторых материалов наблюдается эффект электрической поляризации, изменяющейся при любой механической деформации материала. Этот эффект наблюдается у материалов, в кристаллической решетке которых отсутствует центр симметрии, например, у кварца. Любая внешняя механическая деформация вызывает изменение дипольного момента кристалла, что является причиной макроскопической электрической поляризации, приводящей в результате к возникновению разности зарядов на гранях кристалла. Этот эффект может также наблюдаться в материалах, обладающих центром симметрии, если только симметрия нарушена сильным электрическим полем из-за спонтанной поляризации материала [1–3]. Примером такого класса материалов (ферроэлектриков) является титанат бария. Пьезоэлектрики являются обратимыми электромеханическими преобразователями, т. е. способны преобразовывать механическую энергию в электрическую и, наоборот, электрическую энергию в механическую. Во время движения автомобиля по автомобильной дороге он оказывает некоторое давление на дорожное покрытие.

В результате этого происходит поперечная деформация дорожного покрытия. Если некоторый отрезок дорожного покрытия изготовлен из материала, обладающего пьезоэлектрическим свойством, то на обоих краях дорожного покрытия появляются сгусток положительных и отрицательных зарядов. Накопления этих зарядов можно осуществить специальной накопительной системой. Накопившиеся заряды можно использовать в различных целях, например:

- для освещения автомобильных дорог;
- для зарядки аккумуляторных батарей;
- для освещения зданий и витрин находящиеся возле дорог.

Специальная накопительная система состоит из конденсаторов и аккумуляторной батареи. В последние годы в развитии конденсаторов произошел гигантский скачок. Появились двухслойные электрохимические

конденсаторы (Electrochemical Double Layer Capacitors, сокращенно EDLC). В печати также используют термины суперконденсатор (supercap) или ультраконденсатор (ultracap) (рис. 1, *a*). Запасаемая энергия в среднем в 300 раз больше, чем у традиционных конденсаторов тех же габаритов. Напряжение пробоя суперконденсаторов не превосходит нескольких вольт, поэтому для получения нужных рабочих напряжений используется последовательное соединение отдельных конденсаторов.

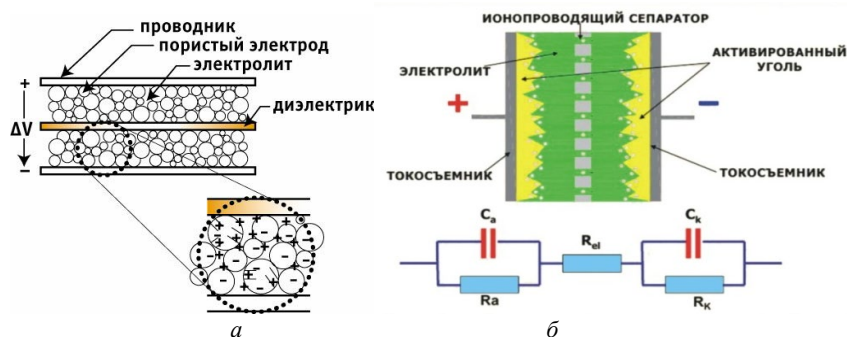


Рис. 1. Суперконденсатор:
a – устройство; *б* – двойной электрический слой

Суперконденсаторы в отличие от обычных конденсаторов обладают намного лучшими электрическими характеристиками [4–8].

Более совершенным является недавно созданный суперконденсатор с двойным электрическим слоем (рис.1, *б*).

Специальная накопительная система в основном состоит из специального приспособления для сборки электрического заряда, набора суперконденсаторов и аккумуляторной батареи.

Предположим, что специальное приспособление для сборки электрического заряда установлено на одном определенном месте этого отрезка (рис. 2, *a*).

На рис. 2, *б* представлено приспособление для сборки электрического заряда в дорожном полотне.

Зависимость напряжения на обкладках суперконденсатора от времени выражается следующим образом:

$$U = \left(\frac{P_a}{P_m} \right) U_0 e^{-\frac{t}{\tau_0 C}}, \quad (1)$$

где U – мгновенное значение напряжения на обкладках суперконденсатора; U_0 – максимальное значение напряжения на обкладках суперконденсатора; P_a – вес ненагруженного автомобиля; P_m – вес максимально нагруженного автомобиля; r_0 – внутреннее сопротивление суперконденсатора, обычно $r_0 = 0,01$ Ом; C – емкость суперконденсатора, $C = 100\text{--}300$ Ф.

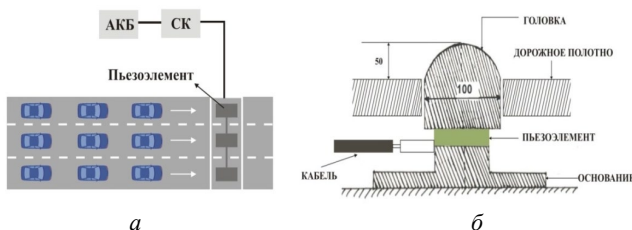


Рис. 2. Схема участка дороги:
 а – полотно дороги с пьезоэлементами; б – приспособление для сборки электрического заряда

Тогда постоянная времени $\tau_0 = r_0 C$ находится в пределах $\tau_0 = (1\text{--}3)C$, что является приемлимым для процесса движения автомобилей по дороге в городских условиях.

Для обычного конденсатора постоянная времени $\tau_0 = r_0 C$ находится в пределах $\tau_0 = (1\text{--}3)10^{-5}C$. Из-за высоких значений постоянного времени суперконденсатора достигается значительное улучшение степени накопления заряда по сравнению с обычными конденсаторами.

Известно, что в городских условиях Ташкента перевозка пассажиров осуществляется в основном автобусами марки Мерседес-Бенс. На примере движения автобусов Мерседес-Бенс на определенном отрезке дороги города можно примерно оценить относительное значение заряда, накопленного на суперконденсаторе и напряжения на его обкладках.

Опытным путем определено, что через специальное приспособление для сборки электрического заряда проходит в дневное время в среднем один автобус за 4 с [9–11].

Введем обозначение $U/U_0 = K_u$ и $P_a/P_m = K_p$. Тогда формула (1) примет вид:

$$K_U = K_p e^{-t/r_0 C}. \quad (2)$$

Построим зависимости $K_U = f(t)$ при определенном значении коэффициента веса автомобиля $K_p = 1$.

Из графика на рис. 3. видно, что через условное время (равное 4 с) напряжение на обкладках суперконденсатора не доходит до нулевого значения и степень накопления заряда возрастает по мере прохождения времени.

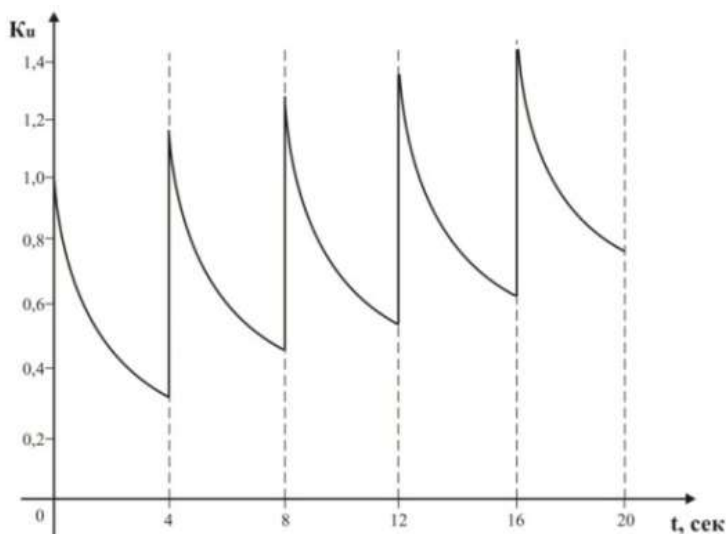


Рис. 3. Зависимость коэффициента накопления напряжения от времени

Следует учесть, что через полосы дорожного полотна проходят автомобили различной модификации и нагруженности. Кроме того, необходимо учитывать количество поперечного ряда дорожного полотна, что может существенно влиять на количестве накопленного заряда на суперконденсаторе. Поэтому в формуле (1) необходимо сделать следующее изменение:

$$U = U_0 e^{-t/r_0 C} \sum_{k=1}^n \left(\frac{P_{ak}}{P_{mk}} \right) \quad (3)$$

Произведем количественную оценку заряда и напряжения, накопленного на суперконденсаторе.

Положим, что к граням кварцевой пластинки, перпендикулярным к оси X , приложено механическое напряжение $F_{\text{мех}} = 1055 \text{ Н/м}^2$. Тогда, получаем следующую напряженность электрического поля $|E| = 5900 \text{ В/м} = 59 \text{ В/см}$. При толщине пластинки, скажем, $d = 0,5 \text{ см}$ напряжение между обкладками будет равно $U = Ed \sim 30 \text{ В}$.

Масса ненегруженного автобуса примерно 8000 кг, масса полностью нагруженного автобуса примерно 12000 кг.

Сила тяжести, действующая на переднюю часть автобуса составляет 50 % от максимальной силы тяжести.

На каждое колесо нагруженного полностью автобуса марки Мерседес-Бенс прилагается механическое напряжение $F_{\text{мех}} = 75000 \text{ Н/м}^2$.

Тогда, получаем следующую напряженность электрического поля $|E| = 419000 \text{ В/м} = 4190 \text{ В/см}$. При толщине пластинки $d = 0,5 \text{ см}$ напряжение между обкладками будет равно $U = Ed \sim 2095 \text{ В}$. Так как передние и задние колеса автобуса прилагают механическое напряжение на пьезоэлемент одновременно, то значение суммарного напряжения удвоится, то есть $U_{\text{вых}} = 2Ed \sim 4190 \text{ В}$. Однако из экономических соображений следует выбрать толщину пластинки, $d = 0,1 \text{ см}$, и тогда напряжение между обкладками будет равно $U = Ed \sim 420 \text{ В}$.

Это приспособление необходимо устанавливать через определенный промежуток расстояния в дорожном полотне автомобильной дороги. Если вместо суперконденсатора используются обычный конденсатор с емкостью $C = 3000 \text{ мкФ}$ и внутренним сопротивлением $r = 0,01 \text{ Ом}$, то относительное накопление напряжения существенно уменьшится. Расчеты показывают, что при использовании суперконденсатора в накопительной системе относительное значение накопленного напряжения превосходит примерно в 10^4 раз относительного напряжения при использовании обычного конденсатора за 12 секунд времени сначала отсчета времени.

Это показывает эффективность использования энергии деформации автомобильных дорог с помощью суперконденсаторов.

Разработанный подход к оптимизации накопления электрической энергии с использованием пьезоэлектрических элементов и интеллектуальных систем управления открывает новые перспективы для создания устойчивой и энергоэффективной инфраструктуры автомобильных дорог. Интеграция адаптивных алгоритмов управления позволяет значительно повысить эффективность накопительных систем, обеспечивая стабильное накопление и использование энергии даже при переменных условиях транспортного потока. Экономический анализ подтверждает целесообразность внедрения предложенной технологии в городских условиях, где высокая интенсивность движения способствует максимальной генерации энергии. Экологический эффект от применения технологии выражается в снижении зависимости от традиционных источников энергии и уменьшении углеродного следа. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку масштабируемых прототипов и их тестирование в реальных условиях эксплуатации, а также на изучение долговечности пьезоэлектрических материалов в составе дорожных покрытий, качественной подготовки специалистов в данной области [12; 13].

Литература

1. Денщиков, К. К. Предельные значения удельной мощности суперконденсаторов / К. К. Денщиков // ОИВТ РАН. – 2011. – С. 348–351.
2. Основные характеристики суперконденсаторов / К. К. Денщиков, А. З. Жук, А. Ф. Герасимов [и др.] // Известия РАН. Серия : Энергетика. – 2011. – № 5. – С.125–131.
3. Способ получения электроэнергии от ветра проезжающих транспортных средств / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергганов, О. М. Кутбидинов, [и др.] // Universum: технические науки. – 2022. – № 11-3 (104). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14603> (дата обращения: 11.04.2025).
4. Ahmedov, A. P. The method of obtaining electrical energy from the wind in the windy areas of the republic of Uzbekistan / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov // International Journal of Advanced Research in Education, Technology and Management. – 2023. – V.2, № 4. – P. 208–217.
5. Определения спелости и сбор урожая дыни с помощью роботов с искусственным интеллектом / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергганов, У. Н. Бердияров [и др.] // Technical science research in Uzbekistan. – 2024. – № 2(2). – С. 52–57.
6. Abduraxmon, A. P. Cumulative generation of electricity from the wind of passing vehicles and natural wind in the Bukhara region of the Republic of Uzbekistan / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov // E3S Web Conf. – 2023. – Vol. 461. – P. 01073. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/98/e3sconf_rses23_01073/e3sconf_rses23_01073.html (дата обращения: 12.03.2025).
7. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / A. P. Akhmedov, G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 04020. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/40/e3sconf_conmechhydro2021_04020/e3sconf_conmechhydro2021_04020.html (дата обращения 15.05.2025).
8. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы Республиканской научно-технической конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорусский национальный технический университет [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 181–184.
9. Ахмедов, А. П. Ионизатор воздуха для автомобилей / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергганов // Точная наука. – 2018. – № 24. – С. 10–12.
10. Akhmedov, A. P. Method for wireless transmission of electric power for supplying electric car / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, U. N. Berdiyoyrov // Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. – 2022. – Vol. 10, № 1. – P. 109–113.

11. Digital technologies in the educational space / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk, A. P. Akhmedov [и др.] // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы II Республиканской научно-технической конференции, 28–29 апреля 2022 г. / Белорус. национальный технический ун-т [и др.]; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 389–393.

12. Studying the magnetic field of a multilayer solenoid in the laboratory physics workshop / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk, A. P. Akhmedov [и др.] // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы республиканской научно-технической конференции, 20–21 мая 2021 г. / редкол. : С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 176–180.

13. Akhmedov, A. P. Using solar panels to recharge car battery / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы II Республиканской научно-технической конференции, 28–29 апреля 2022 г. / Белорус. национальный технический ун-т [и др.]; редкол. : С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 433–437.

УДК 620.130

Определение свойств объектов с использованием магнитных носителей

Павлюченко В. В., Зыков Г. Л., Дорошевич Е. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены зависимости $U(t)$ электрического напряжения датчика от времени, соответствующие остаточным распределениям намагниченности сплошных и дискретных магнитных носителей (МН) при воздействии на них с металлическим объектом магнитными полями приставных намагничивающих устройств в виде электромагнитов и постоянных магнитов. Построены зависимости $U(t)$, соответствующие распределениям по координате x , позволяющие повысить точность определения структурных и магнитных свойств объекта за счет учета взаимного влияния МН друг на друга.

Известны многочисленные работы использования магнитного носителя (МН) для контроля дефектов сплошности в разных металлических объектах. Так, в [1; 2] произведен расчет распределений остаточных магнитных полей

при гистерезисной интерференции в импульсном магнитном поле для магнитного носителя с указанными свойствами, а в [3] осуществлен контроль объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях с использованием магнитного носителя. Контроль дефектов в металлах в указанных полях может быть осуществлен с помощью пленочных флюкс-детекторов [4]. Для увеличения производительности и точности контроля гистерезисная интерференция была проведена с помощью перемещаемого линейного индуктора [5]. На начальной стадии изучения взаимодействие импульсных электромагнитных полей с поверхностями металлических образцов описано в [6]. Гистерезисная интерференция полей дефектов получена в [7]. При выполнении работы учтены результаты контроля свойств материалов и изделий, изложенные в [8–17].

Целью работы является повышение точности определения дефектов сплошности объекта при его контроле несколькими МН.

Результаты измерений представлены на рис. 1, 2. На рис. 1 показана зависимость $U(t)$ электрического напряжения U от времени t при сканировании дискретного МН индукционной магнитной головкой.

Измерения проведены вблизи поверхности объекта из оцинкованной жести толщиной 1 мм, в которой создан искусственный дефект диаметром 10 мм. Источником магнитного поля являлся П-образный электромагнит (и постоянный магнит) с базой 56 мм, который обеспечивал величину горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля на оси симметрии около $H_t = 100$ А/см. между объектом и источником поля располагали лист из алюминия толщиной 0,5 мм. Измерения проводили в прошедшем поле. Из рис. 1 следует, что амплитуда импульсов от краев магнитных полос дискретного МН изменяется в пределах от 0,002 В до 0,007 В. Края дефекта диаметром 10 мм соответствуют времени развертки $t = 0,0025$ с и $t = 0,0032$ с.

На рис. 2 показана зависимость $U(t)$ электрического напряжения U от времени t , полученная при сканировании сплошного МН индукционной магнитной головкой. В момент записи распределения магнитного поля к сплошному МН был приложен дискретный магнитный носитель, результаты считывания с которого показаны на рис. 1.

Края дефекта диаметром 10 мм на рис. 2 соответствуют времени развертки $t = 0,0067$ с и $t = 0,0074$ с.

На рис. 2 между изображениями краев дефекта видны сигналы от краев полос дискретного МН, при записи поля прижатого к сплошному магнитному носителю. Их амплитуда находится в пределах от 0,001 В до 0,0025 В. Как было получено при измерениях в отсутствие объекта, так и с объектом при использовании двух указанных датчиков магнитного поля и одновременном нахождении распределений напряженности магнитного поля и его производной по времени следует учитывать искажения сигнала, вносимые дискретным

магнитным носителем. Из рис. 2 следует, что вне дефекта диаметром 10 мм поле не прошло насквозь через объект: при $t \leq 0,0067$ с и $t \geq 0,0074$ с сигнал, считываемый с индукционной магнитной головки, близок к нулю.

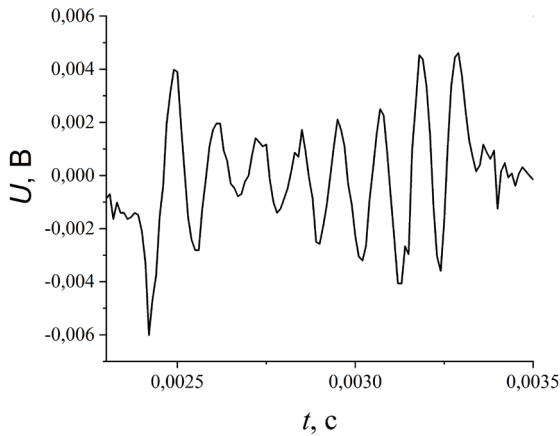


Рис. 1. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для сплошного МН

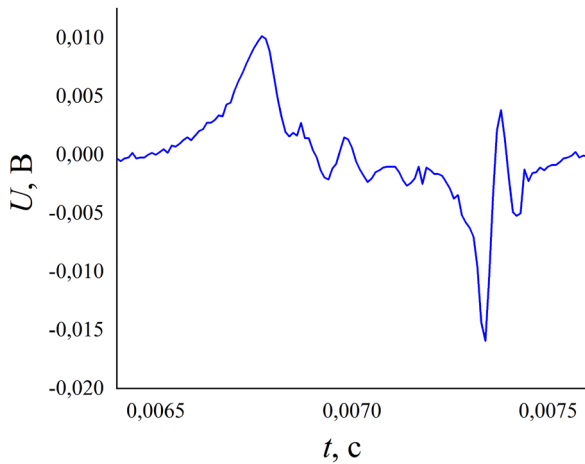


Рис. 2. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для дискретного МН

Использование двухслойного магнитного носителя, содержащего сплошной слой и дискретный слой, позволяет повысить точность измерений и производительность контроля объектов за счет анализа информации, поступающей с записи сплошного МН и отдельно поступающей информации с дискретного МН с учетом способов выделения сигналов дифференциального фона, записанного на магнитном носителе и использованных в работах авторов [2; 3; 5].

Литература

1. Pavlyuchenko, V.V. Calculation of residual magnetic-field distributions upon hysteretic interference of a pulsed magnetic field / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.
2. Pavlyuchenko, V. V. Calculating Distributions of Pulsed Magnetic Fields under Hysteretic Interference Russian Journal of Nondestructive Testing / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, № 2. – P. 121–127.
3. Павлюченко, В. В. Использование магнитного гистерезиса при контроле объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2013. – № 6. – С. 53–68.
4. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Discontinuities in Metals Using Film Flux / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 1. – P. 48–58.
5. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1, – С. 51–60.
6. Павлюченко, В. В. Взаимодействие импульсных электромагнитных полей с поверхностями металлических образцов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Вестник БНТУ. – 2006. – № 4. – С. 89–95.
7. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция полей дефектов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2025. – № 2. – С. 28–37.
8. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Минск : Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
9. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М. : Машиностроение, 1966. – 176 с.
10. Михайлов, С. П. Физические основы магнитографической дефектоскопии / С. П. Михайлов, В. Е. Щербинин. – М. : Наука, 1992. – 238 с.

11. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихре-токовым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
12. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционный интроскоп для дефектоскопии металлических объектов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 56 – 62.
13. Мужичкий, В. Ф. Модель поверхностного дефекта и расчет топографии его магнитостатического поля / В. Ф Мужичкий // Дефектоскопия. – 1987. – № 3. – С. 24 – 30.
14. Шлеенков, А. С. Определение геометрических параметров дефектов по восстановленному магнитному полю рассеяния. / А. С. Шлеенков // Дефектоскопия. – 1991. – № 10. – С. 49–55.
15. Щербинин, В. Е. Поля дефектов на внутренней и наружной поверхности труб при циркулярном намагничивании / В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1972. – № 2. – С. 11.
16. Печенков, А. Н. Вихревые токи и поля проводящих и намагничивающихся шаровых включений в немагнитную среду / А. Н. Печенков, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 2016. – № 4. – С. 48–55.
17. Новослугина, А. П. Расчетный способ оценки параметров дефектов в стали / А. П. Новослугина, Я. Г. Смородинский // Дефектоскопия. – 2017. – № 11 – С. 13–19.

Павлюченко В. В., Зыков Г. Л., Дорошевич Е. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены зависимости электрического напряжения датчика от времени $U(t)$, соответствующие остаточным распределениям намагниченности сплошных и дискретных магнитных носителей (МН) при воздействии на них магнитными полями приставных намагничивающих устройств в виде электромагнитов и постоянных магнитов. Построены зависимости $U(t)$, соответствующие распределениям по координате x , позволяющие повысить точность определения структурных и магнитных свойств объекта за счет учета взаимного влияния МН друг на друга.

Применение магнитного носителя для определения электрических и магнитных свойств металлических объектов и дефектов сплошности в них рассмотрено в ряде экспериментальных и теоретических работ.

Расчеты распределений импульсных магнитных полей вблизи электропроводящих объектов приведены в [1], а в [2; 3] показано использование соответственно пленочных флюкс-детекторов и магнитного гистерезиса для контроля электропроводящих объектов в импульсных магнитных полях. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора [4] позволяет повысить производительность контроля объектов. Расчеты остаточных магнитных полей [5] повышают точность контроля свойств электропроводящих объектов. Дифференциальный фон электрического сигнала, снимаемого с индукционной головки [6] и позволяющий выделять сигналы, обусловленные различными причинами, учитывался при всех измерениях с записью на магнитный носитель. Контроль дефектов в металлах с использованием пленочных флюкс-детекторов [7] позволяет определять качество объектов в реальном режиме времени. Отметим также более раннюю работу [8], использованную при выполнении представленной экспериментальной работы. Гистерезисная интерференция полей дефектов получена авторами в [9]. В данной работе были учтены также результаты, описанные в [10–17].

Целью работы является определение магнитных свойств объектов и дефектов сплошности в них при одновременной записи распределений магнитных полей на несколько магнитных носителей, что может повысить точность контроля.

Результаты работы представлены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 показана зависимость электрического напряжения $U(t)$, снимаемого с индукционной магнитной головки, от времени t для дискретного

магнитного носителя, состоящего из параллельных полос МН, установленных друг от друга на расстоянии порядка их ширины [3]. Сигнал $U(t)$ от края каждой магнитной полосы прямо пропорционален величине напряженности магнитного поля. Измерения проведены в отсутствие ферромагнитных объектов. Источником магнитного поля являлся П-образный электромагнит (и постоянный магнит) с базой 56 мм, который в отсутствие указанных объектов обеспечивал величину горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля на оси симметрии около $H_t = 100$ А/см. Как видно из рис. 1, амплитуда двухполярного импульса составляет 0,04 В с отклонением до 0,033 В при $t = 0,0027$ с, обусловленным свойствами участка дискретного МН.

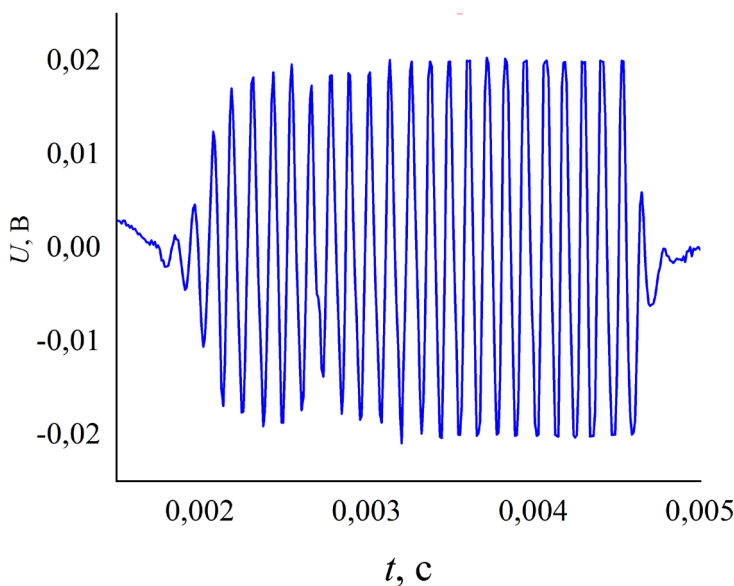


Рис. 1. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для дискретного МН

Свойства применяемого магнитного носителя найдены нами ранее в [9]. Зависимость $U(t)$, показанная на рис. 1, получена при одновременной записи напряженности магнитного на сплошной и дискретный магнитные носители, расстояние между которыми составляло 0,05 мм.

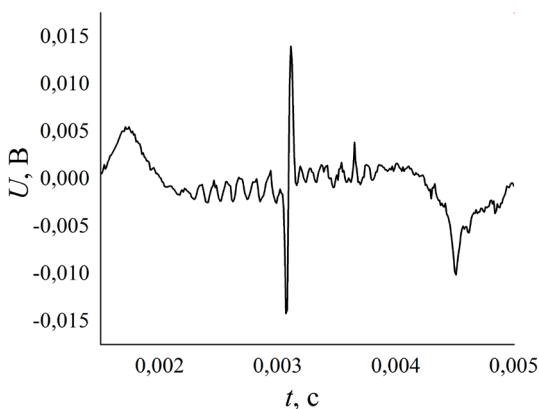


Рис.2. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для сплошного МН

На рис. 2 показана зависимость напряжения $U(t)$, полученная для сплошного МН. В данном случае величина сигнала пропорциональна производной напряженности измеряемого магнитного поля. Максимум при $t = 0,0018$ с и минимум при $t = 0,0045$ с сигналов соответствуют краям сплошного магнитного носителя шириной 35 мм. Двухполярный сигнал (от $-0,015$ В до $0,013$ В) соответствует искусственному дефекту сплошного МН, который использован в качестве метки. На рис. 2 с обеих сторон от метки видны сигналы от краев полос дискретного МН, прижатого к сплошному магнитному носителю. Их амплитуда составляет порядка $0,002$ В. Отсюда следует, что при одновременном нахождении распределений напряженности магнитного поля и его производной по времени (точнее при сканировании МН магнитной головкой по координате x) следует учитывать искажения сигнала, вносимые дискретным магнитным носителем. В то же время использование сплошного и дискретного носителя одновременно позволяет повысить точность измерений и производительность контроля объектов за счет совместного анализа разной информации, поступающей с записи МН, с использованием методики выделения сигналов, представленной в [6], а также результатов определения магнитных полей с применением перемещаемого линейного индуктора [4] и гистерезисной интерференции полей дефектов [8].

Литература

1. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko,

E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russ. J. Nondetr. Test. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.

2. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russ. J. Nondetr. Test. – 2018 – Vol. 54, № 1. – P. 70–76.

3. Pavlyuchenko V. V. Using magnetic hysteresis for testing electroconductive objects in pulsed magnetic fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russ. J. Nondetr. Test. – 2013. – Vol. 49, № 6. – P. 334–346.

4. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1, – С. 51–60.

5. Pavlyuchenko, V. V. Calculation of residual magnetic-field distributions upon hysteretic interference of a pulsed magnetic field / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.

6. Pavlyuchenko, V. V. Differential Background of Electric Signal Readfrom an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.

7. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Discontinuities in Metals Using Film Flux / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, № 1. – P. 48–58.

8. Павлюченко, В. В. Взаимодействие импульсных электромагнитных полей с поверхностями металлических образцов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Вестник БНТУ. – 2006. – № 4. – С. 89–95.

9. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция полей дефектов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2025. – № 2. – С. 28–37.

10. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Минск : Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.

11. Павагин, В. А. Идентификация кольцевых сварных швов на магнитограммах дефектоскопов поперечного намагничивания / В. А. Павагин, А. Ф. Матвиенко // Дефектоскопия. – 2009. – № 8. – С. 13–18.

12. Оценка возможности обнаружения микродефектов сварных соединений прямошовных электросварных труб, изготовленных стыковой высокочастотной сваркой, магнитным методом контроля / А. С. Шлеенков, В. Г. Бычков, О. А. Булычев [и др.] // Дефектоскопия. – 2010. – № 2. – С. 23–29.

13. Печенков, А. Н. Вихревые токи и поля проводящих и намагничивающихся шаровых включений в немагнитную среду / А. Н. Печенков, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 2016. – № 4. – С. 48–55.

14. Шлеенков, А. С. Определение геометрических параметров дефектов по восстановленному магнитному полю рассеяния. / А. С. Шлеенков // Дефектоскопия. – 1991 – № 10. – С. 49–55.

15. Щербинин, В. Е. Поля дефектов на внутренней и наружной поверхности труб при циркулярном намагничивании / В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1972. – № 2. – С. 11.

16. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихревым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.

17. Новослугина, А. П. Расчетный способ оценки параметров дефектов в стали / А. П. Новослугина, Я. Г. Смородинский // Дефектоскопия. – 2017. – № 11 – С. 13–19.

УДК 620.130

Контроль свойств объектов в прошедшем магнитном поле движущегося источника

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены зависимости электрического напряжения датчика от времени $U(t)$, соответствующие остаточным распределениям намагниченности магнитных носителей (МН) при воздействии на них магнитными полями приставных намагничивающих устройств в виде электромагнитов и постоянных магнитов при разных скоростях движения источников поля относительно металлических объектов в разных направлениях. Построены зависимости $U(t)$ соответствующие распределениям по координате x , позволяющие повысить точность определения структурных и магнитных свойств объекта и производительность контроля при движении источников поля относительно контролируемого объекта.

Контроль дефектов сплошности в ферромагнитных, парамагнитных и диамагнитных металлах с помощью магнитного носителя (МН) и флюкс-детекторов в приложенном и прошедшем поле изучен ранее авторами. Так, в [1] представлены результаты изучения распределений полей дефектов в импульсном магнитном поле в прошедшей волне, а в [2] описано определение дефектов сплошности в металлах с использованием флюкс-детекторов. Параметры сигналов полей дефектов зависят от магнитных и электрических свойств объектов, которые могут быть определены на основании результатов, изложенных в [3]. Выделение сигналов, записанных на

магнитном носителе распределений магнитных полей и полученных с помощью индукционной магнитной головки (МГ), осуществляли с учетом [4], где описан дифференциальный фон электрического сигнала, снимаемого с МГ, сканирующей МН. При разработке методов контроля авторами также учтены основы магнитографической дефектоскопии, изложенные в [5–7] и контроль дефектов вихретоковым методом [8; 9]. В данной работе использованы также методы расчетов и измерений, описанные в работах авторов [10–12] и результаты, полученные в [13–16]. При анализе методов контроля с помощью МН в прошедшем поле возникает вопрос, как надо повысить возможности контроля при движении источника магнитного поля относительно контролируемого объекта.

Целью работы является определение влияния скорости движения источника магнитного поля относительно ферромагнитного объекта и его направления на результаты контроля магнитных свойств и дефектов объекта с использованием МН в прошедшем поле. Результаты измерений представлены на рис. 1, 2. На обоих рисунках изображены зависимости $U(t)$ электрического напряжения U от времени t при сканировании одного и того же дискретного магнитного носителя индукционной магнитной головкой при разных условиях записи информации на МН.

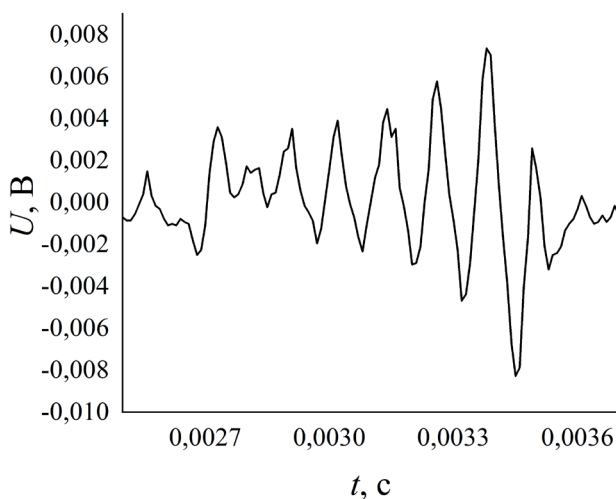


Рис. 1. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для дискретного МН и неподвижного источника поля

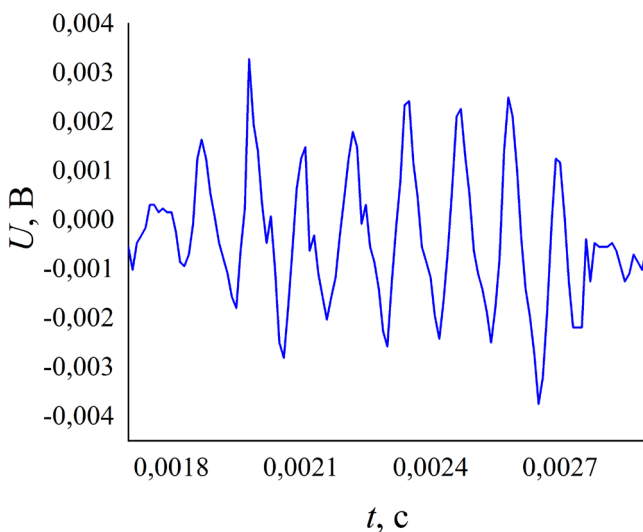


Рис. 2. Зависимость напряжения $U(t)$ от времени для дискретного МН и движущегося источника поля

На рис. 1 показана зависимость $U(t)$ при сканировании дискретного МН индукционной магнитной головкой, полученная для неподвижного источника поля.

Источниками магнитного поля являлись П-образные приставные электромагниты и постоянные магниты. В качестве объекта использовали лист из оцинкованной жести толщиной 1 мм, в которой создали искусственный дефект диаметром 10 мм. Между объектом и источником поля располагали лист из алюминия толщиной 2 мм. Измерения проводили в прошедшем поле.

Из рис. 1 следует, что амплитуда импульсов от краев магнитных полос дискретного МН изменяется в пределах от 0,002 В до 0,015 В. Края дефекта диаметром 10 мм соответствуют времени развертки $t = 0,0027$ с и $t = 0,0035$ с. Отметим, что такое различие сигналов от краев дефекта обусловлено, тем, что ось магнита сдвинута по отношению к оси дефекта на 5 мм.

На рис. 2 показана зависимость $U(t)$ электрического напряжения U от времени t , полученная при сканировании дискретного МН индукционной магнитной головкой для случая движения источника поля относительно объекта со скоростью около 10 м/с. Края дефекта диаметром 10 мм на рис. 2 соответствуют времени развертки $t = 0,0019$ с и $t = 0,0027$ с.

Их амплитуда находится в пределах от 0,002 В до 0,006 В. Из сравнения рис. 1, 2 следует, что средняя амплитуда импульсов для движущегося источника меньше средней амплитуды для неподвижного источника примерно в 1,5 раза. Таким образом, используя движущейся источник поля, можно не только ускорять процесс контроля во много раз, но и получать дополнительную информацию о наличии дефектов в материале объекта и его толщине. При этом определение свойств объектов можно проводить при наличии преград, не позволяющих наблюдать объекты через оптически непрозрачные преграды, например, пластиковые, деревянные, металлические и другие преграды.

Литература

1. Pavlyuchenko, V.V. Testing for Defects in Pulsed Magnetic Field Transmitted Through Metal / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 856–864.
2. Pavlyuchenko, V. V. Testing for Discontinuities in Metals Using Film Flux / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2019. – Vol. 55, № 1. – P. 48–58.
3. Pavlyuchenko, V. V. Pulsed Magnetic Field near Metal Surface/ V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – Vol. 58, № 11. – P. 983–991.
4. Pavlyuchenko, V. V. Differential Background of Electric Signal Read from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, № 8. – P. 706–716.
5. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Минск : Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
6. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М. : Машиностроение, 1966. – 176 с.
7. Михайлов, С. П. Физические основы магнитографической дефектоскопии / С. П. Михайлов, В. Е. Щербинин. – М. : Наука, 1992. – 238 с.
8. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихревым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
9. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционный интроскоп для дефектоскопии металлических объектов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 56–62.
10. Pavlyuchenko, V. V. Calculating Distributions of Pulsed Magnetic Fields under Hysteretic Interference Russian Journal of Nondestructive Testing / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, № 2. – P. 121–127.

11. Павлюченко, В. В. Использование магнитного гистерезиса при контроле объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2013. – № 6. – С. 53–68.

12. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция полей дефектов / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2025. – № 2. – С. 28–37.

13. Мужичкий, В. Ф. Модель поверхностного дефекта и расчет топографии его магнитостатического поля / В. Ф. Мужичкий // Дефектоскопия. – 1987 – № 3. – С. 24–30.

14. Шлеенков, А. С. Определение геометрических параметров дефектов по восстановленному магнитному полю рассеяния / А. С. Шлеенков // Дефектоскопия. – 1991 – №10. – С. 49–55.

15. Печенков, А. Н. Вихревые токи и поля проводящих и намагничивающихся шаровых включений в немагнитную среду / А. Н. Печенков, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 2016. – № 4. – С. 48–55.

16. Новослугина, А. П. Расчетный способ оценки параметров дефектов в стали / А. П. Новослугина, Я. Г. Смородинский // Дефектоскопия. – 2017. – № 11. – С. 13–19.

УДК 53.09

Изучение явления фотопроводимости в фуллеритах

Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для автоматического управления электрическими цепями с помощью световых сигналов применяются кристаллы, которые изменяют свое электрическое сопротивление под действием света. К числу наиболее перспективных материалов, используемых в качестве эффективных электронно-оптических устройств, относятся фуллериты [1]. Фуллеритами называют кристаллические фазы, состоящие из фуллеренов (углеродных соединений с четным, более 20, количеством атомов углерода).

Чистые фуллериты и их смеси с другими веществами являются полупроводниками с шириной запрещенной зоны 1,50–1,95 эВ. Это означает что при облучении обычным видимым светом их электрическое сопротивление уменьшается. При этом квантовый выход по отношению к образованию электронно-дырочных пар составляет 0,9. Иначе говоря, каждые 10 падающих фотонов в среднем рожают 9 электронов. С этой точки зрения такие материалы являются лучшими в ряду органических фотопроводящих материалов.

Основным параметром при определении фотоэлектрических свойств веществ является ширина запрещенной зоны ΔE – энергетический интервал между потолком валентной зоны и дном зоны проводимости [2].

Если энергия фотонов равна или больше ширины запрещенной зоны, электроны могут быть переброшены из валентной зоны в зону проводимости, что приведет к появлению добавочных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне. Такое поглощение полупроводником кванта оптического излучения называется собственным. Если под действием оптического излучения электрон переходит с примесных уровней в зону проводимости или из валентной зоны на примесный уровень, то поглощение называется примесным. Из-за процессов поглощения интенсивность проходящего через кристалл излучения уменьшается по экспоненциальному закону. Коэффициент поглощения зависит от частоты излучения. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фотонов или от длины волны проходящего через кристалл света называется спектром поглощения. Спектр поглощения полупроводников состоит из области собственного и области примесного поглощения. Собственная полоса поглощения простирается от очень малых длин волн и имеет четко выраженную границу. Эта граница соответствует минимальной энергии фотона, который может перевести электрон в зону проводимости.

Именно на определении границы полосы поглощения и основана предлагаемая нами методика определения студентами ширины запрещенной зоны полупроводниковых материалов в ходе выполнения лабораторной работы.

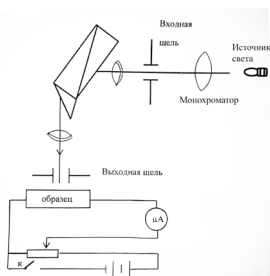


Рис. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис.) состоит из источника света с широкополосным спектром излучения, дисперсионного монохроматора, фокусирующей оптической системы и электрической цепи в которой в качестве резистора используется полупроводниковый кристалл.

Для градуировки монохроматора используется ртутно-кадмиевая лампа. Длина волны падающего на полупроводник света уменьшается при помощи монохроматора до тех пор, пока не будет зафиксировано резкое увеличение тока в электрической цепи.

Зафиксировав длину волны λ , при которой уменьшается фотосопротивление полупроводника из соотношения:

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda},$$

можно найти ширину запрещенной зоны полупроводника. В качестве экспериментальных образцов могут быть использованы фуллериты C_{60} и фосфид галлия.

Литература

1. Сидоров, Л. Н. Фуллерены / Л. Н. Сидоров, М. А. Юровская, А. Я. Борщевский. – М. : Экзамен, 2005. – 687 с.
2. Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор; пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля. – М. : Мир, 1988. – 608 с.

УДК 538.941

Исследование магнетокалорического эффекта в манганитах

Бердиев У. Т.¹, Хасанов Ф. Ф.¹, Каршиев К. Т.¹, Сулаймонов У. Б.¹,
Митюк В. И.²

¹Ташкентский Государственный транспортный университет

Ташкент, Республика Узбекистан,

²НПЦ НАН Беларуси по материаловедению

Минск, Республики Беларусь

В статье рассмотрены перспективы использования фазовых переходов и реализовать более широкий температурный рабочий интервал МКЭ. Анализ многочисленных экспериментальных данных показал, что получаемые сведения адиабатического изменения температуры и изотермическом изменении энтропии не всегда достоверны. Часто они принимаются значительной погрешностью для определения и измерения магнетокалорического эффекта при изменении магнитного поля в манганитах различного состава. В работе рассмотрены схемы для исследования магнетокалорического эффекта магнитных материалах. В схемах зоне, где магнитное поле отсутствует, рабочее тело размагничивается, вследствие чего температура рабочего тела снижается и ему передается теплота от источника теплоты – охлаждаемого тела. После установления равновесия температур цикл повторяется. Таких последовательностей, МКЭ обеспечивает работу магнитотеплового насоса, который «откачивает» тепло от охлаждаемого тела магнитного материала.

Задача создания компактного, экологически безопасного, энергетически эффективного и высоконадежного холодильника, работающего в диапазоне

комнатных температур, чрезвычайно актуальна в настоящее время. Это обусловлено целым рядом серьезных претензий к ныне действующим охлаждающим системам. Известно, в частности, что при эксплуатации используемых в настоящее время охлаждающих систем возможны утечки рабочих газов (хладагентов), вызывающих такие серьезные экологические проблемы как разрушение озонового слоя и глобальное потепление. Среди разнообразных альтернативных технологий, которые могли бы использоваться в холодильных устройствах, все большее внимание исследователей во всем мире привлекает технология магнитного охлаждения, основанная на магнетокалорическом эффекте (МКЭ) [1; 2].

В последнее время интенсивно исследуются перовскиты манганиты, которые, во-первых, позволяют варьировать температуру фазовых переходов в широкой области температур и, таким образом, реализовать более широкий температурный рабочий интервал МКЭ, а во-вторых, являются экономически выгодными [1]. Работ, посвященных исследованию манганитов различного состава и МКЭ в них достаточно много, однако в них практически отсутствует информация об адиабатическом измерении прямым методом температуры при изменении магнитного поля [1]. В [3] отмечено, что в манганитах $Ba-Ca-MnO_3$ наблюдается значительный МКЭ, однако их температура Кюри значительно ниже комнатной, что ограничивает возможность их применения в охлаждающих устройствах, работающих при комнатных температурах. Однако частичная замена Ca другими элементами с большим ионным радиусом, такими как Ba , $8g$, Pb и т. д. ляжет увеличить температуру Кюри и сохранить высокие значения МКЭ. В работе [4; 5], посвященной исследованию магнитных и магнетокалорических свойств магнитных материалов, было показано, что в указанных манганитах наблюдается значительный МКЭ и их температуры Кюри находятся вблизи комнатных температур. Однако, изотермическое изменение энтропии было получено не прямым методом, а из данных зависимости намагниченности от температуры и магнитного поля с помощью термодинамического соотношения Максвелла. Анализ многочисленных экспериментальных данных показал, что получаемые косвенным методом сведения о величинах адиабатического изменения температуры и изотермическом изменении энтропии далеко не всегда достаточно достоверны. Часто эти данные отягощены значительной погрешностью [2; 6]. Таким образом, по-прежнему актуальным является вопрос об измерении магнетокалорического эффекта прямым методом при изменении магнитного поля в манганитах различного состава. Наличие большого количества экспериментальных работ по исследованию фазовых переходов и МКЭ в манганитах лантана, приводит к необходимости анализа экспериментальных результатов с помощью различных теоретических моделей [7; 9]. На сегодняшний день в научной печати имеется

большое число работ, в которых обсуждаются теоретические модели, позволяющие описать фазовые переходы и МКЭ в различных магнитных материалах, однако теоретические работы, позволяющие описывать МКЭ в манганитах лантана, практически отсутствуют. Рассчитанные на основе теоретических моделей магнетокалорические свойства исследуемых систем позволяют предсказать новые перспективные композиционные составы манганитов, которые могут иметь в будущем большое практическое значение при создании рабочего тела в устройствах магнитного охлаждения. Еще одной актуальной задачей в технологии магнитного охлаждения является анализ процессов теплопереноса в ячейках охлаждающих устройств, в которых в качестве рабочего тела используются материалы с МКЭ, в частности, манганиты. Для последних материалов до сих пор не проводился теоретический анализ времен температурной релаксации, а также не обсуждались способы увеличения эффективности магнитных материалов [8].

Эффективность магнитного охлаждения зависит не только от величины МКЭ, но и от величины теплоемкости и величины изменения магнитной части энтропии при действии магнитного поля. Большую роль играет здесь также величина решеточной части энтропии S_p , которая сильно возрастает при нагревании, вследствие чего магнитные охладители, использующие в качестве рабочих тел парамагнетики, являются неэффективными при $T > 20$ К. При повышенных температурах более эффективными в качестве рабочих тел являются магнитоупорядоченные вещества, в которых возникают большие МКЭ в области магнитных фазовых переходов. В последние годы проявляется интерес к созданию новых типов магнитных холодильных машин (МХМ), основанных на использовании МКЭ. Схема магнитной холодильной машины представлена на рис. При этом в качестве рабочих тел предлагается использовать редкоземельные магнетики, сплавы Гейслера, арсенид марганца $MnAs$, соединения $Gd_5(Si_2Ge_2)$, RCo_2 , $La(Fe, Si)_{13}$ и др., обладающие большим МКЭ и изменением магнитной энтропии в удобных для работы таких машин интервалах температур [9; 10].

В одной из конструкций МХМ твердое рабочее тело-магнетик циклически перемещается между приемником и источником теплоты (охлажденным телом). В зоне сильного магнитного поля рабочее тело изотермически намагничивается, а теплота, которая выделяется в рабочем теле вследствие МКЭ, передается приемнику теплоты. В зоне, где магнитное поле отсутствует, рабочее тело размагничивается, вследствие чего температура рабочего тела снижается и ему передается теплота от источника теплоты – охлаждаемого тела. После установления равновесия цикл повторяется.

Таким образом, МКЭ обеспечивает работу магнитотеплового насоса, который «откачивает» тепло от охлаждаемого тела. Другой перспективной моделью магнитной холодильной машиной является устройство, где через

область, в которой создано сильное магнитное поле, производится прокатка жидкости с наполнителем в виде магнитных частиц с большим МКЭ.

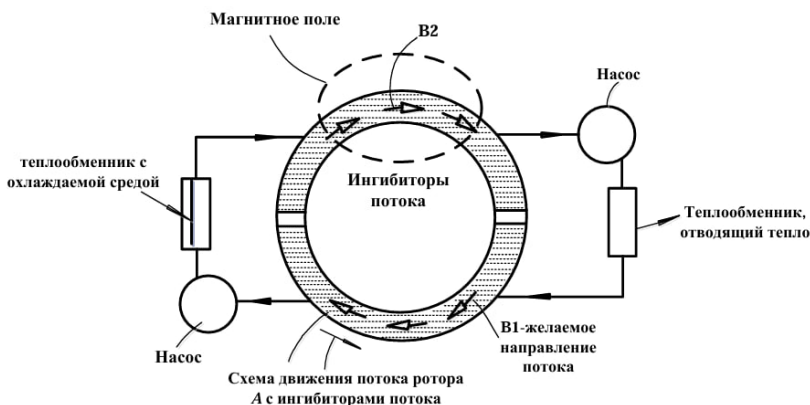


Рис. Схема магнитной холодильной машины

Литература

1. Gschneidner, K. A. Magnetocaloric Materials / K. A. Gschneidner, V. K. Pecharsky // *Annu. Rev. Mater. Sci.* – 2000. – Vol. 30. – P. 387–429.
2. Phan, Manh-Huong. Review of the magnetocaloric effect in manganite materials / Manli-Huong Phan, Seong-Cho Yu // *J. Magn. Mater.* – 2007. – Vol. 308. – P. 325–340.
3. Magnetic and magnetocaloric properties of $\text{LaO.TBa-Cao.s-xMnOj}$ compounds / M. H. Phan, S. B. Tian, S. C. Yu, A. N. Ulyanov // *J. Magn. Mater.* – 2003. – Vol. 256. – P. 306–310.
4. Competition between the double exchange and charge ordering interactions in the bandwidth controlled $(\text{LaNd})_{0.9}\text{Na}_{0.2}\text{MnO}_3$ manganites / Z. Q. Lia, H. Liua, X. D. Liua [et al.] // *Physica B.* – 2004. – Vol. 351. – P. 114–120.
5. Ebert, H. Calculating condensed matter properties using the KKR-Green's function method – recent developments and applications / H. Ebert, D. Ködderitzsch, J. Minar // *Rep. Prog. Phys.* – 2011. – Vol. 74. – P. 096501–48.
6. Berdiyev, U. Problems and tasks of creating energy-saving electric machines / U. Berdiyev, U. Berdiyev, M. Toshpulatova // *AIP Conf. Proceedings*, June 2022. – Vol. 2432 (1). – P. 020002. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2432/1/020002/2822994/Problems-and-tasks-of-creating-energy-saving?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения 12.04.2025).

7. Optimization of the method of oxide coating of metallic iron powder particles / U. Berdiyev, O. Demedenko, M. Ashurov [et al.] // E3S Web Conf. – 2023. – Vol. 383. – P. 04039. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/20/e3sconf_tt21c2023_04039/e3sconf_tt21c2023_04039.html (дата обращения 13.04.2025).

8. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / A. P. Akhmedov, A., G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 04020. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/40/e3sconf_conmechhydro2021_04020/e3sconf_conmechhydro2021_04020.html (дата обращения 15.05.2025).

9. Магнитокалорический эффект в соединениях $GdMn1-xTxSi$ ($T = Ti, Fe, Co$) / С. А. Никитин, Ю. А. Овченкова, М. Е. Блинова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2022. – № 4. – С. 47–53.

10. Soft magnetic materials for electric machine construction / U. T. Berdiyev, A. K. Vetcher, F. F. Hasanov [et al.] // AIP Conf. Proc. – 2023. – Vol. 2612 (1). – P. 050014. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2612/1/050014/2879774/Soft-magnetic-materials-for-electric-machine?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения 10.04.2025).

УДК 629.423.31

Рациональный алгоритм снижения потерь мощности в тяговом асинхронном приводе магистральных локомотивов

Иксар Е. В., Каюмов С. Н.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматриваются вопросы улучшения тягово-энергетических показателей магистральных локомотивов за счет более полного использования возможностей гибкого микропроцессорного управления и рационального алгоритма, обеспечивающего снижение электрических потерь в тяговом асинхронном приводе во всем диапазоне рабочей мощности.

К основным тягово-энергетическим показателям локомотивов, наряду с силой тяги в продолжительном режиме и сцепной массой относятся такие важные параметры, как осевая мощность и потери энергии во всем диапазоне скоростей и нагрузок [1–3]. На основании опыта промышленно разви-

тых стран и исследований, можно сделать вывод, что наиболее предпочтительным для перспективных локомотивов является привод с использованием тяговых асинхронных двигателей (ТАД). Данный тип двигателей позволяет наиболее полно использовать сцепную массу локомотива по сравнению с коллекторными тяговыми двигателями [4–6]. За счет отсутствия коллектора обеспечивает возможность увеличения активной длины ротора и высокую надежность, что дает возможность реализовать повышенную осевую мощность. Улучшение показателей тягового электропривода возможно при условии создания системы автоматического регулирования тягового электропривода, обеспечивающего реализацию всех тяговых и энергетических характеристик локомотива, достижимых за счет применения прогрессивных тяговых электрических двигателей (ТЭД) трехфазного тока. Немаловажным является возможная разработка использования, в частности для автотр поездов [7], а также высокотехнологичных современных материалов [8] для улучшения характеристик энергообеспечения.

В каждой зоне тяговой характеристики к тяговому электроприводу предъявляются разные требования. В первой необходимо поддержанием максимально возможного момента по условиям сцепления, которые постоянно меняются в зависимости от различных факторов, как внешних, так и внутренних. Суммарное время работы в этой зоне не велико по сравнению со второй зоной. Главным же показателем эффективности работы в этой зоне является быстрота управления $M_{эм}$ ТЭД в зависимости от изменения условий сцепления. Основным критерием работы тягового привода локомотива в первой зоне является поддержания постоянства момента и повышенная жесткость характеристик тяговых двигателей. Для набора скорости в локомотивах со ступенчатым регулированием напряжения, подаваемого на ТЭД, машинист постепенно переводит рукоятку контроллера (выполняет переходы с одной позиции на другую), при этом момент перевода рукоятки в новую позицию машинист выбирает таким образом, чтобы не допустить значительного скачка тока и силы тяги, а также превышения некоторой предельной величины $f_{к. max}$. В каждой зоне тяговой характеристики. К тяговому электроприводу предъявляются разные требования. В первой зоне, необходимо поддержание максимально возможного момента по условиям сцепления, которые постоянно меняются в зависимости от различных факторов, как внешних, так и внутренних. Тяговая характеристика с возможными ограничениями силы тяги выглядит следующим образом (на примере электровоза переменного тока) (рис. 1). Для определенной позиции контроллера (схемы соединения ТЭД, ступени напряжения трансформатора, ступени ослабления магнитного поля) задаются несколькими значениями тока двигателя от минимального значения $I_{д. min}$ до максимального $I_{д. max}$. по электро-

механической характеристике для данной позиции и каждого заданного значения тока $I_{д. i}$ определяют скорость движения V_i и касательную силу тяги, развиваемую одним двигателем $f_{кд. i}$. Определенные значения $f_{кд. i}$ умножают на количество ТЭД локомотива n и получают значения касательной силы тяги, развиваемой локомотивом $f_{к. i}$. Полученный набор значений ($f_{к. i}, V_i$) наносят на тяговую характеристику и соединяют плавной кривой. Аналогичным образом строят зависимость $f_{к. i}(V_i)$ для остальных позиций. На тяговую характеристику наносят значения силы тяги по условиям сцепления колес с рельсами, а также наносят ограничение силы тяги по току коммутации (пусковому току $I_{дп}$). Наибольший допустимый (максимальный) ток по коммутации при номинальном напряжении – ток, который при стендовых испытаниях не вызывает опасного для работы электродвигателя искрения под щетками [3]. В соответствии с ГОСТ 2582-81 установлен наибольший ток по коммутации для тяговых двигателей, равный их двойному часовому току. В эксплуатационных условиях наибольший ток по коммутации понижают до $(1,3-1,5) I_{дч}$ в связи с более тяжелыми условиями работы электродвигателей по сравнению с работой на стенде вследствие динамических воздействий, колебаний напряжения сети, повышенной влажности воздуха.

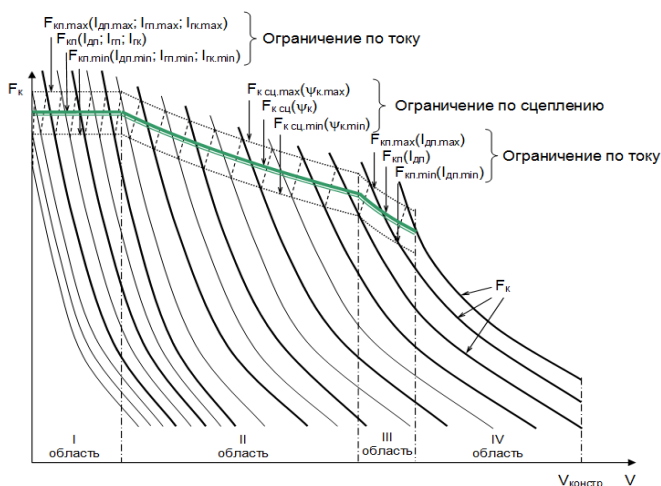


Рис. 1. Обобщенный вид тяговой характеристики:

- — пусковые (маневровые и переходные) позиции;
- — ходовые позиции;
- — переходы между позициями;
- — рекомендуемые границы области переходов;
- ===== — средняя линия области переходов;
- · - · - · — границы областей ограничений

Благодаря индуктивности ТЭД скачки тока сглаживаются, а скорость движения успевает измениться, что находит свое отражение в наклоне линий переходов. Превышение величины $f_{к. max}$ может привести к нежелательным последствиям в работе тяговых машин или буксованию. Для упрощения выполнения тяговых расчетов в *i-iii* областях берут не фактические значения силы тяги, а значения по некоторой усредненной ограничивающей (фиктивной) линии, которая на рисунке отображена зеленым цветом. В тоже время в наиболее развитых программах тяговых расчетов для моделирования движения в режиме регулировочной тяги используются характеристики ходовых позиций, лежащих ниже этой ограничивающей линии.

Для всех локомотивов сила тяги не должна превышать предельного значения, установленного по прочности автосцепок. Для предупреждения разрыва поездов наибольшая суммарная сила тяги локомотивов, находящихся в голове поезда, при трогании поезда с места определяется исходя из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке, равного 950 кН, а наибольшая суммарная сила тяги при разгоне и движении по труднейшему подъему, определяется исходя из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке, равного 1300 кН.

Для локомотивов с тяговыми асинхронными двигателями (ТАД) и статическими преобразователями наиболее благоприятным является режим работы при условии максимума КПД ТАД. Одной из особенностей асинхронной электрической машины является отсутствие явно выраженных магнито и моментобразующих токов (как, например, у двигателя постоянного тока с независимым возбуждением) – обе эти функции выполняет ток статора.

Существует несколько способов регулирования скорости ТАД: 1) с заданным напряжением статора и постоянным абсолютным скольжением ротора; 2) ТАД с заданным главным потокосцеплением; 3) ТАД с заданным потокосцеплением статора. Заданный момент нагрузки двигателя реализуется магнитным потоком и активной составляющей тока ротора, от соотношения которых зависит значение электрических потерь мощности в асинхронном двигателе. Существует такое соотношение между магнитным потоком и током ротора, когда ток статора становится минимальным при неизменном моменте нагрузки. Для обеспечения этого условия необходимо при каждом значении момента нагрузки подбирать соответствующие величины магнитного потока и частоты тока ротора в зависимости от насыщения стали двигателя. Отклонение частоты тока ротора в сторону меньших значений приводит к увеличению электрических потерь мощности в асинхронном двигателе, а отклонение в большую сторону к увеличению тока статора из-за возрастания тока ротора при малых значениях магнитного потока, что так же ведет к увеличению электрических потерь.

Для сохранения минимума электрических потерь мощности в широком диапазоне значений момента нагрузки необходимо по мере возрастания нагрузки двигателя увеличивать ток ротора и магнитный поток. Для локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями и статическими преобразователями частоты наиболее благоприятным является режим работы при условии максимума КПД асинхронного двигателя. Известно, что заданный момент нагрузки двигателя реализуется магнитным потоком и активной составляющей тока ротора, от соотношения которых зависит значение электрических потерь мощности в асинхронном двигателе. Существует такое соотношение между магнитным потоком и током ротора, когда ток статора становится минимальным при неизменном моменте нагрузки. Для обеспечения этого условия необходимо при каждом значении момента нагрузки подбирать соответствующие величины магнитного потока и частоты тока ротора в зависимости от насыщения стали двигателя. Отклонение частоты тока ротора в сторону меньших значений приводит к увеличению электрических потерь мощности в асинхронном двигателе, а отклонение в большую сторону – к увеличению тока статора из-за возрастания тока ротора при малых значениях магнитного потока, что так же ведет к увеличению электрических потерь. Для сохранения минимума электрических потерь мощности в широком диапазоне значений момента нагрузки необходимо по мере возрастания нагрузки двигателя увеличивать ток ротора и магнитный поток. Для определения минимума электрических потерь мощности при заданной частоте и варьировании значения U и ω , предлагается использовать с алгоритм расчета, приведенный на рис. 2. Исходными данными для расчета являются заданная мощность $P_{эм}$, действительная частота вращения ω_M . По этим параметрам определяется требуемый момент асинхронного двигателя. В тех случаях, когда есть возможность выбрать режим работы локомотива, необходимо учесть его КПД или использовать предлагаемую систему управления, позволяющую снизить потери при работе на частичных мощностях, так как локомотив работает на частичных нагрузках. Тяговый двигатель рассчитывается на минимум электрических потерь для значений мощности близких к номинальной, при этом с уменьшением мощности КПД двигателя резко снижается, так как увеличивается относительное значение электрических потерь мощности. Если момент больше чем ограничение, то сигнал поступает в систему векторного управления. Если же момент меньше или равен ограничению, то сигнал по заданному моменту поступает в систему управления по минимуму электрических потерь. Первая – зона поддержания постоянного максимального момента $M_{эм} = \text{const}$, она используется для пуска в непродолжительных режимах. Вторая зона накладывает ограничение по реализуемой мощности $P_{эм} = \text{const}$. В этой зоне располагается точка, соответствующая движению с расчетной R ($V_{расч} F_{расч}$) скоростью,

ограничивающей минимальную скорость движения в длительном режиме при заданной мощности. В каждой зоне тяговой характеристики к тяговому электроприводу предъявляются разные требования. В первой – необходимо поддержание максимально возможного момента по условиям сцепления, которые постоянно меняются в зависимости от различных факторов как внешних, так и внутренних. Суммарное время работы в первой зоне не велико по сравнению со второй зоной. Главным же показателем эффективности работы в этой зоне является быстрота управления $M_{эм}$ ТАД в зависимости от изменения условий сцепления. Основным критерием работы тягового привода локомотива в первой зоне является повышенная жесткость характеристик тяговых двигателей. В отличие от первой вторая зона удалена от кривой ограничения. Поэтому здесь не требуется высокой жесткости характеристик как при работе на ограничении по сцеплению. Тягово-энергетические характеристики в этой зоне оказывают существенное влияние на расход энергии. Поэтому при работе на гиперболической характеристике наиболее целесообразно использовать принцип управления по минимуму электрических потерь мощности в системе инвертор – двигатель. Статорные и роторные переменные в системе координат $(d-q)$ представлены их амплитудными значениями и не содержат гармонических составляющих. Если вектор потокосцепления ротора ориентировать по оси d , то проекция вектора, т. е. частота тока ротора при заданном потокосцеплении, определяет электромагнитный момент асинхронного двигателя.

Исходными данными для расчета являются заданная мощность $P_{эм}$, действительная частота вращения ω_m . По этим параметрам определяется требуемый момент асинхронного двигателя:

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_m}.$$

Затем он сравнивается с заданным ограничением. Если момент больше чем ограничение, то сигнал поступает в систему векторного управления. Если же момент меньше или равен ограничению, то сигнал по заданному моменту поступает в систему управления по минимуму электрических потерь. По данным датчиков тока фаз статора определяется частота тока статора тока ротора, которая необходимо для определения магнитного потока. Полученные данные поступают в блок минимума потерь мощности. Система преобразования энергии моделируется методами теории цепей.

При питании от сети переменного тока эта система состоит из тягового трансформатора, входных $4q$ - S -преобразователей, звена постоянного тока, автономных инверторов напряжения. Дифференциально-алгебраические

уравнения процессов в силовых цепях основаны на законах Кирхгоффа. Они формируются в следующем виде:

$$f(X_{n+1}, X_n, t_{n+1}) = 0. \quad (1)$$

Решение уравнений (1) выполняется при помощи формулы численного дифференцирования;

$$h(X_{n+1}) = X_{n+1} = -\frac{1}{\Delta t} \sum_{n=0}^K \alpha X_{n+1}.$$

По данным датчиков тока фаз статора определяется частота тока статора ω_c .

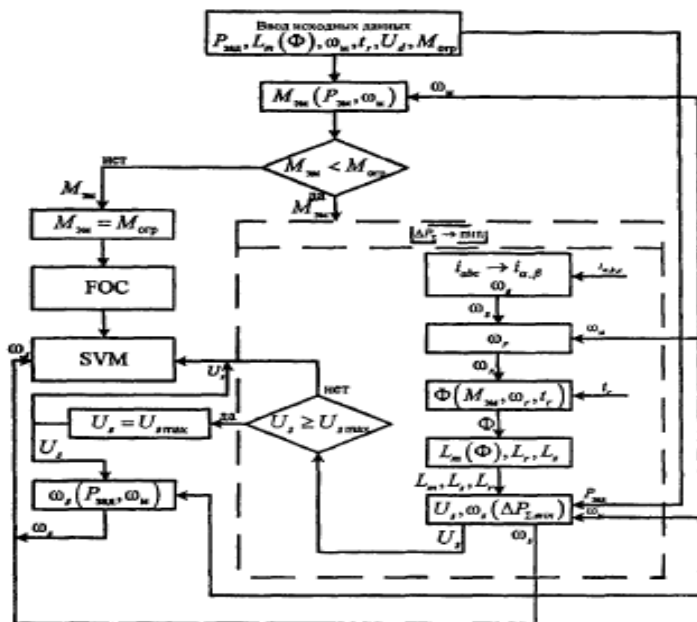


Рис. 2. Алгоритм амплитудно-частотного управления асинхронным тяговым двигателем по критерию минимума электрических потерь мощности

Далее из разности ω_r и ω_c вычисляется частота тока ротора ω_r , которая необходима для определения магнитного потока статора:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\sqrt{3 \cdot 3,44K\omega_c}} \sqrt{\frac{M \left[R^2 + (\omega L_s)^2 \right]}{Z\omega R}}.$$

По значению магнитного потока определяется индуктивность контура намагничивания L_s , с помощью которой можно определить индуктивность статора L_s .

Реальная $L_m(\Phi)$ с учетом насыщения стали задается с помощью полинома Ньютона: для устранения динамической ошибки регулирования угла нагрузки в динамических режимах частоту тока статора необходимо формировать с учетом его изменения:

$$\omega_s = \omega + \omega_r + \frac{\partial \delta}{\partial t} \delta.$$

В этом случае будет устранено влияние изменения высокоинерционной-моментообразующей составляющей тока – потокоцепления ротора. Тогда время регулирования момента будет определяться быстродействием контура регулирования тока статора (принят безынерционным) и быстродействием контура регулирования угла нагрузки. Кривая насыщения магнитного потока задается в виде полинома:

$$L_n = L_{m0} + \frac{\Phi}{\Delta\Phi} \left[\Delta b + \left(\frac{\Phi}{\Delta\Phi} - 1 \right) \right] \left\{ \frac{\Delta\delta}{2} + \left(\frac{\Phi}{\Delta\Phi} - 2 \right) \left[\frac{\Delta\delta}{6} + \left(\frac{\Phi}{\Delta\Phi} - 3 \right) \left(\frac{\Phi}{\Delta\Phi} - 4 \right) \right] \frac{\Delta\delta}{120} \right\},$$

где L_n, L_{m0} – обобщенные индуктивности статора и ротора.

Отклонение от оптимальной частоты тока ротора в сторону больших значений при неизменном моменте нагрузки ведет к увеличению входного тока инвертора, а, следовательно, к увеличению тока транзисторов. Если же частоту тока ротора уменьшить путем увеличения напряжения при заданных значениях частоты тока статора и момента нагрузки, то входной ток инвертора сначала уменьшается при возрастающем фазном токе, а потом резко увеличивается. Резкое увеличение входного тока инвертора при малых частотах тока ротора объясняется насыщением магнитной цепи двигателя. С учетом полученных данных рассчитываются минимальные потери мощности $\Delta P_{\text{аин}}$ электрические потери в АИН; $\Delta P_{\text{стали}}$ – электрические потери в стали; ΔP_r – электрические потери в обмотке ротора; ΔP_s – электрические потери в обмотке статора; $\Delta P_{\text{ввг}}$ – электрические потери от высших временных гармонических составляющих:

$$\Delta P_{\Sigma} = U \left[\frac{R_r + L_r \omega - 2L_r \omega_r \omega_n + L_r \omega_n}{R_r R_s - (\omega_s - \omega_n) \omega_s (L_s L_n - L_n)} \right] R_s + \left(\frac{P_r (\omega_s - Z_p \omega_n)}{\omega_n Z_p R_r} \right) R_r + \Delta P_s.$$

Таким образом, предлагается использовать способ рационального амплитудно-частотного управления по критерию минимума электрических потерь мощности. За счет применения принципа адаптивного управления удастся снизить ток в двигателе уменьшить активные потери мощности вобмотках статора и ротора.

Литература

1. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электропоездов / Ю. А. Бахвалов, Г. А. Бузало, А. А. Зарифьян [и др.] – М. : Маршрут, 2006. – 374 с.
2. Киржнер, Д. Л. Требования к новому тяговому подвижному составу / Д. Л. Киржнер // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 8. – С. 13–14.
3. Колпахчя, П. Г. Анализ способов управления асинхронным тяговым двигателем на электроподвижном составе / П. Г. Колпахчян, П. Ю. Петров // Вестник ВЭЛНИИ. – 2005. – № 2(49). – С. 174–187.
4. Луков, Н. М. Автоматические системы управления локомотивов / Н. М. Луков, А. С. Космодамианский. – М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2007. – 429 с.
5. Iksar, E. An algorithm for controlling a traction asynchronous drive that minimizes electrical power losses / E. Iksar, M. Idriskhodjaeva // E3S Web Conferences. – 2020. – Vol. 216. – P. 01107. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/ref/2020/76/e3sconf_rses2020_01107/e3sconf_rses2020_01107.html (дата обращения 12.05.2025).
6. Karimov, R. Ch. Program for calculating the minimum electrical power loss in an asynchronous traction engine of mainline locomotives / R. Ch. Karimov, K. K. Usmonov, E. Iksar // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29, № 11. – P. 1416–1422.
7. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmechhydro23_05076/e3sconf_conmechhydro23_05076.html (дата обращения 12.05.2025).
8. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы Республиканской научн.-технич. конференции, Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорус. Национальный технический университет [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 181–184.

**Термическая обработка коконов тутового шелкопряда
с применением солнечной энергии**

Мирсаатов Р. М.¹, Султанходжаева Г. Ш.¹, Худойбергганов С. Б.¹,
Юркевич Н. П.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследованы процессы термической обработки с использованием непосредственного и косвенного воздействия солнечной энергии на живых коконов. Определены технические показатели специально разработанного, усовершенствованного устройства для морки коконов тутового шелкопряда, а также устройства для полной сушки коконов с использованием солнечной энергии. Рассмотрено сравнение полученных экспериментальных результатов.

В целях повышения продуктивности коконов и их качественных показателей необходимо контролировать на каждом этапе технологических процессов выращивания кокона, а также рекомендовать внедрение новых технологий после тщательного изучения на научной основе факторов, влияющих на качественные показатели. Это требует организации комплекса научных, практических и организационных работ на основе современных научно-технических инноваций. Проводились исследования по применению инфракрасных лучей (ИК) для морки коконов. Суть этого метода заключается в том, что инфракрасные лучи, проникают через оболочку кокона, попадают в живые куколки кокона и воздействуют на них. При этом они нагреваются и происходит морка коконов. Установлено, что при обработке коконов этим методом использование излучателей с длиной волны не более 1 мкм и высокой температурой дает хорошие результаты. Для сохранения качества коконов оптимальное значение температуры излучения должно составлять 70 °С [1–3].

Ученые Ташкентского института текстильной и легкой промышленности разработали экспериментальные образцы устройств для морки коконов с помощью ИК-лучей [4; 5].

В этих устройствах происходит только морка коконов тутового шелкопряда, а последующий процесс сушки, как и прежде, проводится в теневых коконо-сушилках. Кроме того, производительность этих устройств очень низкая и они пока не внедрены на практике.

Для термической обработки коконов тутового шелкопряда на всех базах первичной обработки применяются морально и физически устаревшие конвейерные коконосушилки типа СК-150К, обрабатывающие коконы горячим воздухом. Для обработки 1 тонны живых коконов в этих коконосушилках расходуется 85–90 кг дизельного топлива и 70–75 кВт электрической энергии [1; 6].

Для дальнейшего увеличения объема производства коконов, улучшения их качества и уменьшения расхода энергоресурсов для их первичной обработки – замаривания и полной сушки наряду с другими действиями, требуется разработка и внедрение современных энергосберегающих технологий. Одним из перспективных направлений снижения расхода энергоресурсов для первичной обработки коконов в условиях нашей Республики является использование энергии солнечного излучения.

Первичная обработка коконов тутового шелкопряда (замаривания коконов) совпадает с самыми солнечными месяцами года (май-июнь), которое позволяет широко использовать для этой цели солнечную энергию. Учитывая это, в Научно-исследовательском институте шелководства были проведены исследования по созданию эффективных устройств для первичной обработки коконов с использованием солнечной энергии. Устройство для замаривания коконов тутового шелкопряда состоит из камеры с крышкой [2]. В этом устройстве применяются два метода обработки коконов: герметизация и использование солнечной энергии. Коконы, помещенные в кассеты, загружаются в камеру устройства, после чего крышка закрывается. Верхняя поверхность устройства состоит из двухслойной стеклянной пластины с воздушным пространством между ними, которое выполняет функцию фильтрации ультрафиолетовых лучей, негативно воздействующих на коконы. Камера установлена на шарнирную стойку, которая позволяет ей вращаться вокруг своей оси и относительно горизонта под разными углами. Это обеспечивает постоянное перпендикулярное положение устройства к солнечным лучам. После того как коконы помещают в кассеты крышка закрывается и поверхность устройства настраивается в перпендикулярное положение к солнцу. Процесс термической обработки коконов длится 90–100 минут.

Основным недостатком этого устройства является то, что в облачные дни его невозможно использовать, либо процесс обработки коконов увеличивается до 130–140 мин. В солнечные дни температура воздуха внутри камеры не поднимается выше 70–75 °С, а производительность устройства остается низкой и составляет 8–10 кг/час.

Анализ методов и устройств для обработки коконов, описанных выше, показывает, что:

– во всех известных на данный момент методах обработки коконов, кроме метода с использованием горячего воздуха, происходит только морка куколки

коконов, а полная сушка коконов проводится в тeneвых сушилках. Эти коконо-сушилки состоят из 8–10 этажей по высоте и 4–6 рядов по длине. Для строительства таких сушилок, установленных под навесом, в одном регионе требуется несколько тонн металлопроката и десятки кубо-метров древесины. Чтобы внутрь не попадали птицы, пыль и дождь, необходимо использовать сотни метров ткани для обшивки. Кроме того, для предотвращения плесени, коконы, которые частично высушены и разложены по полкам, требуют ежедневного перемешивания на протяжении 40–50 дней, пока они полностью не высохнут, что требует значительных трудовых затрат. На выполнение этих работ по всей республике расходуются большие средства.

– для морки и полной сушки коконов можно использовать агрегаты, обрабатывающие горячим воздухом. При этом агрегаты должны работать непрерывно в течение 4–5 часов, а для этого в агрегатах расходуется большое количество жидкого топлива, природного газа и электроэнергии.

Учитывая вышесказанное и то, что энергоресурсы продолжают дорожать, а использование возобновляемых источников энергии становится глобальной проблемой, ведутся исследования для решения этих вопросов.

Материалы и методы исследования. Для термической обработки коконов тутового шелкопряда используется солнечная установка. Она состоит из термически изолированной камеры, закрепленной на тележке, верхняя часть которой закрыта двумя стеклянными панелями с воздушным слоем между ними. Внутри камеры размещен сетчатый барабан, который вращается на шкивах. Барабан состоит из двух вложенных цилиндров, причем коконы помещаются во внутренний цилиндр. С двух сторон малого цилиндра нагретый воздух под давлением подается через вентилятор по трубам, соединенным с центральным каналом барабана. Горячий воздух под высоким давлением, находящийся в центральном канале, проходит между коконами двигаясь наружу и равномерно их высушивает. Барабан с коконами вращается с помощью вала, приводимого в действие электро-мотором. Тележка имеет четыре вращающихся колеса. На верхней платформе тележки расположен винтовой подъемный механизм, который перемещает камеру относительно вертикальной оси. К камере подключен электронный блок управления и компьютер. С помощью этого устройства коконы, размещенные в сетчатом барабане, поддаются полной сушке за счет одновременного использования как прямого (посредством прямого воздействия солнечной энергии на коконы), так и косвенного (обеспечение электронагревателей электрической энергией через фотоэлектрическую установку) воздействия солнечной энергии. Для полной сушки коконов тутового шелкопряда контролируются температура горячего воздуха, скорость вращения сетчатого барабана и влажность коконов. Эти параметры отслеживаются через компьютер, подключенный к электронному блоку управления [7–12].

В данной работе для решения поставленной задачи использован комплексный системный подход, основанный на методах исследования сложных систем. Были выбраны методы причинно-следственного анализа различных факторов, влияющих на качественные показатели живых коконов. В ходе исследований применялись методы исследования и анализа такие, как метод случайных чисел (результаты наблюдений при испытаниях и измерениях), аналитические и экспериментальные методы, учет погрешностей и неопределенностей результатов при измерениях, а также статистические методы и сравнительный анализ.

Результаты и их анализ. В текущем коконозаготовительном сезоне производства коконов тутового шелкопряда были проведены эксперименты по определению технических показателей устройства для морки и полной сушки коконов в условиях производства на «ТСТ Агрокластер» Куйи-Чирчикского района Ташкентской области.

Были проверены как непосредственный, так и косвенный метод использования солнечной энергии для морки коконов, а также их совместное применение, в том числе изучены технические возможности устройства.

Полученные результаты приведены в табл. Во время экспериментов контролировалось, чтобы температура горячего воздуха не превышала 90 °С (рекомендуемая температура). По результатам, если температура горячего воздуха будет поддерживаться на уровне +90 °С, то коконы полностью высыхают (при 11 % влажности) за 2,5 часа. Устройства оснащены автоматической системой управления, которая автоматически поддерживает необходимую температуру в заданном уровне.

Как известно, сохранение качества произведенных коконов во многом зависит от методов их подготовки и первичной обработки. Поэтому в ходе исследований были проведены эксперименты по сравнению показателей качества коконов, обработанных по новой технологии в установке с использованием солнечной энергии и обработанных в конвейерном агрегате СК-150К для сушки коконов. Для этого была выбрана одна партия живых коконов, выращенных в одинаковых условиях. Коконны были отсортированы и из различных частей были взяты образцы по 250 г, которые поместили в воздухопроницаемые мешочки. В результате было отобрано 20 мешочков с образцами живых коконов по 250 г, из которых 10 мешочков с образцами были обработаны в агрегате СК-150К, а оставшиеся 10 мешочков с образцами по новой предлагаемой технологии.

Таблица

Результаты полной сушки термически обработанных коконов

Дата эксперимента (день, месяц, год)	Количество повторений	Время начала процесса сушки (часы, минуты)	Температура внутри устройства, °С	Масса образца кокона, г.	Влажность коконов, %
15.06.2024	1	9 ³⁰ 10 ³⁰ 11 ³⁰ 12 ⁰⁰	88 90 90 90	180 150 95 44	179 119 55 11
16.06.2024	2	9 ³⁰ 10 ³⁰ 11 ³⁰ 12 ⁰⁰	88 88 89 90	368 119 69 40	180 123 48 11
17.06.2024	3	9 ³⁰ 10 ³⁰ 11 ³⁰ 12 ⁰⁰	87 89 90 90	222 126 89 43	182 123 49 11

Образцы коконов в мешочках были высушены до кондиционной влажности (11 %). Коконы обрабатывались при одинаковом режиме, то есть в режиме полной сушки.

С целью определения потерь в весе образцов коконов, обработанных в боих устройствах, их веса были измерены до и после обработки на электронных весах. Полностью высушенные образцы коконов, достигшие кондиционного уровня влажности (11 %) были определены их основные технологические (качественные) показатели. Согласно анализу качественных показателей, длина непрерывного и общей длины шелкового волокна у коконов, обработанных обоими методами, практически одинаковы: по новой технологии – соответственно 1113 м и 1131 м, а на СК-150К – 1131 м и 1133 м.

Основные качественные показатели коконов, такие как выход сырого шелка и шелковых продуктов, более высокие у коконов, обработанных по новой технологии. По новой технологии они составляют соответственно 42,52 % и 53,11 %, в то время как на СК-150К – 42,02 % и 50,81 %. В целом, даже при равных показателях, можно сказать, что метод обработки коконов по новой технологии является более эффективным.

В результате показано, что наиболее оптимальным решением для устранения проблем в этом направлении является термическая обработка использованием солнечной энергии, для первичной обработки коконов. По результатам испытаний устройства для морки коконов, в устройство помещается 150 кг живых коконов, и для замаривания коконов при использовании солнечной энергии непосредственно и косвенно, время обработки сокращается до 50 минут. Для полной сушки коконов тутового шелкопряда объемом 150 кг в сушильном устройстве затрачивается 2,5 ч. Усовершенствованное устройство для термической обработки коконов тутового шелкопряда, использующее солнечную энергию, направлено на оптимизацию потребления энергоресурсов и решение практических задач по ускорению полного процесса сушки, что обеспечивает длительное сохранение качества обработанных коконов.

Литература

1. Рождественская, К. М. Агрегат для морки, сушки и охлаждения коконов в комплекте с машиной СК-150К / К. М. Рождественская, Л. П. Грабов, Э. Х. Таджиев // Шелк. – 1972. – № 2. – С. 67–75.
2. Mirsaatov, R. Modeling of the initial processing processes of mulberry silkworm colons / Mirsaatov R., Abdullaev J. // Galaxy international interdisciplinary research journal (GIIRJ). – 2023. – Vol. 11, № 5. – P. 8–11.
3. Авазов, К. Р. Исследование усовершенствованной технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда / К. Р. Авазов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 5 (371). – P. 80–83.
4. Avazov, K. R. Puti povysheniya effektivnosti pervichnoy obrabotki kokonov pri vliyaniy infrakrasnykh luchey / K. R. Avazov, Kh. D. Bastamkulova // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2016. – № 1. – P. 61–64.
5. New device and technology for primary processing of silkworm cocoons obtained during different feeding season / Kh. Alimova, A. Gulamov, K. Avazov [et al.] // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2020. – Vol. 8, № 5, – P. 5118–5122.
6. Mirsaatov, R. M. Tut ipak qurti pillalariga dastlabki ishlov berish / R. M. Mirsaatov, J. E. Abdullayev // Ijodkor o'qituvchi jurnali. – 2022. – V 2., № 19. – P. 263–272.
7. Mirsaatov, R. M. Development of technology for Drying and complete drying of silkworm cocoons / R. M. Mirsaatov, G. Sh. Sultankhojaeva // Modern Science and Scientific Studies: Proceedings of International Conference. – Paris, France, May 2024. – Vol. 3, № 5. – P. 188–193.

8. Sultanxodjayeva, G. Sh. Solar energy as a source of electric energy / G. Sh. Sultanxodjayeva, F. S. Xusniddinov // Innovative Development in Educational Activities. – 2023. – Vol. 7, № 2. – P. 444–448.

9. Mirsaatov, R. Uncertainty estimation in determination of Cocoons silkiness by thickness of their shell / R. Mirsaatov, S. Khudoyberganov, A. Akhmedov // AIP Conference Proceedings. – 2023. – 2612. – P. 050010. – <https://doi.org/10.1063/5.0114683>.

10. Мирсаатов, Р. М. Разработка метода определения шелконосности по длине коконов без их взрезки / Р. М. Мирсаатов, С. Б. Худойбергганов, Н. П. Юркевич // Sciences of Europe. – 2021. – № 75. – P. 3–5.

11. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / A. P. Akhmedov, G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 04020. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/40/e3sconf_conmechhydro2021_04020/e3sconf_conmechhydro2021_04020.html (дата обращения 15.05.2025).

12. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmechhydro23_05076/e3sconf_conmechhydro23_05076.html (дата обращения 12.05.2025).

УДК 629.423.31

Применение IoT для функциональной диагностики системы управления электровоза «O‘zbekiston-Yo‘lovchi» в условиях нестандартных ситуаций тягового режима

Туйчиева М. Н.¹, Юркевич Н. П.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассматривается подход к функциональной диагностике системы управления электровозов серии «O‘zbekiston-Yo‘lovchi» в тяговом режиме при возникновении нестандартных ситуаций. Основное внимание уделено интеграции технологий Интернета (IoT) для повышения надежности, оперативности и точности обнаружения сбоев в работе тягового оборудования. Предложенная методика предусматривает сбор и анализ телеметрических данных с ключевых компонентов системы управления,

что позволяет в реальном времени выявлять потенциальные неисправности и реализовывать адаптивные алгоритмы реагирования. Результаты моделирования и натурных испытаний подтверждают эффективность предложенного решения для повышения безопасности и устойчивости функционирования электровозов в сложных эксплуатационных условиях.

В мире особое место в области научных исследований занимает диагностика и контроль обеспечения безопасности движения подвижного состава и обеспечение надежности работы всех элементов и систем управления железнодорожного транспорта на основе современных микропроцессорных систем и новых технологий [1; 2].

Основными потребителями в составе железнодорожного электропривода являются асинхронные тяговые двигатели, доля которых в структуре потребления электроэнергии составляет 70 %. Поэтому необходимо осуществлять контроль и диагностику работы элементов тяговых электродвигателей и систем управления цепи [3; 4].

В Республике Узбекистан осуществляются мероприятия по развитию транспортной отрасли, увеличению железнодорожных электрофицированных участков, обновление локомотивного парка и устранению сбоев при нестандартных и аварийных ситуациях в системах работы подвижного состава, повышению эффективности использования железнодорожных линий высокоскоростного движения.

В работе представлены исходные положения и обоснование направления исследования, направленного на разработку подхода к функциональной диагностике системы управления электровозов серии «O‘zbekiston-Yo‘lovchi» в условиях тягового режима при возникновении нестандартных эксплуатационных ситуаций [5]. В качестве ключевого направления рассматривается интеграция технологий Интернета (IoT) с целью повышения надежности, оперативности и точности идентификации отказов тягового оборудования, отклонения.

В настоящее время исследование находится на стадии формирования теоретической базы, разработки модели и предварительной верификации технических решений, что закладывает основу для последующих этапов экспериментальной апробации и внедрения в практику эксплуатации подвижного состава.

На рис. 1 представлена схема функциональной диагностики.

Система функциональной диагностики подразумевает диагностику практически всего оборудования от тока приемника, заканчивая вспомогательными машинами (компрессорами, моторами, вентиляторами и пр.) [1; 4].



Рис. 1. Система функциональной диагностики электровоза О'z-Y

О двигателе имеются данные лишь по общему напряжению и температуре. Больше данных нет, есть температура редуктора, есть предельные значение по двигателю, но состояние двигателя не диагностируется, т. е. система диагностики не уделяет большое внимание двигателю.

Электровоз О'z-Y был проанализирован по более 800 кодам, более десяти наименованиям основного тягового оборудования, более 20 наименованиям вторичного оборудования (табл.) [4; 6].

Диагностика анализирует практически весь спектр стандартных ситуаций. Статистическая обработка показала основные элементы неисправностей, представленные в табл.

Нестандартные ситуации [7; 8] при тяговом режиме работы локомотива определены нормативными документами, где описано поведение машиниста при возникновении этих ситуации [9; 10].

К нестандартным ситуациям относятся:

- остановка одиночного локомотива на перегоне;
- отказ тяговых двигателей;
- нарушение в работе электро-, гидро- и пневмооборудования;
- следования поезда на запрещенный сигнал;
- нарушение в работе автотормозов;
- неисправность ходовых частей локомотива;
- отказ на локомотиве оборудования;
- вынужденная остановка из-за срабатывания ктсм, укспс (нагрев буксы);
- вынужденная остановка из-за снятия напряжения в контактной сети;

- неисправность автоприцепного оборудования, угрожающие безопасности движения;
- угроза возникновения пожара в тяговом электродвигателе;
- сбой в работе АЛС и клуб-у;
- сильное колебание контактного провода;
- «толчок» в пути.

Таблица

Неисправности и их количество по годам эксплуатации

Узел и оборудования электровоза, на котором произошла неисправность	Количество случаев неисправности в период эксплуатации			
	2019	2020	2021	Всего за период эксплуатации (2019–2021)
Главный выключатель	4	3	2	9
Электронные платы блока управления преобразователем и центрального блока управления	2	1	0	3
Модуль IGBT	1	1	1	3
Бортовой монитор	2	1	2	5
Компрессоры	3	1	2	6
Система контроля буксового узла	5	3	1	9
Тяговый электродвигатель	1		2	3
Дефекты на колесных парах				0

Данные дефекты (рис. 2) вызваны возникновением высших и низших гармоник в токе тяговых двигателей при нестандартных ситуациях, которые могут привести к дефектам представленных на рисунке, а, следовательно, к аварийным режимам [5; 8; 11].

IoT в применении к электроподвижному составу представляет собой концепцию организации распределенной интеллектуальной системы мониторинга и управления, основанной на сетевом взаимодействии физических устройств — датчиков, исполнительных механизмов, вычислительных модулей и облачных сервисов.

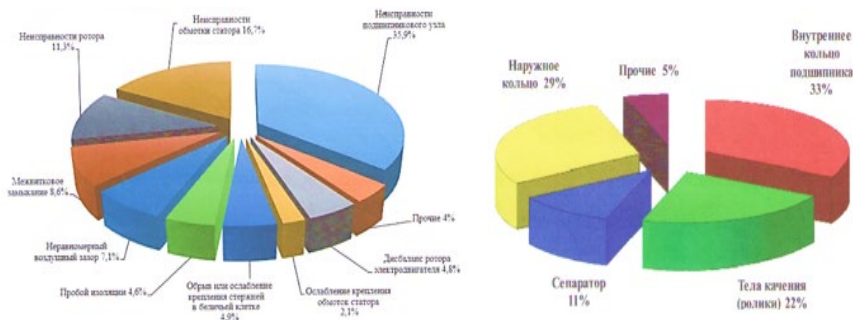


Рис. 2. Распределение дефектов в асинхронном электродвигателе при нестандартных ситуациях

В контексте железнодорожного транспорта IoT-технологии обеспечивают:

- непрерывный сбор телеметрических данных с ключевых узлов подвижного состава (тяговые электродвигатели, преобразователи, тормозные системы, подшипниковые узлы и пр.);
- локальную обработку информации с применением встроенных микроконтроллеров и алгоритмов предиктивной диагностики;
- передачу данных на удаленные серверы или в облачную платформу для анализа, визуализации и принятия решений;
- интеграцию с системами автоматизированного управления техническим обслуживанием (асу тоир).

Внедрение IoT позволяет переходить от планово-предупредительного обслуживания к состоянию зависимому и предиктивному техническому обслуживанию, повышая надежность, снижая эксплуатационные издержки и минимизируя внеплановые простои.

Таким образом, IoT-технологии формируют основу для создания интеллектуальных железнодорожных систем, соответствующих принципам индустрии 4.0 и цифровой трансформации транспорта.

Представленная структурная схема IoT-системы электровоза (рис. 2) демонстрирует подход к реализации функциональной диагностики и мониторинга технического состояния ключевых узлов в режиме реального времени.

Такие решения являющиеся неотъемлемой частью интеллектуальных систем управления жизненным циклом подвижного состава и находят широкое применение в рамках концепции «умной» железной дороги.

Внедрение подобных технологий способствует повышению надежности, энергоэффективности и безопасности эксплуатации электровозов, а также соответствует стратегическим направлениям цифровой трансформации транспортной инфраструктуры.

СТРУКТУРА ИОТ-СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОВОЗА

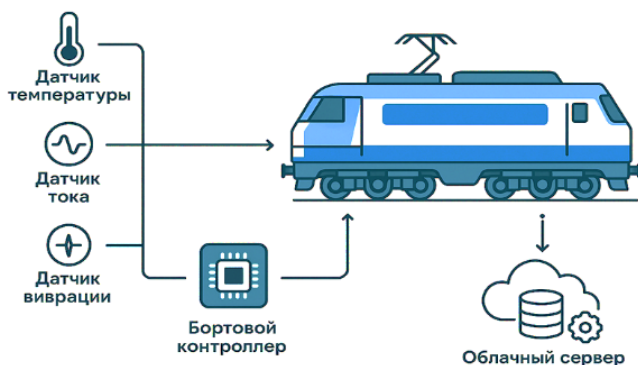


Рис. 2. Структурная схема ИОТ-системы электровоза

Литература

1. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / A. P. Akhmedov, G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 04020. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/40/e3sconf_conmechhydro2021_04020/e3sconf_conmechhydro2021_04020.html (дата обращения 16.05.2025).
2. The increase of electric energy efficiency of the electric locomotives «Uzbekistan-yulovchi» in asymmetric modes / A. M. Burkhanhodjaev, M. N. Tuychieva, E. V. Iksar [et al.] // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 8, Issue 3. – P. 17011–17014.
3. Research of energy-saving composite materials for electric motors / U. Sulaymonov, A. Jelutkevich, O. Sayfullayev, U. Berdiyrov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 461. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/98/e3sconf_rses23_01054/e3sconf_rses23_01054.html (дата обращения 09.04. 2025).
4. Плакс, А. В. Новый пассажирский электровоз серии «О'Z-Y» / А. В. Плакс, Д. О. Раджибаев, Х. М. Турсунов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». – 2011. – № 1. – С. 237–240.
5. Device for measuring the resultant magnetic field of the stator winding of a traction asynchronous motor of an electric rolling stock / N. B. Pirmatov, M. N. Tuychieva, K. K., Usmonov [et al.] // AIP Conference Proceedings. –

2024. – Vol. 3152(1). – P. 050014. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/3152/1/050014/3298605/Device-for-measuring-the-resultant-magnetic-field?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения 11.03.2025).

6. Methods of new technological developments of electric motors based on soft magnetic materials // M. N. Tuychieva, U. T. Berdiev, I. K. Kolesnikov [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 401. – P. – 03038. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmec_hydro23_03038/e3sconf_conmec_hydro23_03038.html (дата обращения 09.05.2025).

7. Бердиев, У. Т. Функциональная диагностика схемы управления при нестандартных ситуациях в тяговом режиме электровозов / У. Т. Бердиев, И. К. Колесников, М. Н. Туйчиева. – Ташкент : Ziyo nashr-matbaa, 2023. – 148 с.

8. Yurkevich, N. P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk // Sciences of Europe. – 2022. – Vol. 1, № 86. – P. 59–66.

9. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmec_hydro23_05076/e3sconf_conmec_hydro23_05076.html (дата обращения 12.05.2025).

10. Кулинич, Ю. М. Моделирование работы тягового двигателя / Ю. М. Кулинич, А. Ю. Сергеев // Вестник ВНИИЖТ. – 2019. – Т. 78, № 5. – С. 39–45.

11. Investigation of energy indicators with asymmetry of the voltage of the power source of mainline electric locomotives of alternating current / U. T. Berdiev, A. M. Burkhanhodzhaev, M. N. Tuychieva, E. V. Iksar // AIP Conf. Proc. – 2023. – Vol. 2552. – P. 030018. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2552/1/030018/2875657/Investigation-of-energy-indicators-with-asymmetry?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения 12.03.2025).

Losses during charging and discharging of an electrical energy storage device and their solutions

Karshiev K. T., Kutbidinov O. M.
Tashkent state transport university
Tashkent, Uzbekistan

Along with the growing share of renewable energy sources in electricity, the demand for electricity storage devices is also growing [1–2]. Their reliable and long-term service is inextricably linked with the technical conditions of their charging and discharging. Problems with charging and discharging affect electricity storage devices differently depending on the developed material, as well as lead to electricity losses and a decrease in energy efficiency.

The development of a new mathematical model for reducing the efficiency of battery systems and energy losses is a very important task [3; 4]. This model helps to determine optimal control strategies, taking into account the processes of energy storage, transmission, and loss in various operating modes of the accumulator [5; 6].

1. Increasing energy efficiency during battery charging/discharging processes.
 2. Minimizing energy losses.
 3. Extending the battery life and optimizing its operating parameters.
- Based on the energy balance equation, we can write:

$$SOC(t + \Delta t) = SOC(t) + \frac{\Delta t}{Q_{\max}} \left(\eta_{\text{charge}} P_{\text{in}}(t) - \frac{P_{\text{out}}(t)}{\eta_{\text{discharge}}} \right),$$

where Δt – time interval, s; $Q_{\max}$ – maximum battery capacity, Wh; $SOC(t)$ – accumulator charging state at a given time (state of charge) $0 \leq SOC(t) \leq 1$; $P_{\text{in}}(t)$ – input power of the accumulator at a given time, W; $P_{\text{out}}(t)$ – accumulator power at a given time, W; η_{charge} – charging efficiency; $\eta_{\text{discharge}}$ – discharge efficiency; R_{int} – internal resistance of the battery; T – battery operating temperature.

Energy losses occur in 2 ways:

1. Energy lost in the form of heat through internal resistance

$$P_{\text{loss}}(t) = I(t)^2 R_{\text{int}},$$

where $I(t)$ – current flowing through the battery, A.

2. Efficiency losses in charging/discharging processes

$$P_{efficiency\ loss}(t) = P_{in}(t)(1 - \eta_{charge}) + P_{out}(t) \left(\frac{1}{\eta_{discharge}} - 1 \right).$$

Total energy losses:

$$P_{total\ loss}(t) = P_{loss}(t) + P_{efficiency\ loss}(t).$$

To maximize battery efficiency and minimize energy losses, we will solve the following optimization problem:

$$\min \int_{t_0}^{t_f} P_{total\ loss}(t) dt.$$

Boundary conditions:

1. $SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max}$ – charging limits.
2. $P_{in} \geq 0$, $P_{out}(t) \geq 0$ – positive powers.
3. $SOC(t_0) = SOC_{initial}$, $SOC(t_f) = SOC_{final}$ – initial and final charge states.

Temperature impact

$$\eta_{charge}(T) = \eta_{charge}^0 \cdot (1 - k_{temp} |T - T_{opt}|),$$

where T_{opt} – optimal temperature; k_{temp} – temperature coefficient.

The mathematical model described above was developed to enhance the efficiency of battery systems and reduce energy losses. The developed mathematical model enables accurate calculation of efficiency and losses, takes into account crucial factors such as temperature and internal resistance, and aids in determining optimal control strategies.

References

1. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles / L. Lu, X. Han, J. Li [et al.] // Journal of power sources. – 2013. – Vol. 226. – P. 272–288.
2. Yi-Hwa, L. Search for an optimal rapid charging pattern for lithium-ion batteries using ant colony system algorithm / L. Yi-Hwa, T. Jen-Hao, L. Yu-Chung // Industrial Electronics, IEEE Transactions on. – 2005. – Vol. 52. – P. 1328–1336.
3. Akhmedov, A. P. Using solar panels to recharge car battery / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные

технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II Республиканской научно-технической конференции, 28–29 апреля 2022 г. / Белорус. Национальный технический университет [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 433–437.

4. Контроль знаний студентов при изучении курса общей физики в рамках образовательной программы ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов [и др.] // Высшая школа. – 2020. – № 3. – С. 26–28.

5. Fotouhi, A. A review on electric vehicle battery modelling: From lithium toward lithium–sulphur / A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 56. – P. 1008–1021. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.009>.

6. Nguyen, T. A. Stochastic Optimization of RenewableBased Microgrid Operation Incorporating Battery Operating Cost / T. A. Nguyen, M. L. Crow // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – Vol. 31, №. 3. – P. 2289–2296.

УДК 621.3.011

Математическое моделирование вторичных источников питания тягового электропривода постоянного тока

Колесников И. К., Хахимов С. Х.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматриваются вопросы математического моделирования вторичных источников питания для тягового электропривода постоянного тока. Разработана математическая модель, учитывающая особенности работы преобразовательных устройств, режимов зарядки накопителей энергии и характеристик нагрузки электропривода. Проведено моделирование переходных процессов при различных режимах функционирования системы с использованием современных методов численного анализа. Особое внимание уделено влиянию параметров вторичных источников на устойчивость и энергетическую эффективность тягового электропривода. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации схемных решений и алгоритмов управления в системах электротранспорта. Представленные выводы подтверждают перспективность применения разработанных моделей для повышения надежности и эффективности вторичных источников питания в тяговых установках.

Разработана методика моделирования и исследованы электромагнитные процессы во вторичном источнике питания электропривода постоянного

тока силовых полупроводниковых преобразователей, которые были включены в замкнутую систему электропривода.

Задача была решена с применением библиотеки Simulink и Sim Power Systems средствами Matlab [1–3].

Разработана модель для исследования напряжения на конденсаторе во вторичном источнике питания тягового электропривода. Функциональная схема вторичных источников питания включает три системы: информационную, энерго-электронную и электромеханическую. В тяговом электродвигателе используются две системы: одноконтурная и двухконтурная [4; 5].

Были выбраны управляющие воздействия токами, чтобы можно было рассматривать как переходные, так и установившиеся процессы. Этому отвечает трапецеидальный сигнал со скоростью ω^* и ускорением $E^* = \frac{d\omega^*}{dt}$.

В исполнительном двигателе воздействиями являются: момент трения $M_H = M_c \sin(\omega)$; постоянный момент $M_H = \text{const}$; момент вязкого трения $M_H = B\omega$; шарнирный момент $M_H = K\alpha$. В выбранной модели учтены все эти моменты, хотя для поставленных условий устраивает $M_H = \text{const}$ [6–9].

Разберем одноконтурную структуру, показанную на рис. 1.

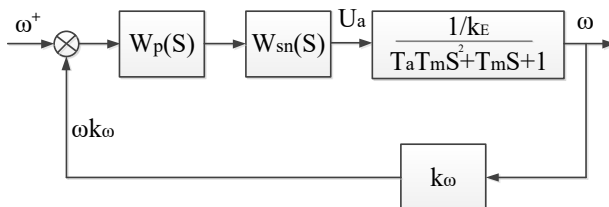


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной системы вторичного источника питания

В одноконтурной системе применена отрицательная обратная связь по скорости. Электромагнитные и электромеханические процессы в исполнительном двигателе описываются уравнениями [10; 12]

$$\left. \begin{aligned} U_a &= R_a \left[T_a \left(\frac{di_a}{dt} \right) + i_a \right] + e_a \\ J \left(\frac{d\omega}{dt} \right) &= M - M_H \\ \omega &= \frac{d\alpha}{dt} \\ e_a &= K_E \omega; M = K_M i_a \end{aligned} \right\},$$

где U_a, i_a, e_a – напряжение, ток, против ЭДС якоря; $R_a, T_a = \frac{L_a}{R_a}, L_a$ – сопротивление, постоянная времени, индуктивность якоря; ω, M, M_H, α – угловая скорость, электромагнитный момент, момент нагрузки, угол поворота вала;

J, K_E, K_M – момент инерции ротора, коэффициенты определяемые конструктивными постоянными.

Передаточная функция исполнительного двигателя [11]:

$$W_{\text{ид}}(S) = \frac{\omega(S)}{U_a(S)} = \frac{1 / K_E}{T_a T_M S^2 + T_M S + 1},$$

$$T_M = J \frac{R_a}{K_E K_M}.$$

Тогда, согласно структурной схеме (рис. 1), силовой преобразователь представляет аperiodическое звено с передаточной функцией

$$W_{\text{сп}}(S) = \frac{K_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}} S + 1},$$

$$T_{\text{сп}} = \frac{1}{f_K},$$

где $T_{\text{сп}}$ – обратная функции частоты коммутации f_K .

Постоянная времени силового преобразователя. Определяется частотой коммутации широтно – импульсного преобразователя. Всегда выполняется условие $T_{\text{сп}} \ll T_a$. В преобразователь входят: регулятор интегральный ПИ и регулятор интегрально – дифференциальный. В табл. 1 показаны параметры структурной схемы, в табл. 2 регуляторов [13].

Таблица 1

Параметры структурной схемы							
P_H , кВт	$U_a = U_f$, В	n_H , об/мин	C , мГн	R_a , Ом	R_f , Ом	L_{af} , Гн	J , кгм ²
4,5	110	3000	25	0,585	400	1,236	0,36

При синтезе регулятора будем считать, что постоянная времени

$$T = T_a + T_{\text{сп}}.$$

Если

$$W_p(S) = \frac{K_p(T_M S + 1)}{T_M S} = K_p + \frac{K_p}{T_M S} = K_{\Pi} + \frac{K_U}{S},$$

то передаточная функция будет иметь вид:

$$W(S) = \frac{\omega(S)}{U_a(S)} = \frac{1 / K_E}{(T_a S + 1)(T_M S + 1)}.$$

Таблица 2

Параметры структурной схемы

Параметры структурной схемы ПИ и ПИД регуляторов	$K_E = K_M$	T_a	T_M	K_{Π}	$K_{\text{И}}$	$K_{\text{Д}}$	$T_{\text{Д}}$
ПИ	0,34	0,0427	1,8229	0,06	0,0337		0,36
ПИД	0,34	0,0427	1,8229	0,06142	0,3374	0,0247	0,0046

Большую постоянную времени компенсирует ПИ-регулятор:

$$W_p(S) = \frac{K_p(T_M S + 1)}{T_M S} = K_p + \frac{K_p}{T_M S} = K_{\Pi} + \frac{K_U}{S}.$$

Для разомкнутой системы

$$W_{\text{раз}}(S) = \frac{K_{\text{СП}} K_p K_{\omega} (T_M S + 1)}{T_M S} \cdot \frac{1 / K_E}{(T_a S + 1)(T_M S + 1)} = \frac{K_{\text{СП}} K_p K_{\omega} / K_E}{T_M S \cdot (T_1 S + 1)}.$$

Введем обозначения

$$a = \frac{T_M K_E}{T_a K_{\text{СП}} K_{\Pi} K_{\omega}}, \quad K_{\Pi} = K_p = \frac{T_M K_E}{a T_a K}, \quad K_U = \frac{K_p}{T_M}.$$

Для преобразователя интегрально-дифференциального

$$W_p(S) = K_{\Pi} + \frac{K_U}{S} + \frac{K_{\text{Д}} S}{T_{\text{Д}} S + 1} = \frac{K_U}{S} \cdot \frac{\frac{K_{\text{Д}} + T_{\text{Д}} K_{\Pi}}{K_U} S^2 + \frac{K_{\Pi} + T_{\text{Д}} + K_U}{K_U} S + 1}{T_{\text{Д}} S + 1}.$$

Характеристики в переходном режиме представлено на рис. 2 при различных значениях «а». Этот коэффициент обобщенного динамического режима.

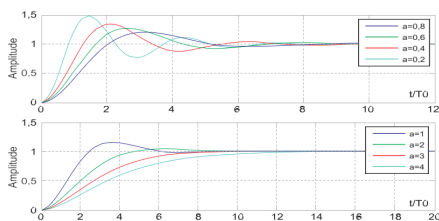


Рис. 2. Динамическая характеристика вторичного источника питания тягового электропривода

Рис. 2 выполнен в относительных единицах. Из рис. 2 видно, что при $a = 2$ характеристики имеют оптимальные значения. В замкнутой системе при оптимальных значениях имеют: перерегулирование $\delta = 4,3 \%$, время первого согласования $t_1 = 4,71T_0$, время переходного процесса $t_{пер} = 8,4T_0$. Параметры выбранного двигателя и регуляторов показаны в табл. 1 и 2 [7; 8].

Механическая характеристика при $M_H = \text{const}$ показана на рис. 3. Сигнал управления показан на рис. 3. Рабочая точка и ее изменение показано на рис. 3. Режим 1–1' соответствует генераторному режиму; 2–2' двигательному режиму, электромагнитному тормозу 3–3'. На конденсаторе во время переходного режима могут возникать перенапряжения (рис. 3) за счет того, что индуктивность накапливает энергию [17]:

$$W_L = \frac{L_a I_{\max}^2}{2} = \frac{L_a M_{\max}^2}{2K_M^2} = \frac{L_a (\gamma \varepsilon^*)}{2K_{\omega}^2 K_M^2}.$$

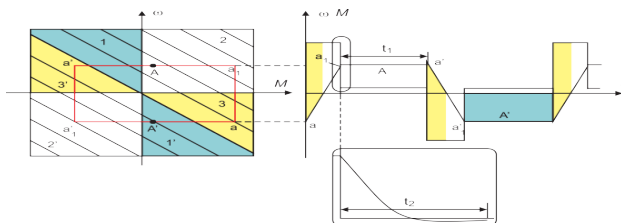


Рис. 3. Электромеханические и электромагнитные характеристики в одноконтурном тяговом двигателе

Результаты моделирования подтвердили возможность повышения энергетической эффективности и надежности тяговых электроприводов за счет оптимизации структуры вторичных источников и алгоритмов их управления. Проведенные расчеты и численные эксперименты показали, что грамотный выбор параметров вторичных источников питания позволяет существенно снизить динамические потери энергии, обеспечить стабильность напряжения на выходе и продлить срок службы элементов системы.

Разработанная модель может быть использована в качестве основы для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию архитектуры тяговых систем, разработку новых стратегий управления и совершенствование методов диагностики состояния вторичных источников питания.

Литература

1. Kolesnikov, I. K. The Choice of a Generalized Criterion for the Efficiency of an Automated Electric Drive of a Railway Rolling Stock / I. K. Kolesnikov, G. Sh. Abidova, S. H. Khakimov // Intelligent System for Industrial Automation (WCIS-2022): proceeding 12th World Conference Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – P. 281–288. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-53488-1_34 (дата обращения 12.03.2025).

2. Kolesnikov, I. K. Electric drive efficiency criterion for specific energy consumption. / I. K. Kolesnikov, A. P. Akhmedov, S. H. Nakimov // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы III Республиканской научн.-техн. конференции, г. Минск, 27–28 апреля 2023 г. / Белорус. национальный технический ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2023. – С. 408–411.

3. Краснов, И. Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях / И. Ю. Краснов. – Томск : Томский политехнический университет, 2012. – 186 с.

4. Faiz, M. B. Optimal design of three-phase InductionMotors and their comparison with a typical industrial motor / M. B Faiz, B. Sharifian // Computers and Electrical Engineering. – 2001. – Vol. 27. – P. 133–144.

5. Stević, Z. Supercapacitors as a Power Source in Electrical Vehicles / Z. Stević, M. Rajčić-Vujasinović // Electric Vehicles – The Benefits and Barriers. – Rijeka, 2011. – 168 p.

6. Хакимов, С. Х. Оценка эффективности асинхронного двигателя по поступающей от источника энергии / С. Х. Хакимов // Материалы 66-й Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, 25–29 апр. 2022. – Астрахань, 2022. – С. 684–686.

7. Мачулин, П. С. Современные проблемы разработки электропривода / П. С. Мачулин. // Молодой ученый. – 2016. – № 10(114). – С. 273–275.

8. Нос, О. В. Оптимальное векторное управление асинхронным двигателем по критерию минимума токов статора / О. В. Нос // Электротехника, электромеханика и электротехнология ЭЭЭ – 2007 : материалы третьей научн.-тех. конф. с международным участием / Новосибирский государственный ун-т. – Новосибирск, 2007. – С. 79–85.

9. Kayumov, S. N. Chet el tajribasi asosida energiya tejankor asinxron dvigatellarni tayyorlash texnologiyalarining rivojlanishi / S. N. Kayumov, S. N. Hakimov // Transportda resurs tejankor texnologiyalar: proceeding, 2021. – P. 101 – 108.

10. Хакимов, С. Х. Энергосберегающие технологии контактов электрических аппаратов в энергетическом строительстве / С. Х. Хакимов, С. Н. Каюмов // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II Республиканской научно-технической конференции, г. Минск, 28–29 апреля 2022 г. / Белор. национальный технический ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 291–297.

11. Physical and thermal properties of binary (Bi-Ti-O)-TiO₂ UHF-ceramics / H. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich, A. P. Akhmedov [et al.] // ICTEA International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, Toronto, May 28-June. – 2024. – Vol. 1., № 1. – URL: <https://journals.library.torontomu.ca/index.php/ictea/article/view/2158/1954> (дата обращения 03.03.2025).

12. Studying the magnetic field of a multilayer solenoid in the laboratory physics workshop / N. P. Yurkevich, Sauchuk G. K., Akhmedov A.P. [и др.] // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы Республиканской научно-технической конференции, г. Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белор. национальный технический ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 176–180.

13. Akhmedov, A. P. The use of solar panels to power the air conditioning and ventilation system of vans / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II Республиканской научно-технической конференции, г. Минск, 28–29 апр. 2022 г. / Белор. национальный технический ун-т [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 393–397.

Development of a mathematical model of the solar panel efficiency factor

Abidova G. Sh., Kurbanov I. B.
Tashkent State Transport University
Tashkent, Uzbekistan

With the tendency of energy and resource saving of primary sources of electric energy there is a necessity to consider and globally implement the use of secondary resources of electric energy. A common trend today is the use of solar panels. But based on the composition of the material used in the creation of solar panels, the type of inverter, the efficiency factor may vary. Also, to accurately determine the parameters of the efficiency factor, it is necessary to develop a mathematical model that would fully describe the operation of the solar panel. This paper discusses a method of describing the operation of a solar panel using a mathematical model.

The composition and design of the solar panel, its elements determine the efficiency of energy production by the finished product. At present, silicon-based solar panels (c-Si, mc-Si and silicon thin-film batteries), cadmium telluride CdTe, copper-indium (gallium)-selenium compounds $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$, and concentrator batteries based on gallium arsenide (GaAs) are used to generate electrical energy. Brief descriptions of each will be given below.

Silicon-based solar cells (SCs) account for about 85 % of all solar panels produced today. Historically, this is due to the fact that the production of silicon-based SBs used extensive technology and infrastructure of the microelectronics industry, the main ‘workhorse’ of which is also silicon. As a result, many key technologies of the microelectronics industry, such as silicon growth, coating, doping, have been adapted to silicon battery production with minimal changes and investments. In addition, silicon is one of the most abundant elements in the Earth's crust and accounts for 27–29 % by mass according to various data. Thus, there are no physical limitations to producing a significant fraction of the Earth's electricity with the available silicon (Si) reserves [1].

There are two main types of silicon SBs – those based on monocrystalline silicon (crystalline-Si, c Si) and those based on multicrystalline (multicrystalline Si, mc-Si) or polycrystalline. In the first case, high quality (and, consequently, more expensive) silicon grown by the Czochralski method is used, which is the standard method for producing silicon wafers for microprocessor and chip production. The efficiency of SBs made of monocrystalline silicon is usually 19–22 % [2].

In the second case, cheaper silicon produced by the block-cast method, which is specifically designed for the production of SBs, is used for the production of SBs. The resulting silicon wafers consist of many small multidirectional crystallites (typical size 1–10mm) separated by grain boundaries. Such defects in the crystal structure lead to lower efficiency – typical efficiency values of SBs made of mc-Si are 14–18 %. The lower efficiency of these SBs is compensated by their lower price, so that the price per watt of electricity produced is about the same for both c-Si and mc-Si based solar panels [3]. The following figure shows a schematic of the solar panel and possible consumption devices.

And further we consider methods of representing the parameters in the form of a mathematical model

$$q_t = \alpha (1 - r) G_{hi} - \eta G_{hi}.$$

where q_t – thermal generation per unit area, W/m^2 ; r – fraction of power reflected in the solar cell, $(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})/W$; α – fraction of power consumed by the solar cell; G_{hi} – direct global radiation, W/m^2 ; η – solar panel efficiency, %.

Convective transmission coefficient of the front part of the solar panel h_{cf} , $W/(m \text{ } ^\circ\text{C})$:

$$h_{cf} = \left[(2,8 - 3\nu_\nu)^3 + 4,74(t_c - t_a) \right]^{1/3}.$$

The convection transmission coefficient of the rear of the solar panel h_{cp} , $W/(m \text{ } ^\circ\text{C})$:

$$h_{cp} = \left[(2,1 - 2,3\nu_\nu)^3 + 3,80(t_c - t_a) \sin(\beta) \right]^{1/3}.$$

Solar panel front panel transmittance h_{rf} , $W/(m \text{ } ^\circ\text{C})$:

$$h_{rf} = \epsilon_f \left[6,67 \cdot 10^{-8} t_a^3 \left(1 + (t_c / t_a) \left(1 + (t_c / t_a) \right)^2 \right) \right].$$

where t_a is the ambient temperature, $^\circ\text{C}$; t_c is the photocell temperature, $^\circ\text{C}$;

The radiation transmission coefficient of the back of the solar panel h_{rp} , $W/(m \text{ } ^\circ\text{C})$:

$$h_{rp} = h_{rf} (\epsilon_f / \epsilon_p),$$

$$r_f = \sum \left(\frac{x}{k} \right)_i, \quad r_p = \sum \left(\frac{x}{k} \right)_i,$$

$$h_f = h_{cf} + h_{rf}, \quad h_p = h_{cp} + h_{rp},$$

$$a_f = 1 + h_f r_f, \quad a_p = 1 + h_p r_p,$$

where k is the conductivity of each encapsulating layer, $W/(m \text{ } ^\circ\text{C})$; v_v is the wind speed (m/s); β is the tilt angle of the PV generator, $^\circ\text{C}$; ϵ_f is the emissivity of the faceplate surface; ϵ_p is the emissivity of the faceplate surface; x is the thickness of each layer, m [4]; h_f – is the total conductivity coefficient and frontal thermal radiation, $W/(m^\circ\text{C})$; h_p is the global conductivity coefficient and subsequent thermal radiation, $W/(m^\circ\text{C})$; r_f is the thermal conductivity resistances of the frontal insulation materials ($m^2^\circ\text{C}/W$); r_p is the thermal conductivity resistances of the subsequent sealing materials ($m^2^\circ\text{C}/W$) [5].

Dew point temperature t_{pr} : the dew point is the temperature of air at which the vapour contained in it reaches the saturation state and begins to condense into dew [6]:

$$t_{pr} = \frac{243,2 \ln \left[\frac{e^{\left(\frac{\ln(6,11) + \frac{17,62t_a}{243,12+t_a}} \right)} 100}{h_r} \right] - 1559,72}{24,035 - \ln \left(\frac{e^{\left(\frac{\ln(6,11) + \frac{17,62t_a}{243,12+t_a}} \right)} 100}{h_r} \right)},$$

where h_r – relative humidity, %; t_a – ambient temperature, $^\circ\text{C}$.

Equivalent absolute sky temperature given for sky t_s :

$$t_s = t_a \left[0,8 + \frac{t_{pr}}{250} \right]^{0,25}.$$

Thermal radiation coefficients: the emissivity of an object (thermal radiation coefficient) – is the ratio of the emission power of an object at a given temperature to the emission power of a black body (ABB). ABB is defined as the surface that emits the maximum amount of energy at a given temperature.

The emissivity of the ABB is equal to 1,00 [7]:

$$s_f = s_p = \left[0,711 + 0,56 \frac{t_{pr}}{100} + 0,73 \left(\frac{t_{pr}}{100} \right)^2 \right] + 0,013 \cos \left(2\pi \frac{h}{24} \right) + 1,2 \cdot 10^{-4} (p_a - 1000),$$

where s_f – coefficients of thermal radiation into the sky from the front of the solar module; s_p – coefficients of thermal radiation into the sky from the back of the solar module; p_a – atmospheric pressure; h – hours of the day; t_{pr} – dew point temperature.

Thermal radiation coefficients to the ground:

$$w_f = \left(\frac{6,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \epsilon_f}{\frac{1 - \cos(\beta)}{2} (1 - \epsilon_f) + \epsilon_f} \right) (t_f^4 - t_g^4) (t_f - t_g),$$

$$w_p = \left(\frac{6,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \epsilon_p}{\frac{1 - \cos(\beta)}{2} (1 - \epsilon_p) + \epsilon_p} \right) (t_p^4 - t_g^4) (t_p - t_g),$$

where w_f is thermal radiation coefficients to the ground from the front of the solar module; w_p is thermal radiation coefficients to the ground from the rear of the solar module; t_g is equivalent absolute soil temperatures.

The following equations are solved using interactive mathematical methods:

$$t_c = \left[\frac{q_t + \left(\frac{w_f}{a_f} + \frac{w_p}{a_p} \right) (t_g - t_a) + \left(\frac{s_f}{a_f} + \frac{s_p}{a_p} \right) (t_s + t_a)}{\left(\frac{h_f}{a_f} + \frac{h_p}{a_p} \right)} \right] - t_a,$$

$$t_f = \left[\frac{(t_c - t_a) + r_f w_f (t_g - t_a) + r_f s_f (t_s - t_a)}{a_f} \right] - t_a,$$

$$t_p = \left[\frac{(t_c - t_a) + r_p w_p (t_g - t_a) + r_p s_p (t_s - t_a)}{a_p} \right] - t_a,$$

where t_f is the absolute temperatures of the front surface of the panel; t_a is the

ambient temperature; t_c is the PV cell temperature; t_p is the absolute temperatures of the back surface of the panel [8; 9].

This method is the standard approach, also called the nominal operating temperature of the cell (T_{NOCT}). The cell temperature (T_c) is calculated using the following formula:

$$T_c = T_a + \frac{G_i}{G_{NOCT}} (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}),$$

where T_a is the ambient temperature; G_i is the incident radiation in the panel plane; T_{NOCT} is measured at incident radiation $G_{NOCT} = 800 \text{ W/m}^2$, ambient temperature $T_{a,NOCT} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ and wind speed 1 m/s . T_{NOCT} is the data provided by the PV panel manufacturer, which depends on the technology by which it was built, but usually around 45°C [10–13].

From the Kurtz model, we can calculate the cell temperature using

$$T_c = T_a + Ie^{-3,473-0,0594v_v}.$$

The developed mathematical model of a solar panel (fig.) allows estimating the influence of both internal factors (U_{xx} , I_{kz}) and external factors (W , T , α) on the characteristics of solar panels.

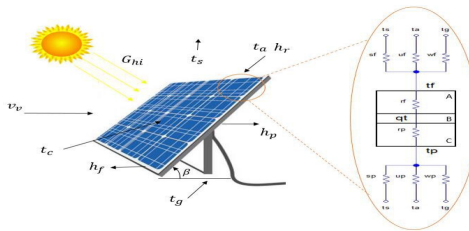


Fig. Solar panel operation diagram and possible consumption devices

The model is intended for designing different kinds of converters and describes all parameters of solar panel operation.

References

1. Investigation of solar absorber for small scale solar concentrating parabolic dish / B. M. Habtamu, V. Trygve, L. Jorgen [et al.] // ISES Solar World Congress : proceeding, Kassel, German, 28 Aug.–2 Sept. 2011. – Kassel, 2011. – P. 2616–2623.

2. Abidova, G. Sh. Calculation of the parameters of the distribution of the lighting intensity in the interference area of dynamic objects designed for optical systems / G. Sh. Abidova, F. B. Djurabayeva // *Reviewed Journal*. – 2020. – Vol. 6, № 9. – P. 238–242.

3. Abidova, G. Sh. A method for adapting an optical-electronic converter to a change in illumination in a system for observing dynamic objects / G. Sh. Abidova, F. B. Djurabayeva // *International Engineering Journal for Research & Development*. – 2020. – Vol. 5, № 7. – P. 1–6.

4. Study on the biparametrical transductions circuits with distributed parameters / S. F. Amirov, A. Kh. Sulliev, A. T. Sanbetova [et al.] // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 939. – P. 012008. – doi:10.1088/1755-1315/939/1/012008.

5. Abidova, G. Sh. Analysis of technologies for obtaining alternative energy sources and comparison of the main Characteristics of the efficiency of photovoltaic converters / G. Sh. Abidova, I. B. Kurbanov // *Novateur publications Journal NX*. – 2023. – Vol. 9, № 1. – P. 4230.

6. Abidova, G. Sh. Selection Of Alternative Energy Sources For Power Supply Systems Of Production Facilities / G. Sh. Abidova, I. B. Kurbanov // *American Journal of Science and Learning for Development*. – 2022. – Vol. 1, № 2. – P. 245–248.

7. Boltayev, O. T. Consideration of the nonlinearity of the magnetization curve in the Calculation of magnetic chains with a moving electromagnetic screen / O. T. Boltayev, F. A. Akhmedova, I. B. Kurbanov // *Universum: tekhnicheskije nauki*. – 2022. – Vol. 95, № 2. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13086> (дата обращения: 14.06.2025).

8. Mirsaatov, R. Uncertainty estimation in determination of Cocoons silkiness by thickness of their shell / R. Mirsaatov, S. Khudoyberganov, A. Akhmedov // *AIP Conference Proceedings*, 15 March 2023. – Vol. 2612, № 1. – P. 050010. – <https://doi.org/10.1063/5.0114683>.

9. Abidova, G. Sh. Analysis and selection of the type of analogue-digital converter used in the processing of informational data / G. Sh. Abidova, G. R. Qahharova, I. B. Kurbanov // *Материалы 66-й Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета, Астрахань, 25–29 апреля 2022*. – Астрахань, 2022. – С. 367–370.

10. Berdiyev, U. T. Problems and Tasks of Creating Energy-Saving Electric Machines / U. T. Berdiyev, U. N. Berdiyev, M. Toshpulatova // *5th ISPC Scientific Community: Interdisciplinary Research : proceeding, May 26–28 2022, Hamburg, Germany*. – Hamburg, 2022. – № 110. – P. 552–558.

11. Research of energy-saving composite materials for electric motors / U. B. Sulaymonov, A. Jelutkevich, M. Nabiyevena [et al.] // *E3S Web Conf.* . –

2023. – Vol. 461. – P. 01054. – URL: https://www.e3s-confere-nces.org/articles/e3sconf/abs/2023/98/e3sconf_rses23_01054/e3sconf_rses23_01054.html (дата обращения 13.05.2025).

12. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmechhydro23_05076/e3sconf_conmechhydro23_05076.html (дата обращения 10.04.2025).

13. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы Республиканской научно-технической конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорусский национальный технический университет [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 181–184.

УДК 620.9

Photovoltaic direct current power generation system

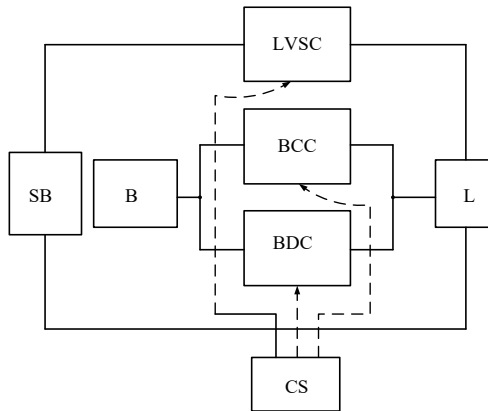
Abidova G. Sh., Kurbanov I. B.
Tashkent state transport university
Tashkent, Uzbekistan

The main source of energy for our planet is solar energy. It is the Sun that is the progenitor of all the main energy resources used by mankind – the Sun heats the atmosphere and the surface of the Earth, due to which winds blow, masses of water move, plants develop, organic fuels are formed. And in this regard, the potential of solar energy additionally provides such an opportunity as the use of solar energy to create alternative energy sources, and in this regard, the study of the properties of solar radiation is a particularly urgent task.

In this paper, a multiport dc-dc converter is proposed to be used as a converter. The three port converter contains three so called ports. Two are for solar panel and battery connection and the third one is for load connection.

The structural diagram of the autonomous solar-powered power supply system is shown in Fig. 1.

A multi-port converter has several advantages over stand-alone converters, such as fewer components, some circuit components are common to all ports. As a result, the system has a lighter weight and more compact assembly, which results in a lower cost of the inverter. In addition, there is no need to harmonize converters and transfer information between control systems.



The proposed solar electric power conversion system contains a solar current control channel, a charging channel and a discharging channel of the battery pack. Thus, this circuit acts as a link between the solar panel and the battery pack, and increases the output voltage for further conversion in the AC link.

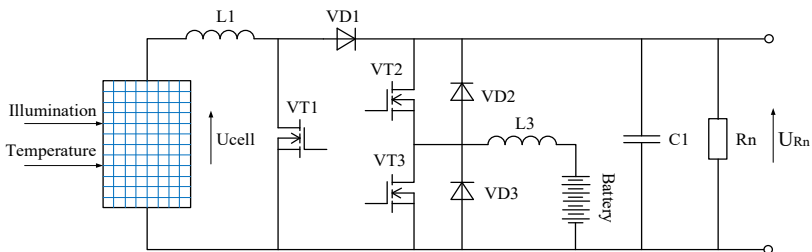


Fig. 2. DC/DC converter

The multiport inverter contains three so-called ports. Two are used to connect the solar and battery, and the third one is used to connect the load. Such a converter has a number of advantages over standard converters, such as fewer components because some circuit components are common to all ports, resulting in a system with a lower mass and more compact packaging, which provides a lower cost of the converter. In addition, there is no need to harmonize inverters and transfer information between control systems as it is often designed to be shared. This converter can operate in three channels depending on which transistor receives the control pulses.

Solar current channel. The substitution diagram (Fig. 3) represents a step-up converter. Consequently, the voltage at the load must be greater than the voltage at the solar panel. The stabilizer is controlled by pulse width modulation. Control pulses are supplied to transistor $VT1$.

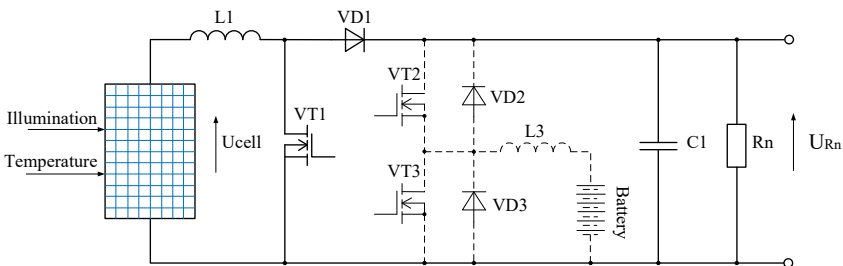


Fig. 3. Solar current regulator

This circuit contains two switching elements ($VT1$, $VD1$) and two reactive elements ($L1$, $C1$). During the interval of energy accumulation in the inductor, the transistor key is open, the solar battery voltage is applied to the inductor. During the accumulation interval, there is a linear rise of the inductance current from zero. At the same time, the diode is reverse energized and closed and the capacitance slowly discharges to the load. The energy storage and discharge intervals are described by the following system of equations:

$$\begin{cases} L \frac{di_L(t)}{dt} = U_c(t) \\ C \frac{dU_c(t)}{dt} = -\frac{U_c(t)}{R} \end{cases},$$

$$\begin{cases} L \frac{di_L(t)}{dt} - U_{in}(t) = -U_C(t) \\ i_L(t) - \frac{U_C(t)}{R} - C \frac{dU_C(t)}{dt} = 0 \end{cases},$$

where $L = L_1$; $C = C_1$; $U_{in} = U_{cell}$; $R = R_n$.

Battery charge channel. The charge controller, shown in Fig. 4, controls charge battery in the mode of varying, depending on the level of illumination, the current while maintaining the voltage at the load. Commutation of transistor VT2 regulates the current flowing into the battery.

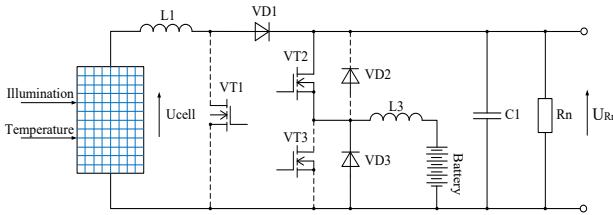


Fig. 4. Battery charge regulator

The charging current decreases as the charge accumulates, thus avoiding the accumulation of gas in the storage cells, which in turn increases their lifetime. Thus, the operation of the charge controller is similar to that of a stabilizer, and all the excess energy produced by the solar panel is stored in the storage battery, leading to an increase in the efficiency of the system as a whole. The conversion stages are described by the following systems of equations:

$$\begin{cases} L \frac{di_{L2}(t)}{dt} = -U_{AKB}(t) \\ L \frac{di_{L1}(t)}{dt} + U_{in}(t) = -U_C(t) \\ i_L(t) - C \frac{dU_C(t)}{dt} - \frac{U_C(t)}{R} = 0 \end{cases},$$

Battery discharge channel. The charge controller (Fig. 5), is a converter, which increases the voltage received from the battery to the load voltage by switching the VT3 switch.

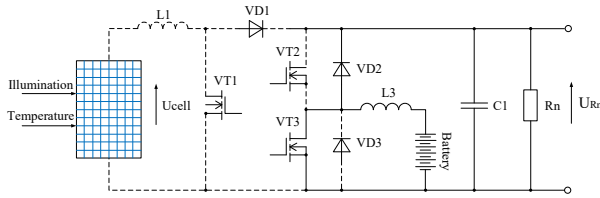


Fig. 5. Battery discharge regulator

The voltage from the battery, as in the case of the solar current channel, is boosted to the required level and stabilized at the load by storing energy in an inductance and switching the power switch. These processes are described by the following system of equations

$$\begin{cases} L \frac{di_{L2}(t)}{dt} - U_{AKB}(t) = -U_C(t) \\ i_{L2}(t) - \frac{U_C(t)}{R} - C \frac{dU_C(t)}{dt} = 0 \end{cases},$$

where $L = L_2$; $C = C_1$; $U_{in} = U_{cell}$; $R = R_n$.

Setting up a neural network for the inverter. Despite the advantages of a three-port inverter, it is necessary to ensure timely switching between the operating channels. Consequently, the design of the control system becomes the most challenging task.

The main component of such a control system will be the unit that ensures that the inverter operates at the maximum power point, i.e. the control system must work in conjunction with the maximum power point tracking algorithm.

Since solar panel characteristics are non-linear and maximum power can only be achieved at one point. In order to extract maximum power from PV panels, regardless of weather conditions and load size, it is necessary to operate at the maximum power point to maximize energy efficiency. Consequently, a control system that provides a maximum power point tracking function for all levels of solar irradiation becomes a key device for the successful operation of off-grid systems. Since solar cell characteristics are non-linear and maximum power can only be achieved at a single point. To extract maximum power from PV panels, regardless of weather conditions and load, it is necessary to operate at the point of maximum power to maximize energy efficiency. Therefore, a control system that provides the function of tracking the maximum power point for all levels of solar irradiation becomes a key device for the successful operation of off-grid systems.

The neural network contains an input layer, two hidden layers and one output layer. The input data of the network are: illuminance, temperature, voltage and current of the solar module. The signal of the output neuron is equal to the voltage at which the maximum power of the solar module is reached. Fig. 6 shows the overall architecture of the ANN that was used in the initial setup of the control system to simplify the task of control signal generation.

But, as it was described earlier, the use of such a neural network in the control system implies the use of additional sensors. To a greater extent, this concerns the use of illumination sensors. Since the illumination must be determined accurately enough for the system to work properly, there must be a sufficient number of sensors installed in the correct position. Faced with this problem, attempts have been made to do away with the illuminance sensor. Short circuit current has a proportional dependence on illumination, it can be assumed that the solar panel current data will be sufficient for correct operation of the ANN.

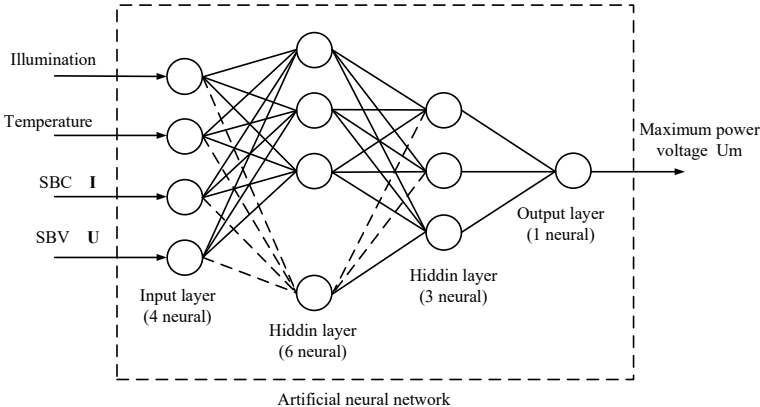


Fig. 6. Topology of artificial neural network

Thus, according to the improved methodology of ANN creation and training, only the values of temperature, voltage, and current of the solar panel are input to the neural network. Some problems encountered in the previous study were avoided by increasing the amount of training data and increasing the number of neurons in hidden layers. The architecture of the developed neural network is presented in Fig. 7.

Structure of the management system. For effective operation of the converter, it is necessary to ensure that the maximum power of the solar panel is taken away during operation of any of the channels. Depending on the converter channel, the operation of the control system was divided into modes depending on the

operating conditions of the autonomous system as a whole. The operating conditions of the autonomous system are: daytime, when the solar panel produces enough energy to supply the load; evening or cloudy time, when solar energy is insufficient to supply the load with the required amount of energy; dark time of day, when the solar panel does not produce energy.

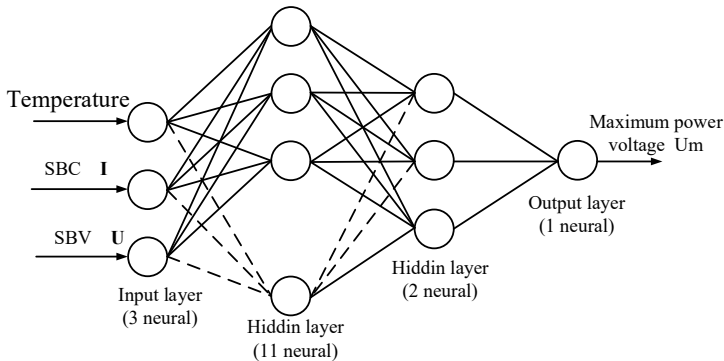


Fig. 7. Topology of artificial neural network

Based on these conditions, four modes of operation can be distinguished:

1. The first mode is to find the point of maximum power of the solar panel and stabilization of the voltage at the load. The artificial neural network is used to estimate how much energy from the solar panel remains unused and whether a battery can be connected.

2. If there is an excess of energy from the solar panel, this system allows you to «give» part of the energy to the battery by connecting the battery charging channel. The control system, guided by the data received from the INS, ensures a smooth transition from mode 1 to mode 2 so that no voltage sags occur at the load when the battery is connected. The energy priority remains with the load, and the excess energy from the solar panel is stored in the battery.

3. In the event that the illumination starts to decrease, the control system, receiving a task signal from the artificial neural network, gradually reduces the charging current of the battery to avoid overvoltage on the load. In this case, the maximum power is drawn from the solar panel, and the lack of energy is replenished by the battery.

4. The battery provides the load with stabilized voltage at the required level. The simplified structure of the developed control system is shown Fig. 8.

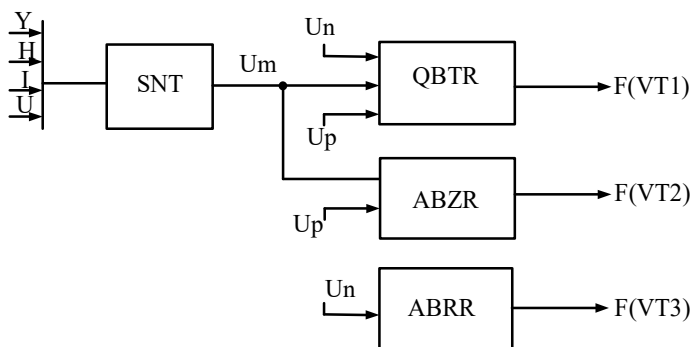


Fig. 8. Structure of the multiport converter control system direct current

Simulation model. The power circuit model and intelligent control system implemented on Matlab software elements are shown in Fig. 9–10.

There are several main blocks in the control system:

1. Artificial neural network block. ANN provides the mode tracking the maximum power point. The network input receives signals corresponding to the conditions in which the solar module is located: temperature, solar radiation, current and voltage at the output terminals of the solar module. The neural network generates two signals: a voltage signal corresponding to the maximum power voltage and a signal of the difference between the voltage at the maximum power point and the actual maximum power voltage of the solar panel.

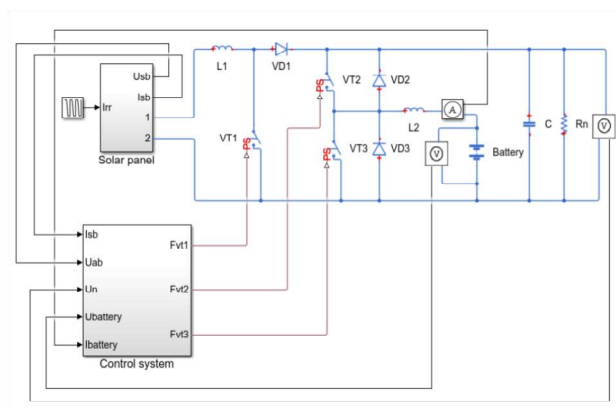
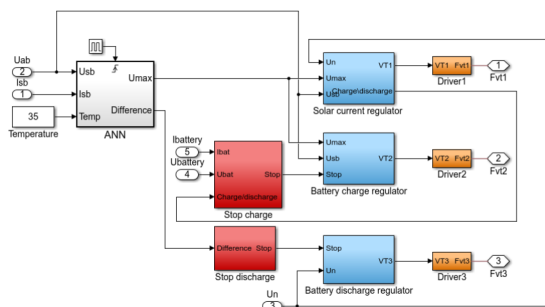


Fig. 9. Power circuit diagram of the converter



2. Current regulator SB. This block compares the signal of the INS with the solar battery voltage and determines the operation mode of the circuit. Next, the PWM block generates control pulses that are fed to transistor $VT1$.

2. Current regulator SB. This block compares the signal of the INS with the solar battery voltage and determines the operation mode of the circuit. Next, the PWM block generates control pulses that are fed to transistor $VT1$.

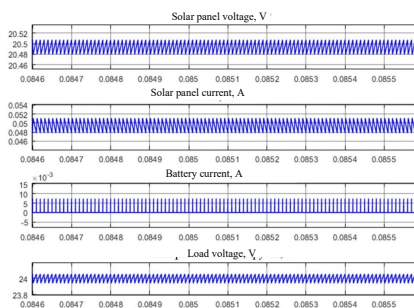
3. Battery charge regulator. Comparing the voltage of the solar panel with the voltage of the maximum power of the INS, the PWM generates control pulses of transistor VT2, storing the excess energy of the SB into the battery.

4. Battery discharge regulator. Performs the function of voltage stabilization on the load when powered by the battery.

5. There are also charge and discharge prohibition blocks in the control system, providing protection against overcharging or complete discharge of the battery, which significantly extends the life of the battery.

The current and voltage diagrams for the main operating modes of the circuit are given as the results of numerical experiment.

Fig. 11 shows the time diagrams of input and output voltages and battery current. These conditions correspond to the illumination level $E = 50,0 \text{ W/m}$, temperature $T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Analyzing the obtained graphs, it can be stated that this illumination is sufficient to stabilize the voltage at 24 V. Excess energy is stored in the accumulator battery. the supply voltage received from the output of the neural network is $UMPPT = 20,32 \text{ V}$. In this case, the steady-state voltage at the solar panel is $U_{sb} = 20,49 \text{ V}$. Thus, the system draws maximum energy from the solar panel with an accuracy of 99,2 %.

References

1. Investigation of solar absorber for small scale solar concentrating parabolic dish / B. M. Habtamu, V. Trygve, L. Jorgen [et al.] // ISES Solar World Congress : proceeding, Kassel, German, 28 Aug.–2 Sept. 2011. – Kassel, 2011. – P. 2616–2623.
2. Безруких, П. П. Возобновляемая энергетика как стимул развития электротехнической промышленности / П. П. Безруких // Электро. – 2010. – № 1. – С. 9–14.
3. Smith, R. Poised for Growth / R. Smith, L. Lohn // Sun and Wind Energy. 2009. – № 6. – P. 74–78.
4. Study on the biparametrical transductions circuits with distributed parameters / S. F. Amirov, A. Kh. Sulliev, A. T. Sanbetova [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 939. – P. 012008. – doi:10.1088/1755-1315/939/1/012008.
5. Boltayev, O. T. Consideration of the nonlinearity of the magnetization curve in the Calculation of magnetic chains with a moving electromagnetic screen / O. T. Boltayev, F. A. Akhmedova, I. B. Kurbanov // Universum: tekhnicheskie nauki. – 2022. – Vol. 95, № 2. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13086> (дата обращения: 14.06.2025).
6. Abidova, G. Sh. Analysis and selection of the type of analogue-digital converter used in the processing of informational data / G. Sh. Abidova, G. R. Qahharova, I. B. Kurbanov // Материалы 66-й Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета, Астрахань, 25–29 апр. 2022. – Астрахань, 2022. – С. 367–370.
7. On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems / D. Sera, L. Mathe, T. Kerekes [et al.] // IEEE J. Photovolt. – 2013. – Vol. 3, № 3. – P. 1070–1078.
8. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401. – P. 05076. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/38/e3sconf_conmechhydro23_05076/e3sconf_con mechhydro23_05076.html (дата обращения 10.04.2025).
9. Zhang, N. A review of topologies of three-port DC–DC converters for the integration of renewable energy and energy storage system / N. Zhang, D. Su-tanto // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2016. – Vol. 56. – P. 388–401.

10. Kabir E. Solar energy: Potential and future prospects / E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, K.-H. Kim // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2018. – Vol. 82. – P. 894–900.

УДК 622.631.6

Ветровые эрозионные процессы в Ахалском веляте Туркменистана

Мыратбердиев Я., Аманов М. Э., Тайлиев Я. Г., Годыков П. Е.
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашгабат, Туркменистан

В Ахалском веляте при совместном влиянии антропогенных и природных факторов деструктивные процессы в почвах связаны, прежде всего, с развитием ветровой эрозии почв. Среди климатических факторов, способствующих развитию эрозии почв, основными являются: температура воздуха, количество и интенсивность осадков, а также скорость и направление ветров.

В разных природных зонах климатические характеристики могут существенно отличаться, что определяет преимущественное развитие ветровой эрозии почв. Это необходимо учитывать при организации системы противоэрозионных мероприятий в регионе. Ветровая эрозия возникает на больших территориях и загрязняет окружающую природную среду атмосферы и гидросферы [1–3].

Таблица 1
Значения средних месячных и годовых температур воздуха t , $^{\circ}\text{C}$
и осадков, мм

Месяцы	1	2	3	4	5	6	В год
$t, ^{\circ}\text{C}$	0,6	3,9	7,4	16,2	23,3	27,0	
Осадки, мм	24	32	43	30	25	19	
Месяцы	7	8	9	10	11	12	В год
$t, ^{\circ}\text{C}$	30,5	29,2	21,9	16,4	12,5	2,8	
Осадки, мм	6	2	3	11	17	16	

На рис. 1 показана повторяемость (%) направлений ветра за год.

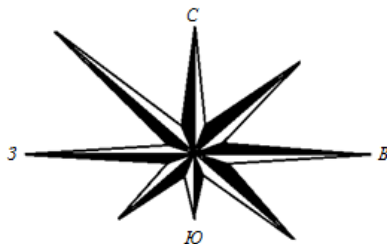


Рис. 1. Повторяемость (%) направлений ветра за год

Анализ данных государственного мониторинга земель и других систем наблюдений за состоянием окружающей среды показывает, что практически во всех регионах Туркменистана продолжается тенденция к ухудшению состояния земель. Среди опасных негативных процессов на территории Ахалского вelayата Туркменистана интенсивно развиваются ветровая эрозия, зарастание сельскохозяйственных угодий и ведущие к потере плодородия сельскохозяйственных угодий. Пустыня Каракум давно стала полигоном для решения важнейших теоретических и практических задач, имеющих огромное значение для всего международного научного сообщества в области освоения пустынь. Практикой доказана возможность снижения воздействия экстремальных факторов природной среды на жизнь человека в пустыне и улучшения ее экологического состояния посредством обогащения ландшафта и рационального использования ресурсов, опираясь на передовой опыт освоения аридных территорий [4; 5]. Ветровой режим Ахалского вelayата характеризуется в рис. 2.



Рис. 2. Песчаные барханы

Пустынные и полупустынные земли, особенно песчаные, часто становятся источниками серьезных экологических проблем. Ветер, гуляющий по

этим просторам, поднимает в воздух огромное количество песка и пыли, загрязняя атмосферу. Эта пыль может переноситься на большие расстояния, влияя на качество воздуха в других регионах и даже на климат. Кроме того, ветровая эрозия приводит к тому, что песок засыпает населенные пункты, дороги, сельскохозяйственные угодья и другие важные объекты. Это не только ухудшает условия жизни людей, но и наносит серьезный ущерб экономике. Засыпанные песком орошаемые земли становятся непригодными для использования, что ведет к сокращению урожаев и продовольственной безопасности [6].

В конечном итоге, все эти процессы способствуют опустыниванию – деградации земель, приводящей к потере их плодородия и биоразнообразия. Опустынивание, в свою очередь, усугубляет экологические проблемы и создает замкнутый круг негативных последствий. Поэтому так важно разрабатывать и внедрять эффективные меры по борьбе с опустыниванием и защите окружающей среды в пустынных и полупустынных регионах [1].

Пустынно-песчаные почвы весьма скудны на питательные вещества. В пахотном слое их содержится порядка 0,06–0,22 %, в 1 кг почвы содержание фосфора 2–5 мг. Водосодержание песков 6–7 %, водопроницаемость 5–7 мм/мин. Есть возможность устранения данных явлений посредством биологических методов. С точки зрения теоретических и практических основ современной науки возникает необходимость изучения имеющихся и разработки новых методов борьбы с движением песков [1; 4].

Разрабатывается научно обоснованный подход к защите сельскохозяйственных угодий, дорожной инфраструктуры, орошаемых земель и других объектов от негативного воздействия движущихся песков. Этот подход включает создание экологически чистых биологических защитных зон и предоставление производству детальных методик их формирования. Для эффективной защиты необходимо точно определить направление и скорость ветра, а также количественно оценить интенсивность перемещения песка в единицу времени.

Таким образом, интенсивность движения песков за один час определяется из следующего выражения:

$$Q = K(V^3 - V_t^3),$$

где, Q – количество песка, перемещаемого в течение 1 ч на длину в 1 м на местности; K – угловой коэффициент (зависит от рельефа местности, состояния покрова, влажности почвы, в среднем равно 0,335); V – средняя скорость активного ветра на высоте 0,15 м, $V = 3,75$ м/с; V_t – продолжительность ветров различной скорости в часах.

Метеообъектом «Учаджи» в течение 6 месяцев зарегистрировано порядка

70-ти активных ветров. Пусть, $V = 10$ м/с; $V_t = 8$ м/с. Тогда, при расчете по выражению в течение 10 мин (10 мин = 1/6 часть одного часа):

$$Q = K(V^3 - V_t^3) = 0,335(10^3 - 8^3):6 = 27,24 \text{ кг/1 м.}$$

Значит, в течение 10 мин ветер покрывает примерно 27,24 кг песком 1 м длины дорожных систем. На основании анализа и практики, опытные работы предлагаемого метода проведены в 2024 года на дорожных системах учебно-экспериментального хозяйства Туркменского сельскохозяйственного университета им. С. А. Ниязова. Участок, где расположена экспериментальная площадка, состоит из песчаных холмов высотой 2–5 м (рис. 1). В связи с малым содержанием в песчано-пустынной почве глины и гумуса, его абсорбционные способности низки. В 100 гр почвы, фосфорный обмен равен 6,8 мг/кг, элемент азота по почвенному профилю составляет 0,11–0,22 % [3]. Формирование механического состава почвы связано с образованием Копетдагской горной системой, на экспериментальной площадке изучено, что осаждение веществ, смываемых и приносимых с гор и предгорных холмов дождевыми, снеговыми водами и руслами рек, связано с аллювиально-проллювиальным генезисом. Почвенный профиль можно объяснить преобладанием встречающихся здесь лесовыми породами.

На территориях с песчано-пустынными почвами, с легким механическим составом, влияние питательных элементов на растения происходит намного быстрее, однако их резервное количество в составе почвы ограничено [3; 5]. Водопроницаемость и водосодержание, объемные и удельные веса, пористость песчано-пустынных почв барханных видов зависят от механического состава. Как видно из проведенных опытных работ, около 80 % почвы состоит из песчаных частиц. Эти почвы связаны с остатками золотых песков и аллювиально-проллювиальным генезисом. Песчано-почвенные земли очень бедны гумусом и питательными элементами, объемные и удельные веса высоки, а их структура в низкой степени. Из-за засушливых климатических условий, высокоградусной жары, низкого накопления в почве растительных остатков, приводит к низкому содержанию в пустынно-песчаной почве растительных остатков. Накопленные таким образом органические вещества за короткое время переходят в минеральный вид [2].

Создана экспериментальная площадка (50×50) для образования биологической полосы, состоящей из песчано-пустынной древесной растительности, защищающий площадки с каждой стороны от движения песка. Работы по образованию биологической полосы начались в ноябре 2023 года. Произрастающие в природных условиях саженцы песчано-пустынной древесной растительности: солянки Рихтера (*Salsola richteri*), саксаула (*Haloxylon*

aphyllum) и белого саксаула (*Haloxylon persicum*) посажены на экспериментальной площадке в 4-х метровом междурядье и расстоянием между саженцами в 2 м. При посадке саженцев древесной растительности в лунку, они политы водой. Растения выращены только природной дождевой водой. Производились фенологические наблюдения работ полям, проверены средние показатели по длине роста, толщине нижнего стебля, количеству веток и виду листьев и установлено, что растения хорошо растут (табл. 2; 3).

Таблица 2

Показатели фенологического, 18. 07. 2023

Название пустынно-песчаной растительности	Высота растения	Толщина нижнего стебля, см	Количество веток	Вид листьев
Солянка Рихтера	0,76	0,76	5	хвоя
Саксаул	0,51	0,57	4	хвоя
Саксаул белый	0,62	0,69	3	хвоя

Таблица 3

Показатели фенологического, 19. 11. 2024

Название пустынно-песчаной растительности	Высота растения	Толщина нижнего стебля, см	Кличество веток	Вид листьев
Солянка Рихтера	1,06	1,16	9	хвоя
Саксаул	0,92	1,03	7	хвоя
Саксаул белый	1,02	1,10	6	хвоя

На рис. 3–5 представлены результаты исследований средней длины роста, средней толщины нижних стеблей, среднего количества веток различных видов кустарниковых растений. Образцы вегетативных органов (корня, стебля и листьев) растений биологической полосы, предотвращающих движение песков получены дважды: 18.07.2023 года и 19.11.2024 года. Биологическая полоса, предотвращающая движение песков, полностью защищает внешнюю среду дорожных систем от ветровой эрозии. Испытании предлагаемой методики, признана пригодной для населенных пунктов, дорожных систем, орошаемых земель и других.

При использовании данного метода для защиты от воздействий *ветровой эрозии*, то есть окружающей среды, дорожных систем, орошаемых земель и др, используется вышеуказанные способы. Осенью предлагается посадка в 4-х метровом междурядье и расстоянием между саженцами в 2 м, стойких засушливому жаркому климату и безводью нашей страны растений, таких как Солянка Рихтера (*Salsola richteri*), саксаул (*Haloxylon aphyllum*) и саксаул белый (*Haloxylon persicum*), а также саксаул (*Haloxylon*

aphyllum), хвойник шишконосный (*Ephedra strobilacea*), ива южная (*Salix excelsa*), селин (*Stipagrostis*).

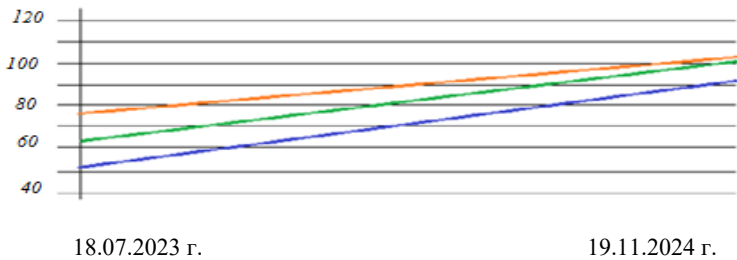


Рис. 3. Средняя длина роста:
— солянка Рихтера; — саксаул; — саксаул белый

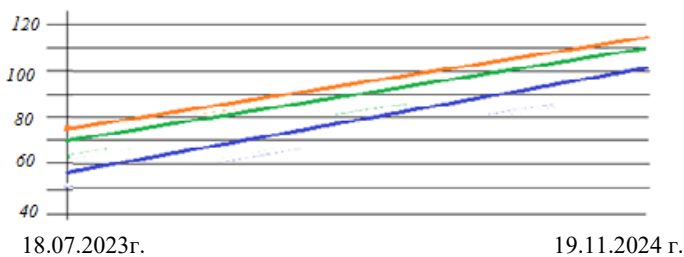


Рис. 4. Средняя толщина нижних стеблей:
— солянка Рихтера; — саксаул; — саксаул белый

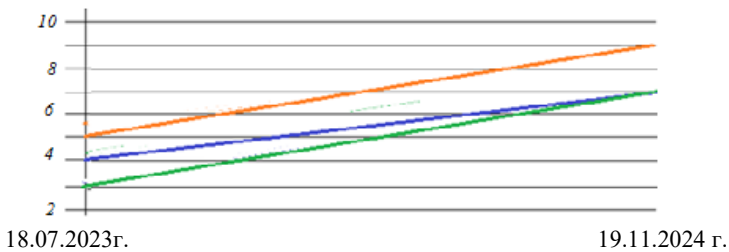


Рис. 5. Среднее количество веток:
— солянка Рихтера; — саксаул; — саксаул белый

В заключении, хотелось бы отметить, что правильное высаживание определенных видов растений вдоль дорог – как железнодорожных, так и автомобильных – может стать эффективным барьером против песчаных бурь и, следовательно, защитить дорожное полотно от разрушительного воздействия ветра. Помимо практической пользы, это преобразит туркменские степи, придав им неповторимый национальный колорит и сделав их более привлекательными. Такое озеленение положительно скажется и на здоровье населения: растения будут поглощать углекислый газ, выделяя взамен кислород и очищая воздух от пыли. В долгосрочной перспективе это поможет замедлить процесс опустынивания и откроет новые возможности для бережного использования природных ресурсов в различных сферах экономики. Более того, создание таких зеленых зон будет способствовать развитию культурного животноводства и реализации важных экологических инициатив. В результате, мы получим улучшенный микроклимат в сельскохозяйственных районах, снижение скорости ветра и уменьшение ветровой эрозии.

Литература

1. Геннадиев, А. Н. География почв с основами почвоведения / А. Н. Геннадиев. – М. : КДУ, 2012. – 520 с.
2. Волков, Н. Г. Закрепление песков в аридных регионах / Н. Г. Волков. – Волгоград : ВНИАЛМИ, 2005. – 180 с.
3. Myratberdiýew, Ý. Ýer gurluşygynda geodeziýa işleri / Ý. Myratberdiýew – Aşgabat : «Ylym» neşirýaty, 2013. – 256 s.
4. Berdimuhamedow, S. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň sanly menzilleri / S. Berdimuhamedow. – Aşgabat : Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2024. – 368 p.
5. Babaýew, A. G. Çöllər we çölleşmegiň meseleleri / A. G. Babaýew. – Aşgabat : Türkmen döwlet neşirýat gullugy. 2012. – 368 s.
6. Федотов, В. И. Ветровая эрозия почв и борьба с ней / В. И. Федотов. – М. : МГУ, 2001. – 160 с.

**Modern technologies of training
as a means of improving the quality of education**

Akmuradova G. G.
Turkmen state architecture and construction institute
Ashgabat, Turkmenistan

The main goal of innovative educational technologies is to prepare a person for life in a constantly changing world. The essence of such training is to focus the educational process on the potential of a person and their implementation. Education should develop mechanisms of innovative activity, find creative ways to solve vital problems, and promote the transformation of creativity into a norm and form of human existence. Innovative activity presupposes a system of inter-related types of work, the totality of which ensures the emergence of real innovations.

The main goal of innovative technologies of education is to prepare a person for life in a constantly changing world. The essence of such training is to focus the educational process on the potential of a person and their implementation. Education should develop mechanisms of innovative activity, find creative ways to solve vital problems, and promote the transformation of creativity into a norm and form of human existence. Innovative activity involves a system of interconnected types of work, the totality of which ensures the emergence of real innovations. Deep processes occurring in the education system lead to the formation of a new ideology and methodology of education as an ideology and methodology of innovative education. Innovative technologies of education should be considered as a tool with the help of which a new educational paradigm can be implemented [1–6].

The main goal of innovative technologies of education is to prepare a person for life in a constantly changing world. The essence of such training consists in the orientation of the educational process on the potential capabilities of a person and their implementation. Education should develop mechanisms of innovative activity, find creative ways to solve vital problems, contribute to the transformation of creativity into the norm and form of human existence. Innovative activity presupposes a system of interrelated types of work, the totality of which ensures the emergence of real innovations. Namely:

– research activities aimed at obtaining new knowledge about how something can be (discovery), and how something can be made (invention);

– project activities aimed at developing special, instrumental and technological knowledge about how, based on scientific knowledge, it is necessary to act in given conditions in order to get what can or should be (innovative project);

– educational activities aimed at the professional development of subjects of a certain practice, at the formation of personal knowledge (experience) in each person about what and how they should do so that the innovative project is embodied in practice (implementation). Innovative technologies in education are the organization of the educational process, built on qualitatively different principles, means, methods and technologies and allowing to achieve educational effects, characterized by:

- acquisition of the maximum amount of knowledge;
- maximum creative activity;
- a wide range of practical skills and abilities.

What is innovative education today? This is an education that is capable of self-development and that creates conditions for the full development of all its participants; hence the main thesis: innovative education is a developing and evolving education. What is innovative educational technology? It is a complex of three interrelated components: Modern content that is transmitted to students involves not so much the acquisition of subject knowledge as the development of competencies. This content should be well structured and presented in the form of multimedia educational materials that are transmitted using modern means of communication. Modern teaching methods are active methods of developing competencies based on the interaction of students and their involvement in the educational process, and not just on the passive perception of the material. Modern learning infrastructure, which includes information, technological, organizational and communication components that allow you to effectively use the advantages of distance learning. In the current conditions of modernization of Russian education, the goals and objectives facing the school and teachers are changing. The emphasis is shifting from «knowledge acquisition» to the formation of «competencies». The transition to competency-based education began in 2002. The system of forming key competencies includes communicative competence and a model of forming social competencies. In practice, this is expressed in the formation of communication skills, skills and abilities to act in social situations, the ability to take responsibility, develops skills of joint activities, the ability to self-development; personal goal setting; self-actualization. Promotes the development of tolerance; the ability to live with people of other cultures, languages, religions.

Thus, there is a reorientation towards a humanistic approach to teaching. Innovative pedagogical technologies are being introduced, providing for the consideration and development of individual characteristics of students. Modern educational technologies can be considered as a key condition for improving the

quality of education, reducing the workload of students, and more efficient use of study time. Currently, a wide variety of pedagogical innovations are used in school education. However, the following most characteristic innovative technologies can be distinguished.

1. Information and communication technologies (ICT) in subject teaching.

Information and communication technologies (ICT) are of key importance at all levels of the educational system. At each stage of cognitive activity, scientific research and practical applications in all branches of knowledge, information and communication technologies simultaneously perform the functions of tools and objects of cognition. The peculiarity of information and communication technologies is their universality, they are a tool that is used in all branches of knowledge: humanitarian, natural science, socio-economic. Consequently, the innovative nature of ICT development directly affects other branches of knowledge that shape the worldview of a young specialist, improving the didactic and methodological presentation of knowledge, increasing the ability to perceive and generate knowledge, thereby introducing an innovative element into the comprehensive development of the individual. The use of information and communication technologies makes it possible to significantly speed up the process of searching and transmitting information, transform the nature of mental activity, and automate human labor. Experience has shown:

a) the school's information environment, including various forms of distance education, significantly increases students' motivation to study subject disciplines, especially using the project method;

b) the computerization of education is attractive to students because it increases the efficiency of student work, increases the share of creative work, and expands the opportunity to receive additional education in the subject within the school;

c) the computerization of teaching is attractive to teachers because it allows them to increase their productivity and improves the overall information culture of teachers.

2. Personality-oriented technologies in teaching the subject.

Personality-oriented technologies place the child's personality at the center of the entire school educational system, ensuring comfortable, conflict-free and safe conditions for its development, and the realization of its natural potential. The child's personality in this technology is manifested in the students' mastering of educational programs in accordance with their capabilities and needs.

3. Information and analytical support for the educational process and quality management of the student's education.

The use of such innovative technology allows us to objectively and impartially track the development of each individual child, class, parallel, and school as

a whole. With some modification, it can become an indispensable tool in preparing class-summary control, studying the state of teaching any subject of the curriculum, studying the work system of an individual teacher.

4. Monitoring intellectual development. Analysis and diagnostics of the quality of education of each student using testing and plotting graphs of the dynamics of academic performance.

5. Educational technologies as the leading mechanism for the formation of a modern student.

Educational technologies are implemented in the form of involving students in additional forms of personality development: participation in cultural events according to national traditions, training in theater studios, children's creativity centers, etc. 6. Didactic technologies as a condition for the development of the educational process of educational institutions.

Here, both well-known and proven methods and new ones can be implemented. These are independent work with the help of a textbook, a game, design and protection of projects, training with the help of audiovisual technical means, a consultant system, group, differentiated methods of training - a system of small groups, etc.

7. Psychological and pedagogical support for the introduction of innovative technologies in the educational process of the school.

It is assumed that there will be a scientific and pedagogical justification for the use of certain innovations. Their analysis at methodological councils, seminars, consultations with leading specialists in this field.

Thus, the experience of a modern Russian school has a wide arsenal of application of pedagogical innovations in the learning process. The effectiveness of their application depends on the established traditions in the general educational institution, the ability of the teaching staff to perceive these innovations, the material and technical base of the institution. New educational standards introduce a new direction of assessment activities – assessment of personal achievements. It is becoming important for society to objectify the personal achievements of each subject of the educational process: student, teacher, family. In the standards, the final assessment of a student also includes an accumulated assessment, which characterizes the dynamics of individual educational achievements throughout all years of study at school. The portfolio is the optimal way to organize the cumulative assessment system. This is a way of recording, accumulating and assessing the student's work, results, indicating his efforts, progress and achievements in various areas over a certain period of time. For a student, a portfolio is an organizer of his educational activities, for a teacher – a means of feedback and an instrument of assessment activities. In this context, a student should be considered any learner, and a teacher should be considered the leader of the learning process. The choice of the portfolio type depends on the purpose of its creation. In addition

to general educational skills to collect and analyze information, structure and present it, a portfolio allows you to develop higher-order intellectual skills – meta-cognitive skills.

The student must learn:

- select and evaluate information;
- accurately determine the goals that he would like to achieve;
- plan his activities;
- give assessments and self-assessments;
- track your own mistakes and correct them.

Using these technologies in innovative teaching, the teacher makes the process more complete, interesting, and rich. When crossing subject areas of natural sciences, such integration is simply necessary for the formation of a holistic worldview and worldview of students. Thus, the goal of innovative activity is a qualitative change in the personality of the student compared to the traditional system. This becomes possible due to the introduction of didactic and educational programs unknown to practice into professional activities. Developing the ability to motivate actions, independently navigate the information received, developing creative, unconventional thinking, developing children by maximizing their natural abilities, using the latest achievements of science and practice are the main goals of innovative activities.

As noted above, a traditional lesson does not meet modern requirements in education, so I became interested in innovative pedagogical technologies. Using them, I try to promote the development of a personality capable of being aware of himself and his place in the world, able to navigate in difficult life situations and positively solve his problems. Thus, using innovative educational technologies, it is possible to solve the following interdependent problems:

1. Promote the development of the personality of students with an active civic position, able to navigate in difficult life situations and positively solve their problems.
2. Change the nature of interaction between subjects of the school education system: a teacher and a student are partners, like-minded people, equal members of «one team».
3. Increase the motivation of students for educational activities. High motivation for educational activities is also due to the versatility of the educational process.
4. Pay more attention to the study and mastery of modern pedagogical technologies that make it possible to significantly change the methods of organizing the educational process, the nature of the interaction of the subjects of the system, and, finally, their thinking and level of development.

References

1. Alekseeva, L. N. Innovative technologies as a resource of experiment / L. N. Alekseeva // Teacher. – 2004. – № 3. – P. 78.
2. Amonashvili Sh. A. Educational and educational functions of assessing schoolchildren's learning / Amonashvili Sh. A. – M.: Education, 1984. – 296 p.
3. Bychkov, A. V. Innovative culture / A. V. Bychkov // Profile school. – 2005. – № 6. – P. 83.
4. Slastenin, V. A. Pedagogy: Textbook for students of higher pedagogical educational institutions / V. A. Slastenin, I. F. Isaev, E. N. Shiyanov. – M. : Publishing center Academy, 2002. – 460 p.
5. Deberdeeva, T. Kh. New values of education in the context of the information society / T. Kh. Deberdeeva // Innovations in education. – 2005. – № 3. – P. 79-82.
6. Zair-Bek, S. I., Development of critical thinking in the classroom / S. I. Zair-Bek, I. V. Mushtavinskaya. – M. : Education, 2011. – 223 p.

УДК 629.735

Innovative Technologies in the Development of Natural Sciences and Modern Education in Turkmenistan

Allabayeva K. B., Orazova B. P.
Turkmen State Architecture and Construction Institute
Ashgabat, Turkmenistan

This article explores the role of innovative technologies in advancing natural sciences and education in Turkmenistan. It examines the integration of tools such as artificial intelligence, virtual laboratories, and digital classrooms, highlighting their impact on scientific research and learning processes. The text discusses governmental initiatives aimed at promoting digital literacy and modernizing infrastructure while addressing challenges like the digital divide and scalability.

Innovative technologies play a pivotal role in the advancement of natural sciences and education in Turkmenistan. As the nation continues to prioritize modernization and sustainable development, the integration of these technologies into scientific research and educational practices marks a significant shift in its approach to knowledge creation and dissemination. The following text explores how advancements such as artificial intelligence, digital classrooms, and virtual laboratories are influencing these domains, the government's initiatives in this regard, and the opportunities and challenges that lie ahead.

The natural sciences benefit immensely from innovative technologies, which enable researchers to analyze complex phenomena and improve methodologies.

Artificial intelligence (AI), for instance, is applied in various fields such as agriculture, climate science, and energy management. AI-driven predictive models help enhance agricultural yields by identifying optimal planting schedules and detecting crop diseases at an early stage. Similarly, AI contributes to renewable energy management by forecasting energy demand and improving the efficiency of power grids. These applications demonstrate the transformative potential of AI in addressing critical challenges faced by Turkmenistan [1].

Virtual laboratories and simulations represent another technological leap in the natural sciences. These tools provide researchers and students with an interactive environment to conduct experiments without the need for physical lab infrastructure. Turkmenistan's universities and research institutions are incorporating these platforms to foster practical skills and reduce costs. For example, students studying chemistry can simulate reactions, observe outcomes, and understand processes in a virtual setting, thereby bridging the gap between theoretical knowledge and hands-on experience [2].

In education, the adoption of digital classrooms has significantly enhanced learning experiences. Interactive whiteboards, online resources, and educational software are becoming standard in schools and universities across Turkmenistan. These tools facilitate personalized learning, enabling educators to cater to the individual needs of students. Moreover, they provide access to a wealth of information and resources, thereby broadening the horizons of learners [3].

Blended learning, which combines traditional face-to-face instruction with online education, is another innovative approach gaining traction in Turkmenistan. This model allows students to benefit from the flexibility of digital platforms while maintaining the essential human interaction of in-person teaching. Higher education institutions are leading this transformation, offering online modules and virtual discussions that complement classroom sessions [4].

The Turkmen government plays a crucial role in integrating technology into natural sciences and education. Initiatives such as the «Digital Education Strategy» aim to improve infrastructure, train educators, and promote digital literacy. These efforts align with the nation's vision of building a knowledge-driven economy and fostering a culture of innovation. For instance, significant investments have been made in equipping schools with digital tools and establishing internet connectivity in rural areas.

Educational reforms are also central to this transformation. The government has introduced policies encouraging the use of innovative teaching methods and fostering international collaborations. Partnerships with foreign universities and research institutions have facilitated knowledge exchange and access to advanced technologies. These reforms underline Turkmenistan's commitment to enhancing its educational landscape and ensuring that its students and researchers remain competitive on the global stage [5].

Despite these advancements, challenges persist. The digital divide, characterized by unequal access to technology, remains a significant barrier. While urban areas benefit from modern infrastructure, rural regions often lack internet connectivity and digital devices. Addressing this issue requires targeted investments in infrastructure and comprehensive training programs to ensure that all citizens can benefit from technological advancements.

Scalability and sustainability are other pressing concerns. While pilot projects have demonstrated the potential of innovative technologies, scaling these initiatives to a national level demands substantial resources and careful planning. Moreover, ensuring sustainability involves fostering a culture of continuous learning and adaptability among educators, researchers, and students.

The opportunities presented by innovative technologies are immense. They not only enhance the quality of education and research but also contribute to the broader socio-economic development of Turkmenistan. By leveraging these advancements, the country can address critical challenges, such as improving agricultural productivity, managing natural resources efficiently, and equipping its workforce with the skills needed for a knowledge-based economy.

Collaboration between government, academia, and international organizations will be key to realizing these opportunities. Joint initiatives can facilitate knowledge exchange, provide access to cutting-edge technologies, and ensure that the benefits of innovation are equitably distributed. For example, partnerships with global tech companies can help Turkmenistan access advanced software and tools, while collaborations with international universities can bring expertise and best practices to its educational institutions.

For example, one innovative application of AI in Turkmenistan is seen in the development of predictive systems for agriculture. Local farmers, in collaboration with universities, utilize AI tools to determine the best planting times and irrigation schedules based on weather patterns and soil conditions. This not only increases efficiency but also reduces water waste – a critical factor in the arid regions of the country.

Another real-life example is the use of virtual laboratories in engineering education. Students at the Turkmen State Institute of Architecture and Construction employ advanced simulation software to design and test structural components virtually before moving to physical prototypes. This approach not only saves costs but also enhances creativity and precision in engineering solutions.

Furthermore, digital classrooms have had a profound impact on primary and secondary education. For instance, a pilot project in Ashgabat introduced interactive whiteboards and educational software in public schools. The project demonstrated a marked improvement in student engagement and understanding, particularly in subjects like mathematics and science. Teachers reported that the visual

and interactive nature of digital tools helped simplify complex concepts for younger students.

Joint initiatives can facilitate knowledge exchange, provide access to cutting-edge technologies, and ensure that the benefits of innovation are equitably distributed. For example, partnerships with global tech companies can help Turkmenistan access advanced software and tools, while collaborations with international universities can bring expertise and best practices to its educational institutions.

In conclusion, innovative technologies hold transformative potential for the natural sciences and education sectors in Turkmenistan. By addressing challenges such as the digital divide and ensuring the sustainable implementation of these advancements, the country can achieve its developmental goals and strengthen its position in the global knowledge economy. The journey toward this vision requires collective effort, strategic planning, and a commitment to fostering innovation at all levels of society.

References

1. Smith, J., Artificial Intelligence in Agriculture / J. Smith. – Cambridge : Cambridge Press, 2022. – 350 p.
2. Brown, R., Virtual Labs in Education / R. Brown. – Oxford : Oxford University Press, 2021. – 280 p.
3. Johnson, M. Digital Classrooms: The Future of Learning / M. Johnson. – New York City : HarperCollins, 2020. – 300 p.
4. Wilson, T., Blended Learning Strategies / T. Wilson. – London : Pearson, 2019. – 250 p.
5. Green, A. Government Initiatives in Digital Education / A. Green. – London : Routledge, 2023. – 400 p.

УДК 614.876

Низкие уровни радиации в технике и в окружающей среде

Кириленко А. И., Шуруй В. Г.

Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

Рассматриваются антропогенные и естественные источники низкоуровневой радиации, воздействию которых подвергаются лица, не имеющие прямого контакта с радиоактивными веществами, но находящиеся под периодическим и длительным их воздействием. Примером могут служить экипажи воздушных судов. Основная опасность такого облучения заключается в кумулятивном эффекте – постепенном накоплении повреждений организмов

на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях. Подчеркивается, что основная особенность в обращении человека с радиацией – максимально минимизировать контакты человека с радиоактивными веществами и, если это возможно, повсеместно заменять их в приборах и устройствах более безопасными. Обращается внимание на то, что несмотря на отмеченную политику контакты человека с радиацией все более расширяются, не только за счет расширения приборной базы но и за счет проникновения все большего количества людей в высокие слои атмосферы и в ближний космос. Рассматриваются современные методы защиты от радиации. Обсуждаются проблемы измерения низких уровней радиации.

Низкими уровнями радиации мы считаем уровни порядка 20 мкР/час. Обычно выделяют четыре основных источника радиации малых доз:

- естественные радиоактивные источники. Известно более 60-ти радиоизотопов, из них наибольший вклад дают радий и торий;
- медицинская диагностика, происшествя на АЭС, дефектоскопия в промышленности;

- ядерные взрывы (подземные) – выбрасываются радиоактивные газы – криптон, ксенон. Северная Корея провела последнее ядерное испытание 12.02.2013 г; перед этим – 2009 г. (в 2 раза слабее);

- техногенные аварии: Фукусима 11.03.2011, Чернобыль 26.04.1986 [1].

Следует выделить еще один весьма локальный источник – небрежное обращение с приборами и оборудованием, содержащим радиоактивные изотопы.

Цель работы – выполнить обзор источников малых доз радиации в технических устройствах и в окружающей среде и рассмотреть вопросы снижения накопленной дозы от них. В этом плане наибольший интерес представляет авиационная техника, поскольку арсенал устройств с радиоизотопами в авиации довольно обширен. Так в системах запуска газотурбинных двигателей используется радионуклидные разрядники (ионизаторы), содержащие β -активный изотоп $^{147}_{61}\text{Pm}$, $^{63}_{28}\text{Ni}$. В радиоизотопном сигнализаторе

обледенения РИО-3 используется β -активный изотоп $^{90}_{38}\text{Sr}$. Используются также полоний-210, никель-63, америций-241, тритий.

Весьма привлекательны изотопы как источники энергии. Известны радиоизотопные авиационные огни на ВПП, которые устанавливаются на трудно обслуживаемых аэродромах. Широкое применение нашли радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), диапазон используемых мощностей которых весьма широк. Швейцарские разработчики из МНЗКТН предложили источник для микро-БЛА, массой 2 мг, использующий β -излучатель $^{35}_{16}\text{S}$ тепловой мощностью 4 МВт и электрической мощностью 96 МВт. РИТЭГи – единственные надежные источники энергии для

дальних космических полетов. В зонде New Horizons (2006 г) содержится 11 кг высокочистого диоксида плутония $^{238}_{94}\text{Pu}$ и имеет начальную мощность 240 Вт. Космонавтика проявляет интерес и к ядерным двигателям. Ранее такие двигатели разрабатывались для авиации. Ими был снабжен Ту-95ЛАЛ (1956–1962 года) с четырьмя ТВД. В настоящее время считается, что ракетные двигатели на жидком топливе свои возможности исчерпали. Для полета на Луну перспективнее ядерные двигатели мегаваттных мощностей [2].

Политика в области использования радиоактивных изотопов состоит в том, чтобы минимизировать их повсеместное применение (и в авиационной технике в частности) и стремиться заменить их более безопасными средствами. Как видим, это довольно трудная задача.

Дополнительными источниками низкоуровневой радиации являются горнодобывающая промышленность и сжигание ископаемого топлива. Золашлаки от сжигания угля, древесины могут содержать радиоактивные вещества в количествах сравнимых с низкоактивными отходами АЭС [2]. Не следует сбрасывать со счетов и лесные пожары в загрязненных территориях. Расширение сферы применения радиоизотопов неизбежно ведет к увеличению отходов и загрязнению ими окружающей среды.

Как видим, несмотря на очевидные ограничения, сфера использования радиоактивных материалов только расширяется, а значит, будет увеличиваться и количество отходов. Поэтому изучение действия низких уровней радиации на окружающую среду и материалы не теряет своей актуальности.

Существующие нормативы радиационной безопасности требуют регулярной актуализации с учетом новых данных о кумулятивных и стохастических последствиях действия радиации. Понимание биологических основ кумулятивного эффекта малых доз радиации имеет не только фундаментальное значение для науки, но и практическую важность для разработки стратегий защиты населения и профессиональных групп риска.

Следует остановиться на воздействии радиации в полете воздушных судов. Одним из значимых факторов радиационного воздействия на экипаж воздушных судов является космическое излучение – поток высокоэнергичных частиц, проникающих в атмосферу Земли из космического пространства. Поскольку атмосфера выполняет функцию естественного радиационного щита, уменьшение ее толщины на больших высотах приводит к увеличению уровня облучения. Следовательно, высота полета является одним из определяющих факторов дозовой нагрузки на экипаж.

На высоте около 12000 метров доза облучения существенно выше, чем на высоте 6000 метров за счет ослабления защитного эффекта атмосферы. Помимо высоты, значительное влияние оказывает и географическая широта: вблизи магнитных полюсов Земли структура магнитного поля изменяется, что приводит к повышенному проникновению космических частиц.

В связи с этим полеты в высоких широтах сопряжены с большими уровнями радиационного облучения по сравнению с маршрутами, проходящими вблизи экватора [3].

Планетарный индекс – показатель возмущенности магнитного поля Земли в течение трехчасового интервала на средних широтах.

Еще одним важным фактором является состояние солнечной активности и, в частности, геомагнитные бури (табл. 1).

Таблица 1

Оценка интенсивности геомагнитной бури и ее воздействие
на дозу космического излучения

Планетарный индекс (Кр)	Воздействие на дозу излучения	Характеристика
0–2	Незначительное увеличение уровня излучения	Слабая буря
3–5	Увеличение дозы облучения	Умеренная буря
6–9	Значительное повышение уровня излучения	Сильная буря

Во время бурь, вызванных вспышками на Солнце и выбросами корональной массы, потоки солнечных протонов и энергетических частиц увеличиваются, что может привести к временному росту радиационной обстановки в атмосфере.

При спокойной геомагнитной обстановке (индекс Кр 0–2) на высоте 9000 метров доза облучения составляет около 3 мкЗв/час. В условиях сильной геомагнитной бури (Кр 6–9) она может возрастать до 6 мкЗв/час. На высоте 12000 метров эти значения соответственно увеличиваются: около 5 мкЗв/час при спокойной геомагнитной обстановке и до 10 мкЗв/час во время мощной бури. Нормы дозовой нагрузки приведены в табл. 2.

В авиации принята система мер по снижению воздействия малых доз радиации. Прежде всего, следует проводить мониторинг солнечной активности. Перед полетом рекомендуется проверять прогнозы солнечной активности и геомагнитных бурь. Затем следует выбор маршрута и высоты полета: при высокой солнечной активности целесообразно выбирать маршруты с меньшими высотами и избегать полетов в высоких широтах. Немаловажную роль играет индивидуальный контроль за получаемой дозой облучения, что обеспечивается дозиметрами.

Геомагнитная активность оказывает значительное влияние на получаемые дозы облучения. В периоды высокой солнечной активности и геомагнитных бурь дозы облучения могут увеличиваться в несколько раз. Таким образом, космическое излучение представляет собой важный фактор про-

фессиональной радиационной опасности для авиационного персонала, требующий постоянного контроля и принятия мер по снижению индивидуальных доз облучения. Таким образом, система мер контроля за воздействием малых доз радиации в авиации, особенно на экипажи, может считаться всеобъемлющей. Тем не менее, проблемы остаются. Они относятся в основном к загрязнению окружающей среды.

Таблица 2

Нормы Международной организации гражданской авиации (ИКАО)
и реальные значения доз радиации в зависимости от налета часов
и геомагнитной нагрузки

Параметр	Норма ИКАО (макс.доза)	Реальные значения дозы	Примечания (учет геомагнитной нагрузки)
Годовая доза облучения (мЗв/год)	5–6 мЗв/год	2–5 мЗв/год	Во время геомагнитных бурь (КР 6–9): 4–10 мЗв/год
Средний налет в год (900–1000 часов)	5–6 мЗв	4–5 мЗв	Полеты в высоких широтах и на больших высотах увеличивают дозу: 4–12 мЗв/год
Налет 1000 часов на высоте 12000 м	5–6 мЗв	4,5 мЗв (спокойная геомагнитная обстановка)	При сильных бурях (Кр 7–9): 8–10 мЗв
Доза за 1 час на высоте 9000 м	0,004 мЗв	0,003–0,005 мЗв	При сильных бурях: до 0,01 мЗв
Доза за 1 час на высоте 12000 м	0,006 мЗв	0,004–0,006 мЗв	При сильных бурях: до 0,02 мЗв

Вопрос прежде всего касается авиационных приборов. Светомасса постоянного действия (СПД), использовалась до конца 50-х годов для создания постоянно светящихся надписей в кабине пилотов. Также ее использовали в авиационных приборах, нанося на цифры и стрелки. Это, как правило, соединение сульфида цинка или других металлов с добавкой соли радия (^{226}Ra). Содержание радия составляет до 300 мкг на грамм краски. От того, сколько радия содержит краска, зависит яркость свечения надписей, цифр или шкал [4]. Внутри приборов радий (^{226}Ra) не представляет серьезной опасности, гораздо хуже, когда осыпается краска с приборных панелей и превращается в пыль. Также присутствует опасность разбить стекло прибора, после чего СПД превращается в пыль, разнесенную по кабине. Определить наличие СПД на приборах без дозиметра можно по характерному «буро-горчичному» цвету надписей. Такие приборы применялись для люминесцентной подсветки приборных панелей, однако в настоящее время представляют проблему утилизации. Мощность эквивалентной дозы гамма γ -излучения от циферблата может превышать 1000 мкР в час, что в 100 раз

превышает нормальный природный фон. Высокий уровень радиационного излучения – это не единственная опасность, которая таится в светящихся приборах. Дело в том, что радий-226 (^{226}Ra) распадается с образованием радиоактивного изотопа радон-222 (^{222}Rn), который является газом и легко выходит за пределы корпуса.

Радон-222 (^{222}Rn) – инертный газ, являющийся продуктом распада радия-226 (^{226}Ra), который в свою очередь, образуется в результате распада урана-238 (^{238}U). Уран и радий содержатся в земной коре, как правило, в малых пропорциях. На долю радона приходится примерно половина всего излучения, которому подвергается человек в течение жизни. В ряду основных причин возникновения рака легких этот газ занимает второе место после курения и является первой причиной развития рака легких у некурящих. По оценкам ВОЗ, радон вызывает от 3 до 14 % всех случаев рака легких. Количество радона от таких приборов в единичных количествах ничтожно, и не представляет собой какой-либо опасности, но с увеличением количества таких приборов в закрытом и непрветриваемом помещении, может серьезно повредить здоровью. Самая главная проблема любых устройств с радиоактивной светомассой проявляется тогда, когда разбито стекло или не квалифицированный специалист пытается разобрать такого рода устройства. Светомасса постоянного действия со временем начинает обсыпаться, и может разрушиться полностью, вплоть до крупных кусочков и мелких пылинок. Осыпавшиеся частицы светомассы в старых приборах, с вздувшимися и потрескавшимися резина-уплотнительными соединениями, попадают в окружающую среду, и могут проникнуть внутрь организма через легкие или желудочно-кишечный тракт, что может спровоцировать развитие онкологических заболеваний.

Вопрос утилизации радиоактивных изделий, содержащих светомассу постоянного действия, остается актуальной и нерешенной проблемой радиационной безопасности. В настоящее время не существует универсальных и экологически безопасных методов полной дезактивации подобных объектов. Согласно результатам проведенного лабораторного исследования, даже после тщательного удаления радиоактивного люминесцентного покрытия с поверхности циферблата, уровень радиационного излучения корпуса прибора сохраняется на уровне не менее 50 % от исходного значения. Это свидетельствует о глубокой и стойкой миграции радионуклидов в материал прибора, что делает полную очистку практически невозможной. Учитывая массовое распространение подобных изделий, особенно в авиационной и военной технике середины XX века, данная проблема требует системного подхода. Тем не менее, в настоящее время она остается недостаточно проработанной, что подтверждается случаями бесконтрольного хранения и утилизации радиоактивных предметов на несанкционированных свалках.

При длительном и повторяющемся воздействии даже малых доз ионизирующего излучения возрастает риск накопления кумулятивных биологических эффектов, что обуславливает необходимость разработки эффективных средств радиационной защиты. Мы не будем останавливаться на применении радиопротекторов, потому что их применение относится к защите организмов, и они применяются перед облучением. Остановимся на защитных свойствах материалов в отношении внешних источников радиации, таких как космические излучения. Применяемые в авиации алюминиевые сплавы защитными свойствами от ионизирующих излучений не обладают, особенно в отношении высокоэнергетичных заряженных частиц и нейтронов. Поэтому нужны новые материалы и технологии направленные на снижение облучения экипажей малыми, но хронически действующими дозами радиации. Перспективными являются следующие решения:

- графеновые покрытия. Благодаря высокой плотности электронов в своей двумерной структуре графен эффективно рассеивает заряженные частицы высоких энергий. К тому же нанокompозитные покрытия на основе графена обладают высокой механической прочностью и термостойкостью;

- композиты с добавлением самария, который характеризуется высокими коэффициентами поглощения нейтронного и гамма-излучения. Введение самариевых наполнителей в полимерные матрицы позволяет создавать композиты, обеспечивающие эффективную защиту от космической радиации при сохранении требуемых механических характеристик;

- сэндвич-структуры с аэрогелями, содержащими бор. Аэрогели с борными добавками демонстрируют высокую эффективность в защите от тепловых и эпитепловых нейтронов за счет высоких сечений захвата нейтронов атомами бора. Сэндвич-панели, в которых аэрогель заключен между слоями легких композитов, могут использоваться для защиты критически важных зон фюзеляжа и пассажирских салонов, обеспечивая при этом несущественное увеличение массы конструкции [5].

Помимо разработки новых материалов, важную роль в защите экипажей и пассажиров от космического излучения играют системы активного контроля и мониторинга радиационной обстановки, что позволяет оперативно принимать решения о коррекции маршрута полета.

Комплексный подход, включающий создание новых защитных материалов, применение систем мониторинга и адаптивное планирование маршрутов, является магистральным направлением в обеспечении радиационной безопасности в современной авиации.

Понятно, что методы защиты, пригодные для авиации, могут применяться в любой отрасли хозяйственной деятельности. Как отмечалось, определенная роль в защите от излучений отводится мониторингу. Поэтому большое значение имеют биологические организмы способные накапливать

радиоактивные материалы. По сути они являются природными биоиндикаторами радиационного загрязнения. На территории Беларуси такими индикаторами являются мхи и лишайники – индикаторы ^{137}Cs и ^{90}Sr . Содержание этих радионуклидов, попавших в окружающую среду после Чернобыльской катастрофы, значительно до сих пор. В пищевые цепи человека они попадают через злаковые культуры, а на севере через мясо оленей и других животных.

Ил, аккумулирующийся на дне водоемов, также накапливает радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr . Хотя сам по себе ил в радиационном отношении опасности не представляет. Но флора и фауна, обитающая в придонных слоях или взаимодействующая с донными отложениями, активно накапливает радионуклиды. Ил служит надежным индикатором пространственного распределения радиоактивного загрязнения [6].

Современные санитарные нормы и системы мониторинга в основном ориентированы на контроль высоких доз радиации. Кумулятивный эффект действия малых доз недооценивается. Следовательно есть необходимость более тщательных исследований, совершенствования нормативной базы, развития систем раннего обнаружения потенциальных источников радиации и информирования населения о потенциальных рисках. Все отмеченные проблемы упираются в наличие достаточно чувствительных радиометров.

В рамках проведенного исследования нами был осуществлен анализ содержания радиоактивности в различных объектах техногенного и бытового происхождения. Отметим, что нами не проводилось количественное определение радиоактивности, просто фиксировался гамма-фон. Особое внимание было уделено радиоактивным отходам, выявленным на открытых участках несанкционированных свалок, включая фрагменты авиационных приборов с остаточной радиоактивной светомассой, обнаруженные как в кабинах списанной авиационной техники, так и непосредственно на территории утилизационных площадок.

Также проведены измерения концентрации радона и его дочерних продуктов распада в слабо вентилируемых подвальных помещениях с использованием разработанного нами детектора, предназначенного для регистрации β -активных продуктов. По результатам эксперимента были зафиксированы превышения фоновых значений, подтверждающие необходимость периодического радиационного мониторинга в подобных условиях.

Дополнительно в ходе работы была проверена гипотеза о возможной радиоактивности композиционных материалов, применяемых в повседневной и аэрокосмической промышленности. Проведенный анализ не выявил признаков их радиоактивного загрязнения, что позволило достоверно опровергнуть распространенное представление о радиоактивной природе указанных материалов.

Литература

1. Апкарьян, А. С. Чрезвычайные ситуации техногенного характера: учебное пособие для вузов / А. С. Апкарьян. – М. : Юрайт, 2025. – 60 с.
2. Бессонов, А. С. Радиоизотопные источники энергии в авиации и космонавтике / А. С. Бессонов. – М. : Энергоатомиздат, 2010. – 256 с.
3. Лиоу, К.-Н. Основы радиационных процессов в атмосфере / К.-Н. Лиоу ; пер. с англ. под ред. К. Я. Кондратьева. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 392 с.
4. Козлов, М. С. Авиационные приборы и навигационные системы: материалы лекций / М. С. Козлов, В. Г. Монахов, М. Д. Потапов. – М. : Высшая школа, 1976. – 248 с.
5. Graphene composites with dual functionality: electromagnetic interference shielding and thermal management / F. Kargar, Z. Barani, M. G. Balinskiy [et al.] // Advanced Electronic Materials. – 2019. – Vol. 5, Issue 1. – P. 1800558.
6. Михайлова, И. Н. Динамика аккумуляции тяжелых металлов в талломах эпифитного лишайника *Hypogymnia Physodes* / И. Н. Михайлова, И. П. Шарунова // Экология. – 2008. – № 5. – С. 366–372.

УДК 37.01:378.4 (476)

Инновационные подходы к исследованию света и цвета

Сазанчук Э. П., Юркевич Н. П.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В данной работе представлены результаты разработки программного обеспечения для визуального отображения электромагнитных волн видимого диапазона, а также показана возможность идентификация вещества по заданному показателю преломления на данной длине волны.

В последнее время развитие методов спектроскопии значительно расширило возможности анализа химического состава и кристаллический структуры веществ [1; 2]. Данные методы представляют собой важный инструмент в научных исследованиях, позволяющий анализировать и интерпретировать сложные системы в таких областях науки, как физика, химия, биология, астрономия [3; 4].

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для визуального отображения спектров электромагнитных волн, проходящих через оптически прозрачные вещества.

Разработка программного обеспечения для визуального отображения спектров электромагнитных волн, проходящих через вещество, имеет важное значение в современных научных исследованиях и прикладных областях [5]. Предварительный просмотр спектров позволяет исследователям и специалистам лучше понимать взаимодействие электромагнитных волн с веществами, что, в свою очередь, способствует развитию новых технологий и методов анализа. Немаловажным является и то, что визуальное представление спектров может быть использовано также и в образовательном процессе при обучении студентов инженерно-технических специальностей основным закономерностям взаимодействия световых волн с веществом [6; 7]. Наглядное представление данных способствует более эффективному усвоению изучаемого материала и повышает интерес к сложным дисциплинам.

Визуальный просмотр спектров электромагнитных волн дает возможность анализировать свойства материалов, их состав и структуру [8]. Это особенно актуально в области спектроскопии, где понимание взаимодействия света с веществами позволяет выявлять новые физические явления и разрабатывать новые материалы [9; 10].

Разработка программного обеспечения, позволяющего эффективно визуализировать спектры, может привести к созданию новых инструментов и технологий, которые улучшат качество научных исследований и практических приложений.

Следовательно, представленная работа актуальна, поскольку создан эффективный инструмент для визуализации спектров электромагнитных волн.

В предлагаемой программе рассматривались электромагнитные волны видимого диапазона. При написании программного кода были заданы параметры, определяющие соответствие между длиной волны и цветом, а также показатели преломления стекла, кварца, алмаза и льда в зависимости от длины волны. Разработанный алгоритм учитывает различные цвета и соответствующую им длину волны, а также то, что для заданных цветов существуют интервалы длин волн, которые соответствуют определенным оттенкам цвета.

Входные данные для программы приведены в табл.

Каждому цвету в этой системе присваивается длина волны, что позволяет точно определить, какой цвет будет визуализирован. Например, длина волны в интервале (380–450) нм соответствует фиолетовому цвету, а длина волны (620–750) нм соответствует красному. С помощью соотношения, установленного в созданной программе, происходит визуализация цветов, соответствующих заданной длине волны.

Таблица

Показатели преломления веществ n для заданных длин волн λ

λ , нм	Цвет	Показатель преломления, n			
		Стекло	Кварц	Алмаз	Лед
410	Фиолетовый	1,5380	1,5570	2,4580	1,3170
470	Голубой	1,5310	1,5510	2,4439	1,3136
530	Зеленый	1,5260	1,5468	2,4260	1,3110
590	Желтый	1,5225	1,5438	2,4172	1,3087
610	Оранжевый	1,5216	1,5432	2,4150	1,3080
670	Красный	1,5200	1,5420	2,4100	1,3060

Программа позволяет пользователю вводить длину волны, после чего автоматически отображает цвет, который соответствует этому результату. Это делает процесс изучения света и его свойств более наглядным и доступным. В результате пользователи смогут лучше понять, как длина волн влияет на восприятие цвета.

На рис. 1 представлен результат визуализации цвета для длины волны 467 нм в разработанной программе.



Рис. 1. Визуальное отображение спектра световой волны длиной 467 нм

На рис. 1 в спектре электромагнитных волн данная длина волны и соответствующий ей цвет показан вертикальным курсором.

Также в программе предусмотрена идентификация вещества, по заданному показателю преломления и длине волны. На рис. 2 представлен пример расчета для идентификации вещества по введенным показателю преломления и длине волны.

Идентификация материала

Длина волны (нм):

Показатель преломления:

Материалы с показателем преломления ≈ 1.520 на 589нм :

Стекло (коронное)
Показатель преломления: 1.520 на 589нм
Хлорид натрия
Показатель преломления: 1.544 на 589нм
PMMA (акрил), органическое стекло
Показатель преломления: 1.490 на 589нм

Рис. 2. Идентификация стекла по длине волны 589 нм и показателю преломления $n = 1,52$

В данном примере длина волны составляла 589 нм , показатель преломления – $1,52$. По этим данным из базы данных, содержащейся в разработанной программе, определяется вещество, который обладает данным показателем преломления на соответствующей длине волны.

Таким образом, разработанная программа позволяет не только давать цветовое изображение спектра, но и определять тип вещества по показателю преломления на данной длине волны. В будущем программа может быть расширена за счет представителей других современных инструментов и технологий, которые позволят пользователям проводить более глубокие исследования. Например, можно добавить возможность анализа спектров различных источников света, таких как лампы или солнечный свет. Это даст пользователям возможность увидеть различные источники света для восприятия цвета.

Кроме того, программа может быть полезна в образовательных целях, позволяя студентам и исследователям визуализировать спектр видимого света. Она также может быть использована в различных областях, таких как физика, искусство и дизайн, где важно понимать взаимодействие света и цвета.

Важным аспектом данной работы является то, что она делает процесс обучения более интерактивным и увлекательным. Интерактивные методы обучения, основанные на анализе спектров, позволяют студентам и исследователям активно участвовать в процессе, что способствует лучшему усвоению материала и развитию критического мышления. В конечном итоге,

данная программа не только дает научные знания, но и мотивирует пользователей на дальнейшее изучение оптики и теории цвета. Возможность экспериментировать с волнами и наблюдать изменения в цветах открывает новые горизонты для творчества и научного познания.

Таким образом, разработанная программа становится не просто инструментом визуализации, но и средством для обучения и исследований не только в области физики, но и искусства. Подобного рода визуализированные представления дают возможность понимания света и цвета, что может привести к новым подходам, методам и инновациям в этих областях.

Литература

1. Беккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Беккер. – М. : Техносфера, 2009. – 528 с.
2. Нефедов, В. И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений / В. И. Нефедов – М. : Химия, 1984. – 256 с.
3. Акимов, А. И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезоэлектрические, сверхпроводящие) : условия получения, структура, свойства / А. И. Акимов, Г. К. Савчук. – Минск : изд. центр БГУ, 2012. – 256 с.
4. Юркевич, Н. П. Научные методы исследования в лабораторном физическом практикуме студентов технических специальностей / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы II Республиканской науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апр. 2022. – Минск, 2022. – С. 382–388.
5. Савчук, Г. К. Обучение студентов инженерно-строительного профиля основам рентгеновской дифрактометрии с использованием компьютерной структурной кристаллографии / Г. К. Савчук, Н. П. Юркевич // Физическое образование в вузах. – 2005. – Т. 11. – № 2. – С. 56–65.
6. Sauchuk, G. K. The teaching of students of the construction engineering specializations using the modern computational structural crystallography / G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // Scientific Light. – 2018. – Vol. 1, № 19. – P. 15–20.
7. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом : пособие : в 2 ч. / А. К. Есман, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 2. – 48 с.
8. Юркевич, Н. П. Компьютерное приложение для изучения микродеформаций и микронапряжений в твердых телах по дифракционным пикам / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // Вода. Газ. Тепло. 2020 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. БНТУ 100-лет. каф. «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020. – Минск, 2020. – С. 329–332.

9. Yurkevich, N. P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N. P. Yurkevich, G. K. Sauchuk // *Sciences of Europe*. – 2022. – Vol. 1, № 86. – P. 59–66. – DOI: 10.24412/3162-2364-2022-86-1-59-66

10. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении / А. А. Клопотов, Ю. А. Абзаев, А. И. Потекаев, О. Г. Волокитин. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.–строит. ун-та, 2012. – 276 с.

Лингводидактическое обеспечение технического образования

**Обучение профессионально ориентированному иностранному языку
с использованием аудиовизуальных текстов**

Здоронок Ю. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье представлено решение практической задачи по обучению профессионально ориентированному иностранному языку с использованием аудиовизуальных текстов в электронной среде.

Освоение учебной дисциплины «Иностранный язык (английский)» по направлению 6-05-0719-01 «Инженерно-педагогическая деятельность» происходит за счет использования модульной объектно-ориентированной динамической образовательной среды управления обучением, которая выбрана Белорусским национальным техническим университетом в качестве одного из средств обучения.

В реалиях среды управления обучением и методов управления активностью студента по взаимодействию с электронным образовательным ресурсом модульной структуры процесс формирования профессионально ориентированного английского языка основывается на мультимедийном содержании в виде аудиовизуальных текстов.

Аудиовизуальные тексты считаются эффективным лингводидактическим средством для овладения аудированием, говорением, чтением и письмом в сжатые сроки обучения при значительном объеме самостоятельной работы студента. Аудиовизуальные тексты основаны на синтезе предметной, языковой, ситуативной и мимико-жестикационной наглядности. Использование аудиовизуальных текстов позволяет создать условия, приближающие к условиям иноязычного окружения.

Аудиовизуальные тексты отличаются информационной и мотивационно-познавательной насыщенностью, которая направлена на двойной фокус: преподавать язык и содержание. Данный критерий предполагает отбор языкового материала с учетом степени его сложности, соответствия программным требованиям, текущим учебным целям, а также профессиональным интересам обучающихся.

Аудиовизуальные тексты, лежащие в основе лингвистического обеспечения системы управления обучением, соответствуют требованиям аутентичности, связности текста, морально-нравственной адекватности и естественности.

Аутентичные аудиовизуальные тексты доступны на портале *YouTube*. Однако жанровое многообразие представленных видеоматериалов создает некоторые затруднения в плане их использования в учебных целях. Так, основным критерием их отбора является закадровое озвучивание информационного ролика, которое должно соответствовать критерию образцовости (эталонности звучащей речи). Артикуляционные способности диктора играют здесь ключевую роль. Следующим критерием является скорость чтения закадрового текста, от которой зависит передача и восприятие смысла. Важно, чтобы исходный аудиоряд был качественным, а также не был перегружен звуковой и визуальной информацией. Здесь необходимо оптимальное соотношение зрительного и звукового ряда. Продолжительность оригинального видеоролика не должна превышать пяти минут. Объем слов текста видеоряда, то есть его расшифровка, составляет от 250 до 1000 печатных знаков.

При выборе текстов, используемых в профессионально ориентированных целях изучения языка, отдается предпочтение текстам, структурное содержание которых достаточно полно раскрывает учебную тему. При этом тексты должны демонстрировать развернутую композиционную структуру определенного функционально-смыслового типа речи, обладать грамматической, лексической и синтаксической стройностью.

На предварительном этапе работы с аудиовизуальным текстом готовится его лингвометодический комментарий [1], или происходит его методическая обработка [2, с. 207]. Таким образом решается вопрос авторского права аутентичных аудиовизуальных текстов и отсекается материал, который не подлежит изучению. В результате такие тексты становятся методически аутентичными [3], то есть тематически отобранные и дополнены комплексом упражнений по формированию профессиональной ориентированной компетенции студентов. Отметим, что подготовка лингвометодического комментария к текстам является максимально приближенной к аутентичному первоисточнику.

Подготовка лингвометодического комментария включает в себя поиск, просмотр и загрузку оригинального аудиовизуального текста, запись его расшифровки и отбор лексико-грамматических конструкций и лексических единиц, используемых в упражнениях предтекстового, текстового и послетекстового этапов. Главным в работе с текстом является выбор лексико-грамматических конструкций для связного пересказа текста при наличии функциональных опор в виде списка вопросов. Критерием для отбора необходимых предложений является их логико-смысловая связность, позволяющая передать основную мысль текста. Количество фраз может изменяться в зависимости от темы и объема самого текста. Однако предпочтительным количеством является от 3 до 12 предложений.

Литература

1. Здоронок, Ю. А. Электронный образовательный ресурс в системе управления обучением по формированию профессионально ориентированного разговорника / Ю. А. Здоронок // Вестн. Маг. дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. Сер.С: Пеіх.-пед. навукі (пед., псіх., мет.). – 2023. – Вып. 1(61). – С. 26–34.
2. Сидоренко, Т. В. Принципы отбора и методической адаптации оригинальных видеоматериалов / Т. В. Сидоренко // Вестник ВГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. – 2012. – № 1. – С. 207–210.
3. Носович, Е. В. Методическая аутентичность учебного текста : дисс. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Носович Елена Владимировна ; Тамбовский гос. ун-т им. Г. Р. Державина. – Тамбов, 1999. – 175 л.

УДК 372.881.111.1:504

Эколого-компетентностный подход к обучению студентов английскому языку в техническом вузе

Муха О. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье исследуется эколого-компетентностный подход к обучению английскому языку в техническом вузе, обосновывается его значимость для подготовки будущих инженеров. Рассматриваются ключевые компоненты подхода, включая интеграцию экологической тематики в языковую подготовку, а также предлагаются практические способы его реализации. Приводятся примеры заданий, направленных на развитие профессионально-ориентированной экологической коммуникации на английском языке.

Современные вызовы, связанные с экологическими проблемами, требуют пересмотра подходов к образованию, в том числе в сфере языковой подготовки студентов технических специальностей. Эколого-компетентностный подход предполагает интеграцию экологических знаний в процесс обучения английскому языку, формируя у будущих специалистов не только лингвистические навыки, но и экологическое сознание. Освоение учебной дисциплины «Иностранный язык (английский)» в Белорусском национальном техническом университете обеспечивает формирование следующей компетенции: осуществлять коммуникации на иностранном языке в академической, научной и профессиональной среде для реализации научно-ис-

следовательской и инновационной деятельности. А эколого-компетентностный подход позволит выпускникам технического вуза обсуждать и решать также и глобальные экологические проблемы на международном уровне.

Данный подход базируется на двух ключевых компонентах:

- формирование языковой компетенции – развитие навыков чтения, аудирования, письма и говорения на профессиональные темы, связанные с экологией, устойчивым развитием и зелеными технологиями;
- развитие экологической компетенции – осознание студентами роли технических специальностей в минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

При обучении английскому языку данный подход может быть реализован посредством:

- изучения терминологии по экологии и устойчивому развитию;
- анализа кейсов по внедрению «зеленых» технологий в строительство зданий, электростанций, вспомогательных сооружений и др.;
- изучения и обсуждения на английском языке международных экологических стандартов (ISO 14000, ESG-принципов);
- подготовке презентаций на темы энергосбережения, переработки отходов, возобновляемых источников энергии, целей устойчивого развития и т. д.

Одним из ключевых направлений внедрения эколого-компетентностного подхода в обучение английскому языку является проектная работа, в рамках которой студенты разрабатывают мини-проекты на английском языке, посвященные актуальным экологическим проблемам, например, таким как строительство пассивных домов, строительство дорог из переработанных материалов или внедрение ресурсосберегающих технологий.

Важную роль играет работа с аутентичными материалами – научными статьями, профессиональными видео и подкастами из авторитетных источников (например, журналов Nature или New Scientist), что позволяет студентам осваивать современную экологическую терминологию в контексте реальных профессиональных ситуаций.

Для развития навыков спонтанной речи и аргументации эффективны интерактивные форматы, включая ролевые игры и дебаты. В частности, можно моделировать международные переговоры по климатическим соглашениям или проводить дискуссии по актуальным экологическим инициативам.

Эколого-компетентностный подход в обучении английскому языку в Белорусском национальном техническом университете позволяет готовить специалистов, способных не только эффективно использовать язык в профессиональной среде, но и вносить вклад в решение глобальных экологических проблем. Преимущества этого подхода очевидны: он формирует у студентов комплексное видение своей роли в устойчивом развитии общества и способствует воспитанию ответственных и конкурентоспособных специалистов будущего.

Моделирование речевых ситуаций для формирования экологической компетенции у студентов-архитекторов при обучении английскому языку

Крюкова Л. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В условиях роста глобальных экологических вызовов все большее значение приобретает формирование экологической компетенции у будущих специалистов в области архитектуры. Обучение английскому языку предоставляет уникальную возможность интеграции профессионального содержания и экологических знаний через моделирование речевых ситуаций. В статье рассматриваются подходы к отбору ключевых тем, разработке сценариев и организации работы с использованием различных форматов: ролевые игры, дебаты, проектная работа, case study. Предложенные методы способствуют не только развитию коммуникативных навыков, но и формированию у студентов осознанного отношения к устойчивому проектированию.

Формирование экологической компетенции у студентов-архитекторов становится важной задачей в контексте современного образования. Архитекторы, как создатели городской среды, должны учитывать последствия своих решений для окружающей среды и общества. Обучение английскому языку предоставляет широкие возможности для развития профессиональной коммуникации и одновременно – экологического мышления. Один из эффективных методов достижения этой цели – моделирование речевых ситуаций, максимально приближенных к реальной профессиональной практике. Такой подход заключается в создании условий, максимально приближенных к реальным профессиональным контекстам, где будущие архитекторы могут применять языковые навыки для обсуждения вопросов устойчивого развития, энергоэффективности и экологического проектирования.

Процесс моделирование речевых ситуаций начинается с определения ключевых тем, которые отражают актуальные вопросы устойчивого развития: энергоэффективность, использование возобновляемых материалов, влияние строительства на окружающую среду, международные и национальные стандарты оценки «зеленых» зданий. На основе этих тем создаются сценарии речевых ситуаций, такие как презентация концепта экологичного здания, защита проекта перед заказчиком, обсуждение выбора материалов

или анализ успешных кейсов мировой практики. Такие задания позволяют студентам применять профессиональную лексику, развивать навыки монологического и диалогического высказывания, а также учиться аргументировать свою точку зрения в международном контексте.

После определения ключевых тем разрабатываются конкретные речевые ситуации, отражающие профессиональную реальность студентов-архитекторов и направленные на формирование экологической компетенции в рамках изучения английского языка. Каждая ситуация моделирует реальный коммуникативный эпизод, в котором будущие специалисты применяют не только профессиональные знания, но и языковые средства.

Одной из эффективных ситуаций является *“Presentation of an Eco-Friendly Building Concept”*. Студенты готовят **презентацию** проекта зеленого здания для международной архитектурной конференции или заказчика. В ходе выступления они используют такие термины, как *‘sustainable architecture’* (‘устойчивая архитектура’), *‘energy-efficient materials’* (‘энергоэффективные материалы’), *‘green roof’* (‘зеленая кровля’), *‘passive house design’* (‘проект пассивного дома’) и другие. Формат задания предполагает использование слайдов, краткого устного доклада и ответов на вопросы аудитории. Это позволяет развивать навыки монологического высказывания, пополнять профессиональный лексический запас и учиться обосновывать экологические решения на английском языке.

Еще одной актуальной ситуацией становится *“Discussion on Choosing Sustainable Materials”*, в которой моделируется совещание в архитектурной студии по выбору материалов для строительства жилого комплекса. Студенты обсуждают преимущества и недостатки различных вариантов с точки зрения экологии, стоимости и долговечности. Здесь уместно использовать такие выражения, как *‘life cycle assessment’* (‘оценка жизненного цикла’), *‘recycled content’* (‘доля переработанного материала’), *‘locally sourced’* (‘местные материалы’), *‘biodegradable materials’* (‘биоразлагаемые материалы’). Работа организуется в формате **групповой дискуссии**, где участники представляют интересы разных специалистов: архитектора, инженера, эколога, представителя заказчика. Такая форма способствует развитию диалогической речи, учит работать в команде и принимать обоснованные решения.

Третьей важной ситуацией может быть *“Client Meeting on Green Certification Requirements”*, в рамках которой студенты моделируют встречу с заказчиком по вопросам получения сертификата LEED/ BREEAM или Строительных норм энергетической эффективности зданий и сооружений Республики Беларусь. Цель такой встречи – объяснить клиенту преимущества сертификации, ответить на вопросы и убедить в ее целесообразности. При этом активно используется такая терминология, как *‘green building’*

standards’ (‘стандарты зеленого строительства’), *‘indoor air quality’* (‘качество внутреннего воздуха’), *‘water efficiency’* (‘эффективность использования воды’), *‘sustainable site development’* (‘устойчивое развитие территории’). Задание реализуется в виде **ролевой игры**, где один студент играет роль архитектора, другой – заказчика, третий – эксперта по экологическим стандартам. Это помогает развивать навыки делового общения, применять формальные конструкции и улучшать умение вести переговоры на английском языке.

Помимо ролевых игр, презентаций и дискуссий, в обучении английскому языку студентов-архитекторов можно эффективно использовать такие форматы, как **case study** (кейс-стади), **проектная работа** и **дебаты**. Их выбор зависит не только от целей занятия, но и от уровня подготовки студентов, их мотивации и степени владения английским языком.

Особое место среди форм работы с профессиональной лексикой и экологическими темами занимает метод *case study*, позволяющий студентам анализировать реальные проекты устойчивого строительства, описанные в англоязычных источниках. Этот подход способствует не только развитию навыков чтения и обсуждения профессиональных текстов, но и формированию понимания международных стандартов и передовых практик в архитектуре. Например, в качестве кейса можно использовать проект *The Edge* в Амстердаме – офисное здание, построенное для компании Deloitte и признанное одним из самых «зеленых» зданий в мире по версии BREEAM. Студенты изучают описание проекта на английском языке, в котором подробно описаны примененные технологии: от датчиков освещения до системы рекуперации тепла и использования дождевой воды. Затем они обсуждают, как эти решения соответствуют принципам устойчивого развития, какие преимущества они дают с точки зрения экологии и экономики, и возможно ли адаптировать подобные технологии в условиях других стран. Такая форма работы усиливает междисциплинарную направленность обучения и помогает будущим архитекторам лучше ориентироваться в международной профессиональной среде.

Не менее важной формой является проектная работа, в ходе которой студенты разрабатывают собственные концепты экологических объектов. Например, можно предложить создать проект жилого комплекса, ориентированного на требования стандартов энергоэффективности. В процессе работы участники анализируют англоязычные источники, подбирают материалы и технологии, формулируют обоснование экологической целесообразности своих решений. Проект может включать подготовку презентации, краткого технического описания на английском языке и устной защиты перед «экспертной комиссией» (преподавателем и сверстниками). Такая форма способствует не только развитию профессиональной коммуникации

на английском языке, но и формированию системного экологического мышления, необходимого для современных архитекторов.

Еще одной эффективной формой являются дебаты, которые стимулируют критическое мышление, умение отстаивать точку зрения и эффективно использовать профессиональную лексику на английском языке. При моделировании речевых ситуаций в архитектурной направленности дебаты могут быть посвящены острым вопросам устойчивого развития, таким как: «*Should all new buildings comply with LEED or BREEAM standards?*» или «*Is wood a suitable material for multi-storey eco-friendly construction?*». Участники заранее готовят аргументы, опираясь на англоязычные источники, и затем развернуто отстаивают свою позицию в условиях живого диалога. Использование выражений типа «*From an environmental perspective...*», «*There is a growing body of evidence that supports...*», «*On the other hand, it's important to note that...*» помогает структурировать высказывание и сделать его более убедительным.

Для успешного моделирования речевых ситуаций важную роль играет использование аутентичных англоязычных материалов, отражающих современные тенденции в области устойчивого строительства и экологического проектирования. К таким источникам относятся статьи из профессиональных журналов, такие как Architectural Review, Building Design + Construction, Architectural Digest (Architecture & Design), ArchDaily; официальные публикации организаций, занимающихся сертификацией зданий (LEED, BREEAM), а также технические описания проектов на сайтах ведущих архитектурных бюро – например, Foster + Partners, BIG, Zaha Hadid Architects. Полезными ресурсами также являются видеоматериалы: TED-лекции по теме устойчивой архитектуры, вебинары и презентации с международных конференций. Для работы с лексикой можно использовать тематические глоссарии и справочники. Такие материалы обеспечивают студентов не только профессиональной лексикой, но и примерами реального языкового использования.

Реализация выбранных ситуаций на занятиях завершается этапом рефлексии и обратной связи. После выполнения заданий преподаватель дает комментарии, акцентируя внимание на точности использования терминологии, логичности высказываний и соответствии языковых форм профессиональному контексту. Также рекомендуется провести самооценку и взаимооценку среди студентов, что помогает лучше осознать уровень своей подготовки и мотивирует к дальнейшему совершенствованию языковых и профессиональных навыков.

Таким образом, моделирование речевых ситуаций становится эффективным средством формирования экологической компетенции у студентов-архитекторов в процессе обучения английскому языку. Этот подход позволяет

сочетать развитие профессиональной коммуникации с освоением принципов устойчивого развития, что особенно важно в условиях международной профессиональной среды и растущих экологических вызовов.

УДК 372.881.111.1:378.4

Внедрение методики ролевой игры в процесс обучения профессиональной коммуникации на английском языке для специальности «Строительство зданий и сооружений»

Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассматривается применение ролевых игр как эффективного инструмента формирования профессиональной коммуникативной компетенции у студентов строительных специальностей в рамках курса «Иностранный язык (английский)», способствующие развитию навыков профессионального общения и повышению мотивации студентов к изучению английского языка. Авторы приводят примеры практических заданий и отмечают результаты проведенного педагогического эксперимента.

В условиях глобализации строительной отрасли от специалистов требуется не только техническая компетентность, но и высокий уровень владения профессиональным английским языком для успешного взаимодействия с иностранными партнерами. Тем не менее, существующие методики обучения не всегда в полной мере развивают у студентов навыки, необходимые для решения практических коммуникативных задач, что создает разрыв между академической подготовкой и реальными требованиями профессии.

Ролевые игры занимают важное место в современном обучении иностранному языку. Этот метод используется для улучшения навыков общения и помогает учащимся активно участвовать в учебном процессе, делая его более увлекательным и продуктивным. Ролевые игры позволяют создать близкие к реальной жизни ситуации, в которых учащиеся могут практиковать использование языка, что помогает повысить уверенность в собственных силах и улучшить коммуникационные навыки [1]. Как интерактивный метод, они позволяют имитировать реальные рабочие сценарии, способствующие развитию навыков диалога, переговоров и решения конфликтов. Актуальность данной методики обусловлена ее практико-ориентированным подходом, который соответствует требованиям современного мира.

В данной статье рассматривается эффективность использования ролевых игр в процессе обучения профессиональному английскому языку студентов строительных специальностей. Основная задача исследования – показать, как данный метод способствует развитию коммуникативных навыков, необходимых в будущей профессиональной деятельности.

Ролевая игра относится к интерактивным методам обучения, основанным на принципах активного вовлечения студентов в учебный процесс. Кроме разнообразия учебного процесса, игра способствует самовыражению и развитию фантазии обучающихся [2]. Основные преимущества данной методики заключаются в создании условий для контекстуального обучения, при котором моделирование профессионально значимых ситуаций позволяет студентам осваивать языковые навыки в среде, максимально приближенной к реальной профессиональной деятельности. Применение ролевых игр способствует формированию когнитивных компетенций, поскольку необходимость оперативного анализа информации и принятия ситуативных решений в рамках игровых сценариев активно развивает критическое мышление обучающихся. Кроме того, систематическое включение студентов в имитационное профессиональное общение обеспечивает психолингвистический эффект, выражающийся в постепенном преодолении языкового барьера и снижении психологического дискомфорта при использовании иностранного языка, что в конечном итоге приводит к повышению уровня коммуникативной уверенности.

Реализация ролевых игр в подготовке будущих строительных специалистов требует тщательного моделирования характерных коммуникативных ситуаций, включая: точное использование отраслевой лексики, интерпретацию технических параметров, а также отработку стратегий ведения переговорного процесса в профессиональном контексте.

Методология внедрения ролевых игр в образовательный процесс строительных специальностей предполагает последовательную реализацию нескольких взаимосвязанных компонентов. На этапе разработки осуществляется анализ типовых профессиональных задач с выделением ключевых коммуникативных ситуаций, таких как согласование производственных сроков с подрядчиками или презентация проекта заказчику. На основе проведенного анализа создаются детализированные сценарии, включающие профессиональную лексику и моделирующие аутентичные коммуникативные стратегии. Особое внимание уделяется подготовке методических материалов, в том числе ролевых карточек с распределением функций участников, а также аудиовизуальных средств, обеспечивающих наглядность учебного процесса.

В качестве практической реализации методики применяются специализированные ролевые задания: в первом случае моделируется ситуация переговоров между инженером и подрядчиком по вопросу задержки поставок

строительных материалов, направленная на формирование компромиссных решений; во втором – осуществляется групповая презентация проекта международному заказчику с использованием технической документации и профессиональной терминологии.

Оценка эффективности предложенного подхода проводилась с применением комплексного диагностического инструментария, включающего сравнительное тестирование уровня усвоения профессиональной лексики, анкетирование (по результатам которого 90% респондентов отметили снижение уровня языковой тревожности), а также метод включенного наблюдения, зафиксировавший значительное улучшение переговорных навыков и способностей к командному взаимодействию.

В рамках оптимизации учебного процесса целесообразно рассматривать ролевые игры как интегративный компонент комплексной методики, сочетая их с кейс-методом и проектным обучением для достижения синергетического эффекта. Преподавателям рекомендуется активно задействовать аутентичные материалы профессиональной направленности, в частности видеозаписи реальных строительных объектов и документацию действующих проектов, что способствует повышению уровня мотивации и созданию условий для ситуативно-адекватного речевого поведения. Со стороны обучающихся особую значимость приобретает систематическая отработка профессионально-ориентированных диалогических единств в формате парной и групповой работы, а также участие в международных образовательных проектах и виртуальных симуляциях, позволяющих расширить коммуникативный опыт в условиях межкультурного взаимодействия.

Ролевая игра доказала свою эффективность в обучении профессиональной коммуникации на английском языке для студентов строительных специальностей. Она не только улучшает языковые навыки, но и готовит учащихся к реальным рабочим ситуациям. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию методики для дистанционного и смешанного обучения, что особенно актуально в современных условиях.

Данные экспериментальных наблюдений подтверждают высокую эффективность применения ролевых игр в процессе формирования профессионально-коммуникативной компетенции на английском языке у обучающихся строительных специальностей. Данная методика демонстрирует комплексное воздействие, способствуя не только совершенствованию языковых навыков, но и формированию ситуативной готовности к реальным профессиональным сценариям. Перспективным направлением научного поиска представляется исследование возможностей адаптации рассматриваемого подхода к условиям дистанционного и гибридного обучения, что соответствует современным тенденциям цифровой трансформации образовательного пространства.

Литература

1. Гурбанова, Г. М. Значение ролевых игр в преподавании иностранным языкам / Г. М. Гурбанова, О. Омарова // Наука и мировоззрение. – 2025. – № 31. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-rolevyh-igr-v-prepodavanii-inostrannym-yazykam> (дата обращения 12.04.2025).

2. Телешева, Т. А. Педагогическая теория Джона Дьюи / Т. А. Телешева, С. В. Сидоров – URL: <http://si-sv.com/publ/16-1-0-288> (дата обращения 12.04.2025).

УДК 372.881.111.1:378.4

Методологический инструментарий для введения экологического компонента через средства ролевой игры на занятиях по английскому языку для студентов инженерного профиля

Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассматривается инновационный подход к интеграции экологической составляющей в процесс обучения английскому языку студентов инженерных специальностей посредством ролевых игр. Предлагаемая методика направлена на одновременное развитие профессиональной языковой компетенции и экологического сознания.

В условиях глобализации строительной индустрии перед современными инженерами возникает необходимость не только свободного владения техническим английским языком, но и способности компетентно обсуждать экологические аспекты проектов с международными партнерами. Тем не менее, традиционные подходы к языковой подготовке зачастую не уделяют должного внимания данному аспекту, что создает существенный пробел в формировании профессиональных коммуникативных компетенций. В этом контексте ролевые игры на английском языке представляют собой перспективное методическое решение, поскольку они позволяют моделировать реальные профессиональные ситуации, такие как презентация экологически ориентированного проекта потенциальным инвесторам, способствуют активному усвоению специальной лексики, включая терминологию, например ‘carbon footprint’ (‘углеродный след’) или ‘renewable materials’ (‘возобновляемые материалы’), а также помогают преодолевать психологические и языковые барьеры в ходе специализированных дискуссий, способствуя развитию уверенности в профессиональном общении. В связи с этим целью данного исследования выступает разработка комплексной методики,

интегрирующей языковую практику с экологическим просвещением посредством инструментов ролевой игры, что позволит обеспечить более высокий уровень подготовки специалистов в условиях современных требований международного сотрудничества.

Настоящая работа концентрируется на изучении языка для специальных целей (LSP) [1] применительно к сфере инженерной экологии, уделяя особое внимание специфике технического английского в экологическом контексте. В рамках данного анализа рассматриваются такие ключевые аспекты, как специализированная терминология, включающая понятия ‘LEED certification’ и ‘lifecycle assessment’, а также характерные для инженерной практики коммуникативные стратегии, в частности методы технического убеждения и объяснения сложных инженерных решений.

Параллельно в работе исследуется экологический компонент в системе инженерного образования, определяющий необходимость интеграции в учебный процесс ряда принципиально важных тем. Среди них особое внимания заслуживают вопросы применения устойчивых материалов, проблемы повышения энергоэффективности строительных объектов, а также изучение международных экологических стандартов. Подобный комплексный подход позволяет не только обогатить терминологический запас будущих специалистов, но и сформировать у них системное понимание экологических аспектов современной инженерной деятельности.

Методологическая основа исследования предполагает системный подход к разработке ролевых игр, включающий несколько взаимосвязанных этапов. Первоначальный этап предполагает тщательный отбор целевой лексики, охватывающей актуальные экологические концепции, такие как ‘biodiversity offsetting’ и ‘circular economy’. Последующая работа сосредоточена на создании реалистичных профессиональных сценариев, в частности моделировании ситуаций, требующих от студентов аргументированного убеждения потенциальных инвесторов в преимуществах экологически устойчивых строительных решений, например, при выборе варианта возведения моста. Особое внимание уделяется разработке специализированных языковых заданий, направленных на формирование навыков использования модальных глаголов (‘must reduce emissions’) и пассивного залога (‘The waste should be recycled’) в профессиональном контексте.

В рамках апробации методики был реализован экспериментальный сценарий, предусматривающий распределение ролей между участниками (инженер, эколог, заказчик) и постановку комплексной коммуникативной задачи по согласованию строительного проекта в соответствии с экологическими нормативами. Оценочная составляющая включала мониторинг точности использования специальной терминологии и анализ способности

обучающихся последовательно излагать и обосновывать свою профессиональную позицию на английском языке.

Для объективной оценки эффективности предложенной методики была разработана комплексная система мониторинга, включающая специализированные тестовые задания направленные на контроль усвоения экологической лексики, а также детальный анализ аудиозаписей ролевых диалогов с целью оценки уровня развития беглости речи и сформированности коммуникативной компетенции. Такой многоаспектный подход к оценке позволяет получить репрезентативные данные о динамике формирования профессионально-языковых навыков у будущих специалистов в области инженерной экологии.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о высокой эффективности разработанной методики, которая способствует комплексному формированию как лингвистических, так и профессионально-ориентированных компетенций у будущих специалистов в области инженерной экологии. Полученные данные подтверждают, что интеграция ролевых игр в образовательный процесс позволяет достичь синергетического эффекта, когда совершенствование языковых навыков происходит параллельно с углублением экологических знаний и развитием профессионального мышления.

Литература

1. Хомутова, Т. Н. Язык для специальных целей (LSP): лингвистический аспект / Т. Н. Хомутова // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2008. – № 71. – С. 96–106.

УДК 372.881.111.1:378.4

Экологическая экономика и средства ролевой игры на занятиях по английскому языку для студентов инженерно-экономического профиля

Щербицкий Н. Э., Сугакова Е. П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В представленной статье раскрывается методика преподавания английского языка через ролевые игры с акцентом на экологическую экономику для студентов инженерно-экономических специальностей. Также предлагается серия практико-ориентированных кейсов, имитирующих реальные ситуации принятия финансовых решений с учетом экологических

факторов, способствующих улучшению владения профессиональной лексикой и глубокому усвоению принципов устойчивого развития.

В условиях современного мира, в котором постепенно происходит усиление экологической повестки современные инженеры-экономисты сталкиваются с необходимостью активного участия в международных проектах, требующих не только глубоких профессиональных знаний, но и развитых коммуникативных компетенций. Особую значимость приобретает способность квалифицированно анализировать финансовые риски экологических инициатив и убедительно представлять отчеты в области устойчивого развития на английском языке. Однако существующие подходы к языковой подготовке демонстрируют ограниченную эффективность, поскольку не в полной мере учитывают специфику профессионального дискурса в контексте «зеленой» экономики. В данном исследовании обосновывается потенциал ролевых игр как интегративной образовательной технологии, позволяющей синтезировать экономическую, экологическую и лингвистическую составляющие профессиональной подготовки. Основной целью работы выступает создание научно обоснованного методического комплекса, направленного на формирование иноязычной коммуникативной компетенции через решение актуальных экологических кейсов, что соответствует современным требованиям к подготовке специалистов в области экономики инженерных систем.

В данной статье особый акцент делается на изучении английского языка для экономистов в контексте концепции устойчивого развития, что предполагает углубленное освоение специальной терминологии, включающей такие понятия, как ‘green bonds’ и ‘cost-benefit analysis of sustainability’, а также типовых речевых конструкций, характерных для профессионального дискурса, например, ‘The long-term ROI justifies the initial costs’. Параллельно рассматриваются фундаментальные принципы экологической экономики, в частности концепция «тройного итога» (‘triple bottom line’), раскрывающая взаимосвязь экономических, экологических и социальных аспектов деятельности, и механизмы ценообразования на углеродные выбросы (‘carbon pricing’), играющие ключевую роль в регулировании экологической ответственности предприятий. Такой комплексный подход позволяет сформировать у будущих специалистов целостное понимание современных экономических процессов с учетом экологического измерения, что особенно важно в условиях перехода к устойчивым моделям развития.

Методологическая основа исследования строится на тщательно разработанной системе сценариев, где центральное место занимают практико-ориентированные кейсы, моделирующие реальные профессиональные дилеммы, такие как выбор между экономически выгодными и экологически

устойчивыми материалами. Особое внимание уделяется специально разработанным языковым заданиям, направленным на формирование навыков использования сравнительных конструкций ('more sustainable but less profitable') и условных предложений ('If we invest in recycling, we will avoid fines'), что способствует развитию способности выражать сложные причинно-следственные связи в профессиональном контексте. В рамках экспериментальной апробации методики был реализован многоуровневый сценарий, предполагающий распределение ролей между участниками (финансовый директор, эко-консультант, акционер) и постановку комплексной коммуникативной задачи – проведение совещания на английском языке с целью выработки решений в области ESG-стратегии компании ('Environment, Social, Governance' – 'окружающая среда, общество, управление', это стратегия развития компании, предусматривающая прозрачность в менеджменте, заботу об экологии и людях, с которыми соприкасается данная компания). Критериальная база оценки включала мониторинг корректности применения специальной терминологии ('net-zero emissions') и анализ способности участников к построению логически выстроенной аргументации в ходе профессиональной дискуссии. Для объективной верификации эффективности предложенного подхода была разработана система оценочных процедур, включающая экспертный анализ использования профессиональной лексики и организацию тематических дебатов на английском языке с обязательным требованием научно обоснованной аргументации позиций, что позволяет комплексно оценить как лингвистические, так и профессиональные компетенции обучающихся.

Проведенное исследование позволяет констатировать, что разработанная методика демонстрирует высокую эффективность в формировании комплексных профессионально-коммуникативных компетенций, востребованных в условиях международного сотрудничества в сфере экологически устойчивых проектов. Практически полученные результаты подтверждают, что предложенный подход обеспечивает не только совершенствование языковых навыков, но и развитие стратегического мышления, необходимого для принятия управленческих решений в контексте «зеленой» экономики. Перспективы дальнейшего развития методики связаны с ее междисциплинарной интеграцией, в частности, с возможностью синтеза с программами бизнес-английского, что позволит создать универсальную платформу для подготовки специалистов нового поколения. Дополнительным направлением совершенствования является расширение банка практических кейсов с учетом региональной специфики реализации экологических инициатив и современных тенденций в области устойчивого развития. Реализация дан-

ных направлений будет способствовать формированию у будущих специалистов целостного понимания глобальных экологических вызовов и инструментария их решения в международном профессиональном контексте.

Литература

1. Белчер, Д. Обучение английскому для специальных целей: ориентация на воспринимаемые потребности и предполагаемые перспективы / Д. Белчер // TESOL Quarterly. – 2006. – Т. 40, № 1. – С. 133–156.
2. Палтридж, Б. Руководство по английскому для специальных целей / Б. Палтридж. – М. : Wiley-Blackwell, 2012. – 500 с.

УДК 811.111:378.091.3

Совершенствование научно-методического обеспечения образовательного процесса по иностранному языку (английскому): релевантный опыт разработки и внедрения на примере технического университета

Симонович М. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрены направления совершенствования научно-методического обеспечения образовательного процесса по иностранному языку (английскому), представлен релевантный опыт разработки и внедрения на примере технического университета. Раскрывается прикладной аспект повышения качества образования на факультетах Белорусского национального университета для первокурсников.

Совершенствование научно-методического обеспечения образовательного процесса предполагает повышение качества образования. В педагогике качество образования (М. М. Поташник Г. Б. Скок, Е. А. Ямбург и др.) интерпретируется как соответствие норме, стандарту. Его критериями являются:

- степень достижения цели студентами;
- уровень содержания образования (новизна, объем, практическая значимость и актуальность знаний);
- уровень преподавания и технологии, используемые в образовательном процессе;
- его ресурсное обеспечение.

Повышение качества профессиональной подготовки выпускников Белорусского национального технического университета требует разработки

и внедрения соответствующего научно-методического обеспечения, направленного на активизацию и увеличение доли самостоятельной учебной и научно-исследовательской работы студентов.

Опыт обновления образовательного процесса в технических УВО Республики Беларусь демонстрирует, что система учебно-методических комплексов (УМК) нового поколения служит эффективным средством методического обеспечения самостоятельной работы студентов. Такая система способствует целостности учебного процесса в совокупности всех его составляющих: целевой, содержательной, процессуально-деятельностной, мотивационно-стимулирующей, контрольно-регулирующей и рефлексивно-оценочной.

УМК, разработанный на основе специальности или конкретной учебной дисциплины, предполагает смещение центра тяжести или нагрузки с преподавания на деятельность самого студента, посредством увеличения объема УСР. УСР, или управляемая самостоятельная работа, введена в содержание учебной деятельности студентов в связи с увеличением требований к качеству образования; на нее отводится до 20 % отведенного на иностранный язык учебного времени. По данным Республиканского института высшей школы, в университетах Республики Беларусь разработано несколько видов УМК: традиционного типа, на модульной основе, интегрального типа, профильные УМК, электронные учебники, УМК дистанционного обучения [1].

На кафедре «Английский язык» № 2 факультета энергетического строительства БНТУ учебно-методические комплексы создаются на основе блочно-модульной системы. Модуль (юнит) – логически завершенная часть курса, подлежащая специально организованному контролю со стороны преподавателя. Для каждого модуля разработаны задания, предназначенные для УСР. Задания для управляемой самостоятельной работы различаются с учетом специфики учебной дисциплины «Иностранный язык», специальности, по которой студенты получают высшее образование.

По уровню сложности они подразделяются на репродуктивные, творческие, комбинированные.

Репродуктивный уровень предполагает выполнение заданий по образцу, осмысленное запоминание учебного материала, формирование стандартных умений. В учебно-методических комплексах подобные задания рассматриваются как обязательные для выполнения всеми студентами (обязательный минимум).

К комбинированному типу относятся самостоятельные задания, при выполнении которых студенты применяют анализ изучаемого материала, выражение собственной точки зрения, оценочного мнения студента.

Студенты, выполняющие задания творческого типа, должны самостоятельно добыть информацию, проанализировать проблемную ситуацию, разработать собственный проект. К примеру, этот проект можно представить в виде презентации или доклада на английском языке.

В качестве темы студенты 1 курса специальности «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений» профилизации «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» 7-07-0732-02 факультета энергетического строительства могут выбрать, к примеру, сравнительный анализ традиционных (нефть, газ, уголь) и альтернативных (энергия солнца, ветра, воды) источников энергии.

Для студентов 1 курса специальности «Строительство зданий и сооружений» профилизации «Гидротехническое строительство» 7-07-0732-01 предлагается выбрать сравнительный анализ гидротехнических сооружений и особенности их функционирования в разных странах.

Студенты 1 курса строительного факультета специальности «Строительство зданий и сооружений» профилизации «Промышленное и гражданское строительство» 7-07-0732-01 имеют возможность подготовить индивидуальные проекты про цели устойчивого развития в Республике Беларусь и т. д. Как правило, такая работа находит отклик у студентов, желающих повысить свой рейтинг.

В учебно-методических комплексах предусматривается система работы по усвоению студентами профессиональных компетенций. Соответствующие компетенции структурно выделяются в каждой теме, отведенной на самостоятельное изучение. Например, студент 1 курса любой специальности должен овладеть профильной лексикой в соответствии с учебной программой и составить тему не менее 15 предложений на основе пройденного модуля (юнита).

Эффективным средством организации самостоятельной работы может выступать сочетание блочно-модульной системы с информационными технологиями. При этом содержание учебного материала представлено в электронном виде. Использование компьютерных средств позволяет студентам осваивать учебные модули в удобное для них время, а также повышает производительность труда обучающихся и преподавателя. Особенно такой формат удобен при работе со студентами, которые обучаются заочно.

Продуктивным средством организации и управления самостоятельной работой студентов является использование рейтинговой системы оценки знаний, позволяющей осуществлять мониторинг качества образования. Такая система предусматривает регулярное отслеживание посещаемости и успеваемости обучающихся, а также объективную оценку их знаний.

Под рейтингом в данном случае понимается сумма кредитов, набранных студентом за все виды работы по учебной дисциплине с учетом их сложности. Возможности кредитной системы оценивания широки: в ее рамках осуществляется и тематический контроль, и текущая аттестация студентов, и стимуляция обучаемых к регулярной посещаемости практических занятий, и налаживание обратных связей от усвоенного студентами материала к обучающей деятельности преподавателя [2].

Позитивные характеристики кредитной системы связаны и с дифференцированной оценкой умственных усилий студентов, соизмеримых с диагностируемым результатом. Объективность оценки достигается за счет постоянного текущего контроля и учета индивидуальных достижений каждого студента со стороны преподавателя, систематического подведения промежуточных итогов.

Литература

1. Брезгунова, И. В. Технологии электронного обучения : учеб. пособие / И. В. Брезгунова, С. И. Максимов. – Минск : РИВШ, 2020. – 144 с.

2. Научно-методические инновации в высшей школе / под общ. ред. проф. А. В. Макарова. – Минск : РИВШ, 2008. – 186 с.

УДК 372.881.111.1

Синквейны как средство формирования экологической компетенции на занятиях по английскому языку в техническом вузе

Конева Т. И.¹, Янушкевич Л. М.²

¹Белорусский государственный педагогический университет
им. Максима Танка,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье исследуется, как синквейн – короткое пятистрочное стихотворение без рифмы – помогает студентам неязыковых вузов улучшить навыки письма на иностранном языке. Авторы отмечают, что этот метод не только тренирует языковые умения, но и стимулирует критическое мышление, раскрывает творческий потенциал учащихся. Кроме того, использование синквейна делает процесс обучения более увлекательным, повышая интерес студентов к освоению иностранного языка.

В современном мире умение грамотно и эффективно выражать свои мысли в письменной форме на иностранном языке становится не менее важным, чем владение устной речью. Способность вести переписку, составлять

отчеты, участвовать в онлайн-дискуссиях и создавать контент для международной аудитории – это навыки, которые необходимы современному человеку для успешной жизни и карьеры в глобальном мире. Следовательно, необходимо переосмыслить роль письма в учебном процессе, уделить ему больше внимания на занятиях по иностранному языку в вузе.

Как показывает опыт преподавания, большинство студентов неязыковых вузов не в полной мере владеют навыками письма на иностранном языке и испытывают значительные трудности в выполнении письменных заданий, что приводит к снижению успеваемости по иностранным языкам, и как следствие, потере интереса к учебе. В этом контексте весьма эффективным и увлекательным приемом формирования навыков письменной речи особенно на начальном этапе изучения иностранного языка, может стать составление синквейнов.

Термин *синквейн* происходит от французского слова *cinq* (пять) и обозначает стихотворную форму из пяти строк. Его создательница – американская поэтесса Аделаида Крэпси (Adelaide Crapsey, 1878–1914), вдохновлялась японской поэзией хайку и танка. Она адаптировала идею лаконичности и образности, но разработала оригинальную стихотворную структуру, приносящую ритм и смысловую насыщенность. В XX веке синквейн стали использовать в школах как инструмент для анализа понятий, развития творческих способностей и словарного запаса обучающихся. В тот момент фокус сместился с поэзии на логику и структуру (существительное, прилагательные, глаголы и т.д.). Сейчас синквейн – это своего рода сплав японской эстетики, западной поэзии и педагогики, ставший универсальным методом выражения идей.

Авторы данной работы под синквейном понимают короткое, нерифмованное стихотворение из пяти строк, которое строится по следующей схеме:

Строка 1: одно существительное (тема стихотворения);

Строка 2: два прилагательных, описывающих тему;

Строка 3: три глагола, обозначающие действия, связанные с темой;

Строка 4: фраза или предложение, выражающая отношение автора к теме стихотворения. Это может быть мнение, чувство, ассоциация с заявленной темой;

Строка 5: одно существительное (синоним к существительному из первой строки или вывод по заявленной теме).

В качестве примера приведем 2 синквейна, составленные студентами 1 курса факультета дошкольного образования БГПУ на тему «Образ современного учителя»:

(1) *Teacher.*

Kind, inspiring.

Helping, believing, challenging.

She made me who I am.

Gratitude.

(2) Teacher.

Calm, understanding.

Listening, guiding, encouraging.

He helps to overcome challenges.

Supporter.

Применение данного приема в обучении письму имеет ряд очевидных достоинств. Прежде всего, составление синквейнов способствует расширению словарного запаса обучающихся, так как приходится подбирать наиболее емкие и выразительные слова, использовать синонимы и антонимы, прибегать к образности, чтобы как можно точнее выразить главную мысль, уместить ее в пяти коротких строках. Кроме этого, построение предложений в соответствии с заданной синтаксической структурой помогает обучающимся закрепить грамматические правила, научиться согласовывать слова во фразе и предложении.

Как отмечает Ю. О. Шпичка, синквейн является «мощным инструментом для рефлексии, синтеза и обобщения информации» [3]. В процессе работы над синквейном студенты учатся критически оценивать изученный материал, отбирать наиболее важные детали и формулировать собственные выводы по теме, что способствует развитию аналитических способностей и формированию самостоятельной точки зрения. Описываемый методический прием предоставляет отличную возможность для самовыражения и проявления творческих способностей студентов, позволяя им высказать свое отношение к теме в необычной, оригинальной форме.

Нельзя не согласиться с мнением Е. Е. Матвеевой об универсальности данного приема, поскольку синквейны можно составлять на разных этапах прохождения студентами учебной темы – от стадии вызова до осмысления и рефлексии [2]. В контексте формирования навыков письменной речи целесообразно использовать синквейн в качестве своеобразного плана для более развернутого письменного задания – эссе или рассказа. Было замечено, что данный прием позволяет студентам преодолеть боязнь чистого листа, поскольку четкая и ясная структура стихотворения облегчает начало работы над написанием текста, стимулирует творческий процесс.

Важно отметить тот факт, что структура синквейна проста и доступна, поэтому даже студенты с начальным уровнем владения иностранным языком могут успешно справиться с заданием. По мнению Н. В. Лавринович, обучающиеся воспринимают себя «авторами подлинного поэтического произведения», что способствует развитию их творческих способностей [1]. Таким образом, данный методический прием позволяет всем без исключения

студентам ощутить успешность в обучении, поверить в свои силы и получить внутреннюю мотивацию к дальнейшему изучению языка.

Для освоения студентами техники написания синквейнов можно воспользоваться следующей методической схемой:

1. Демонстрация примеров синквейна на изучаемом языке, анализ их структуры и правил построения, ознакомление с критериями оценки выполнения задания.

2. Подготовка к написанию: выбор темы для синквейна. Это может быть слово, понятие, событие, персонаж из изучаемого материала. Важно адаптировать задание к потребностям и интересам студентов.

3. Организация мозгового штурма, чтобы помочь студентам подобрать слова и фразы, связанные с выбранной темой. На данном этапе преподаватель задает вопросы, чтобы активизировать имеющиеся знания и ассоциации по теме синквейна.

4. Составление студентами собственных синквейнов (индивидуально, в парах или группах).

5. Представление синквейнов и их обсуждение: студенты задают вопросы по содержанию, анализируют основную мысль стихотворения.

6. Оценивание синквейнов по таким критериям как соответствие структуре и заданной теме, оригинальность основной мысли, выбор слов и грамматическая правильность.

7. Публикация с согласия авторов стихотворения размещаются в онлайн-форуме, на платформе Moodle, печатаются в виде тематического плаката, сборника и др.

В дальнейшем задания на составление синквейнов можно разнообразить или усложнить в зависимости от учебных целей. Например, предложить составить синквейн-загадку, который будет служить описанием литературного героя, объекта или понятия. Вариантом такого задания может служить синквейн, в котором пропущено одно из трех прилагательных, глагол или целая фраза:

(3) ... (Harry Potter)

Brave, lonely

Learning, fighting, hoping

The boy who lived on

Wizard

(4) *Summer*

Hot, ... (sunny)

Swimming, traveling, ... (relaxing)

... (The best time of the year!)

Vacation

Вместо классических синквейнов можно предложить студентам составить «грамматические» синквейны с герундием, формами прошедшего времени глаголов или, как в примере ниже, с конструкцией *there is*:

(5) *Hometown*

Quiet, familiar.

There is comfort, there is peace, there are my friends.

Memories about my childhood.

Heart.

Резюмируя вышесказанное, хочется отметить, что синквейн – это эффективный и увлекательный инструмент для развития навыков письма на иностранном языке. Данный прием помогает студентам расширить словарный запас, улучшить грамматические навыки, развить аналитическое и творческое мышление. Благодаря простоте и доступности синквейн может быть использован при обучении студентов с разным уровнем владения языком. При правильном использовании, синквейн станет ценным дополнением к традиционным методам обучения письму и поможет студентам почувствовать себя уверенно и комфортно в процессе изучения иностранного языка.

Литература

1. Лавринович, Н. В. Использование твердых поэтических форм в процессе обучения иностранному языку / Н. В. Лавринович // Преподавание иностранных языков в поликультурном мире: традиции, инновации, перспективы : сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию каф. иностр. яз., Минск, 23–24 марта 2023 г. / Белорус. гос. пед. ун-т ; редкол.: В. Д. Стариченок (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. – С. 70–74.

2. Матвеева, Е. Е. Использование приема «синквейн» на уроках немецкого языка как второго иностранного / Е. Е. Матвеева // Практика преподавания иностранных языков на факультете международных отношений БГУ. – Минск : БГУ. – 2016. – С.126–127.

3. Шпичка, Ю. О. Синквейн как прием технологии развития критического мышления / Ю. О. Шпичка // Педагогическая мастерская. – 2015. – № 2(38). – С. 10–14.

Feedback and Self-Assessment in ESP Classrooms

Рыбакова А. С.

Государственный социально-гуманитарный университет

Коломна, Российская Федерация

Статья посвящена принципам оценивания обучения в контексте языковой подготовки студентов технических специальностей. В работе особое внимание уделяется активному вовлечению студентов в процесс оценивания через использование заданий, связанных с реальными профессиональными сценариями, такими как ролевые игры на английском языке, имитирующие типичные рабочие ситуации. Автор подробно анализирует значение обратной связи как ключевого элемента обучения, описывая различные методы ее предоставления. В статье предлагаются практические инструменты для развития рефлексии и самооценки, такие как ведение портфолио и постановка индивидуальных целей, что способствует формированию самостоятельности будущих инженеров.

Assessment for Learning means we think about how our assessments can help students do their best. Maybe you assume that all assessments help students learn or that all motivated students will automatically learn from any tests we give them, as long as they try hard and study. But this is not the case. Students need our help in order to make sure that they learn from not only our lectures and activities, but from our assessments as well. Here are some key principles to keep in mind so that you can create assessments that help students learn.

The first principle for assessment for learning is to help students become active in their own learning. Sometimes students feel that classes are passive, that the teacher is in control and they have very few opportunities to have control over their grade. They might feel that even when they study hard, they can't score well on important tests or papers. This is de-motivating for students. You can help by making sure students know your classes aren't just passive – students play an active role. You can do this by linking assessments to your student learning objectives that are in the syllabus. This way, students can see why they are being assessed in specific areas. You can also explain to them why the assessment is important and how it will help them in their careers. Third, you can strive to create assessments that are linked to their futures. Whenever possible, make assessments that are based on real tasks your students will need to do in the future. For example, you can ask students to role play an interaction, in English, between a hotel manager and a guest who has a complaint or a shop-assistant and a customer. Possible areas to grade on would be if students use key vocabulary effectively, if

they speak so that their English is comprehensible, or if they employ strategies covered in class to deal with customer complaints. A fourth way to help students be active in their own learning is to ensure that your assessments are fair. Prepare students for your assessments, such as by giving them a study guide for an exam or answering questions about the assessment before they take it. Be sure you have sufficiently covered all material that you will assess. If you haven't covered it sufficiently, it is not fair to assess students on it. And finally, when you give assessments, make them as interesting as possible. In some cultures, having competitions in class is very effective to get students motivated. You can choose to grade or not grade these competitions.

The second is to give effective feedback to students. Feedback should be given so that students understand what they did correctly or incorrectly and so that they understand what you recommend – for example, you might need students to understand that they got the wrong answer and why it was wrong, or maybe they need to understand that they did a process or lab experiment wrong and why. If students only find out what they got right or wrong, with no feedback on why, they are less likely to learn.

One way to help students stay on track with feedback is to make it an ongoing part of the course. You can create progress sheets or assignments, where you ask students to record their progress throughout the time period of the assignment. You can then give them feedback on their progress, to keep them motivated and on-track. You can give students feedback through written comments (for example, on a paper or rubric) or in person (such as in a conference, during office hours, or before or after class). Or you can structure peer review activities. One of the best ways to give clear feedback is by using a rubric. A rubric is a grid that describes what grading criteria are and what is expected for each criteria; they will be discussed in more detail in this course.

Effective feedback generally does three things: identifies strengths, identifies opportunities for improvement or weaknesses, and suggests next steps.

The third principle for assessment for learning is to give students opportunities to reflect on their own learning. We don't want students to only take a test and forget about it and the information they learned. Instead, we want them to look at their results from the assessment and think about what they did well and how they could do better. This is reflective learning. You can help students do this by asking them to write two or three things they want to learn, at the beginning of each unit. Then, at the end of each unit, after an assessment, ask them to reflect on if they met their goals. They can write their reflection and turn it in to you, or they can share their reflections in a small group discussion during class. Be sure to do this several times during the semester so that students become more skilled at doing these reflections. Student goals should be specific. For example, if your field has a specific test they will need to pass in order to become certified, their goal might

be to learn the information required in order to pass that test. You can also ask students to help each other by giving feedback to each other so that everyone learns more. This is often called “peer review” or “peer assessment.” It does not mean that students grade each other. It means that they look at each other’s work, such as a paper or presentation, and offer suggestions on how to make it better. Then, they can make any revisions before they turn in their work to the instructor and it is graded. When students help each other, they learn from each other as well.

Following are some options for assessing student learning and performance: Classroom Assessment Techniques, Capstone Projects, Portfolios, Presentations, and Papers or Reports. Both formative and summative assessments are included.

Classroom Assessment Techniques (CATs) [1] are intended to provide immediate feedback about the whole classes’ understanding of course content, not what individual students understand. They are therefore a type of formative assessment. It is usually best to try the CAT yourself or give it to a colleague before you try it with your class, to ensure that your directions are clear. You can also tell students what the results of the CAT were (without any student names) – this helps them see how you plan class and also shows them how their learning compares with others in the class.

Capstone projects are culminating projects, meaning they take place at the end of a unit or course. They are useful to demonstrate how well students can integrate information and apply it in some way. They are particularly effective for students who are approaching graduation, since these projects can be done with experts in the field, local businesses, or other real-world groups. Capstone projects can be done in groups or individually, and many include more than one type of assessment. For example, students can be asked to interview an industry expert, collect their findings into a group written report, and present the main findings to the class.

Portfolio is a collection of materials that have been created and assembled by the student. They can be individual or group projects. Contents of the portfolio can be text (such as papers or reports), images (such as pictures of students interviewing an industry expert), audio files (such as a recording of an interview), or other files such as slides. They can be created in paper form, in a binder, or they can be ePortfolios and put online. Portfolios can be summative or formative; many instructors make them both. For example, students can turn in the individual parts of their portfolio throughout the course, and then revise them based on peer or instructor feedback, and finally collect them all into a final portfolio for a grade. Portfolios can be very useful for the job seeking and interviewing process and can be updated by the student even after the course is over. Keep in mind that portfolios can include any types of contents.

Presentations can be in a group or individual and can be summative or formative. Presentations will be most effective if students have clear guidelines on what is expected, if they are directly related to course content and students' future careers or lives, and if they are carefully regulated in terms of length of presentation and visuals so that they are not too long or confusing. Presentations can be done in-person during class, or they can be recorded and watched by the instructor and peers for homework.

Papers or reports that focus on students' future career writing needs will be the most beneficial and motivating for students and thus easier to grade. Papers can be written for group projects or individually, they can be formative or summative, they can be long or short, and they can be formal or informal. Informal writing assignments focus on helping students learn or explore material. For example, students can write on online discussion boards or even make their own English-language blogs related to course content. They can also post via social media related to course content. With social media, extra attention needs to be paid to privacy and security, and not all students or classes will want to explore this idea for informal writing. Instructors often worry about plagiarism if they assign writing tasks. In order to minimize chances that students will just copy text from a book or online source, and not complete their own assignments teachers should choose course topics that are difficult for students to copy from other sources or to require students to turn in drafts of their paper before the final, so that you can check that they are doing their own work. One more way to check is to watch for inconsistencies in students' papers – look for fonts that are different or wording that seems beyond your students' English proficiency level. Teachers should explain to students the importance of doing their own work for their future career development and tell them you care about their ideas and will read their work. And, finally, the topics assigned should be interesting to students and connected to their lives and careers.

Remember that when a student tries very hard to do well on an assessment and that student fails or does poorly, this can be very de-motivating, causing them to not want to try harder in the future. The more we can involve students in their learning and create fair assessments, the greater chance there is that they will feel empowered to succeed.

References

1. Angelo, T. A. Classroom assessment techniques: a handbook for college teachers / T. A. Angelo, K. P. Cross. – San Francisco : Jossey-Bass, 1993. – 429 p.

**Экологический глоссарий (Ecological Glossary) как инструмент
к пониманию устойчивого развития для студентов
технических вузов**

Фомичева Т. П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Статья посвящена вопросу актуальности экологического глоссария в образовательном процессе обучения студентов технических специальностей. Автор подчеркивает, что в условиях глобальных экологических вызовов знание основных экологических терминов и понятий становится необходимостью для будущих специалистов, а также для понимания принципов устойчивого развития.

Согласно современным вызовам, связанным с изменениями климата, истощением ресурсов и ухудшением состояния окружающей среды, устойчивое развитие становится важной целью для всего общества. Под устойчивым развитием (sustainable development) понимают развитие, которое удовлетворяет потребности нынешнего поколения, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности [1]. Для студентов технических специальностей, которые будут разрабатывать и внедрять инновации, понимание экологических принципов и терминов является неотъемлемой частью их подготовки.

В этой связи экологический глоссарий (Ecological Glossary) выступает важным инструментом, способствующим глубокому усвоению знаний и формированию профессиональных компетенций.

Актуальность составления экологического глоссария (Ecological Glossary) имеет несколько ключевых аспектов, среди которых можно выделить следующее: глоссарий служит полезным ресурсом для студентов, позволяя им быстро находить значения сложных терминов и концепций. Это способствует более эффективному усвоению материала и повышает уровень экологической грамотности. Изучение экологической терминологии на английском языке помогает студентам развивать профессиональную лексику, что является важным для их будущей карьеры. Это также способствует улучшению навыков общения, необходимых для работы в международной среде.

Выделение экологической терминологии в качестве отдельного и жизненно важного компонента устойчивого развития – это не просто совокуп-

ность специализированных слов и выражений; это создание общего понимания понятий, процессов и явлений, связанных с окружающей средой и экологией [2].

Они охватывают широкий спектр тем, включая:

1. Ecosystem – термины для понимания как экосистемы функционируют и взаимоотношения между организмами и их окружения. Примерами таких терминов являются: *biodiversity, habitat, niche, biomass, tropic levels, food chain, food web, producer, consumer, decomposer, carrying capacity, ecosystem services, ecological pyramid*.

2. Polluton – термины, относящиеся к различным видам загрязнения (воздуха, воды, почвы), источникам загрязняющих веществ и воздействию на здоровье человека и экосистемы. Эти термины важны для понимания различных аспектов загрязнения, их источников, воздействию и потенциальных решений. (*air pollution, water pollution, soil pollution, point source pollution, non-point source pollution, biodegradable pollutants, non-biodegradable pollutants, toxicity, eutrophication, greenhouse gases, smog, acid rain, ozone, depletion, waste management*).

3. Sustainable development – слова и фразы, касающиеся принципов устойчивого использования природных ресурсов, охраны окружающей среды и социальной ответственности. Эти термины являются основополагающими для понимания принципов и практики устойчивого развития и важности соблюдения баланса между экономическими, социальными, и экологическими соображениями. (*sustainable development, sustainability, ecological footprint, renewable resources, non-renewable resources, intergenerational equity, social equity, environmental justice, circular economy, sustainable agriculture, green technology, climate resilience, biodiversity conservation, sustainable urban development, corporate social responsibility (CSR)*).

4. Biodiversity – термины, описывающие разнообразие жизни в конкретной среде обитания или экосистеме. Эти термины необходимы для понимания концепций и важности биоразнообразия, а также проблем, с которыми оно сталкивается, и усилий, необходимых для его сохранения. (*biodiversity, species diversity, genetic diversity, ecosystem diversity, endemism, extinction, threatened species, conservation, habitat fragmentation, invasive species, ecological niche, keystone species, biodiversity hotspot, ecosystem services, biological interactions*).

5. Climate change– термины, связанные с изменениями климата, парниковыми газами, глобальным потеплением и их последствиями. Эти термины важны для понимания сложности изменения климата, его причин, последствий и ответных мер, необходимых для решения этой глобальной проблемы. (*global warming, greenhouse gases (GHGs), carbon footprint, mitiga-*

tion, adaptation, climate resilience, fossil fuels, renewable energy, carbon sequestration, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), climate policy, albedo effect, extreme weather events, ocean acidification).

Таким образом, актуальность экологических глоссария (Ecological Glossary для студентов технических вузов не вызывает сомнений. Знание экологических терминов и понятий помогает студентам осознанно подходить к вопросам устойчивого развития и экологической ответственности в своей будущей работе. Это также способствует формированию у студентов критического мышления и способности анализировать влияние технологий на экологию. Это знание способствует подготовке квалифицированных специалистов, способных эффективно решать экологические проблемы в своей профессиональной деятельности.

Литература

1. Лучникова, А. В. Формирование парадигмы устойчивого развития в сознании студентов на занятиях по английскому языку в вузе / А. В. Лучникова, Т. И. Тугунина // Евразийский гуманитарный журнал. – 2018. – № 4. – С. 141–144.
2. Ecological Terminology Term Sustainable Directory / Sustainability. – URL: <https://sustainability-directory.com/term/ecological-terminology> (дата доступа: 11.04.2025).
3. Collins Dictionary. – URL: <https://www.collinsdictionary.com> (дата обращения: 20.04.2025).
4. Oxford English Dictionary. – URL: <https://www.oed.com> (дата добращения: 20.04.2025).
5. Ecology / English meaning Cambridge Dictionary. – URL: <https://dictionary.cambridge.org> (дата обращения: 18.04.2025).

УДК 372.881.111.1

Критическое мышление в оценке экологической информации при изучении иностранных языков в техническом вузе

Передня Н. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В условиях глобального экологического кризиса и роста дезинформации в сфере устойчивого развития все большее значение приобретает развитие критического мышления у будущих инженеров. Основной задачей становится формирование у студентов технических специальностей способности анализировать экологическую информацию на иностранном языке.

В статье рассматриваются возможности дисциплины «Иностранный язык» как инструмента не только доступа к профессиональной информации, но и ее критического анализа. Предложены методические подходы, включающие использование аутентичных материалов, проблемно-ориентированный подход и рефлексию в контексте профессиональной этики. Также обозначены барьеры внедрения и даны рекомендации по их преодолению.

Очевидно, что глобальный экологический кризис требует от будущих инженеров умения анализировать сложную информацию на иностранных языках (ИЯ), преимущественно английском. Исследования подтверждают рост дезинформации в экологической сфере, включая явление «гринвошинга», что угрожает принятию профессиональных решений. В белорусском контексте эта проблема особенно актуальна в связи с принятием Национальной стратегией устойчивого развития до 2035 года, где подчеркивается необходимость подготовки инженеров, обладающих экологической ответственностью. Однако вопрос разработки методик развития критического мышления (КМ) для работы с экоконтентом на ИЯ в белорусских технических вузах остается недостаточно проработанным.

Под критическим мышлением в данной работе понимается направленный процесс анализа, оценки и реконструкции информации с опорой на логику и доказательства. Оно характеризуется взвешенностью, целенаправленностью и использованием когнитивных стратегий для достижения результата. Ключевые компоненты включают: анализ источников, интерпретацию данных, саморегуляцию. Эти навыки позволяют будущим инженерам отделять достоверную информацию от манипулятивной, что особенно важно при работе с данными в области экологии, часто подверженными искажению.

Экологическая информация обладает рядом характерных особенностей, которые делают ее особым и сложным объектом для анализа.

Во-первых, она носит *междисциплинарный характер*, поскольку данные в этой сфере зачастую объединяют знания из различных областей – таких как инженерия, экология, экономика и общественные науки. Это требует от студентов умения интегрировать разнородную информацию и видеть взаимосвязи между различными аспектами проблемы.

Во-вторых, экологические данные часто подвержены *информационным манипуляциям*, что связано с широким использованием эвфемизмов, селективного представления фактов и искажения статистики. Такие приемы могут затруднять выявление достоверной информации и формировать у читателя неверное представление о реальной ситуации.

В-третьих, важное значение имеет *визуализации данных* – графиков, диаграмм, карт и других наглядных форм представления информации. При этом они также могут быть использованы не только для объективного отражения действительности, но и для создания ложного впечатления о масштабах экологических проблем.

Дисциплина «Иностранный язык» имеет значительный потенциал в формировании этих компетенций. Подавляющее большинство (до 90 %) научных отчетов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), стандартов ESG и патентов на «зеленые» технологии публикуются на английском языке. Для белорусских студентов владение английским становится ключом к доступу к современным данным, без которых невозможно эффективное участие в международной профессиональной среде. Практика Белорусского национального технического университета показывает, что интеграция материалов, например, отчетов Бел АЭС в учебный процесс, значительно повышает мотивацию студентов.

Работа с аутентичными текстами позволяет развивать критическое мышление через: *анализ лексики* – рассмотрение оценочных значений, эвфемизмов (например, выражение «*экологическая оптимизация*» вместо более точного «*сокращение выбросов*»), терминологической точности, модальности (различие в использовании *must* и *may* для влияния на степень уверенности читателя); *грамматический анализ* – использование пассивного залога, условных конструкций, влияющих на восприятие сообщаемой информации; *дискурсивный анализ* – выявление риторических приемов, скрытых посылов, идеологической окраски текста.

Методика развития навыков критической оценки экологической информации предполагает реализацию потенциала дисциплины «Иностранный язык» для формирования критического мышления при работе с экологическими текстами. Ее эффективность основывается на следующих принципах:

Интеграция экологической тематики. Экологический контент не должен выделяться в отдельный блок, а органично вплетаться в существующую программу: темы «Наука и техника», «Современные проблемы Общества», «Профессиональная деятельность инженера». Это достигается через использование аутентичных материалов, имеющих отношение к профилю обучения студентов.

Аутентичность материалов. Работа ведется с реальными, а не адаптированными источниками: научные статьи, новостные материалы из авторитетных изданий (BBC, National Geographic), отчеты Минприроды РБ, IPCC, корпоративные ESG-отчеты, официальные документы, качественные документальные фильмы. Такой подход обеспечивает высокую практическую ценность и соответствует требованиям профессиональной коммуникации.

Проблемно-ориентированный подход. Фокус делается на анализе конкретных, актуальных экологических проблем и ситуаций: оценка последствий внедрения новых технологий, сравнительный анализ спорных данных о воздействии загрязнителей. Это повышает мотивацию студентов и усиливает практическую направленность обучения.

Связь с профессиональной деятельностью. На каждом этапе проводится рефлексия: студенты обсуждают, как полученные навыки связаны с будущей инженерной практикой, принципами устойчивого развития (*sustainable development*) и профессиональной этикой инженера в области охраны окружающей среды (*sustainable engineering*). Примеры подбираются с учетом специфики технических специальностей: энергетика, строительство, машиностроение, химические технологии и т.д.

Для анализа источников может быть использован проверенный инструмент – CRAAP-Test (Currency, Relevance, Authority, Accuracy, Purpose). Он позволяет систематически оценивать надежность информации: насколько актуальны данные, соответствует ли уровень материала целям исследования, какова квалификация и авторитетность автора, а также насколько информация подтверждаема и объективна. Применение данного метода способствует формированию у студентов навыков критического подхода к экологическим данным.

Проверка фактов может включать обучение студентов алгоритму работы с утверждениями, статистикой, цитатами, поиск первоисточников данных, отчетов международных организаций и научных баз данных. Например: сравнение ESG-отчета МАЗ с данными UNEP или анализ медиадискурса: сопоставление подачи экопроблем в The Guardian и белорусских СМИ. Таким образом, выпускники, освоившие эти подходы, смогут верифицировать данные, используя Отчеты о состоянии окружающей среды Республики Беларусь и другие источники.

Однако внедрение таких методик сталкивается с рядом проблем, а именно: *дефицит аудиторных часов* в программах по ИЯ технических вузов, *нехватка преподавателей* с междисциплинарной подготовкой (экология + лингвистика), *разнородность уровня подготовки студентов*.

Для решения указанных проблем можно предложить комплекс мер, нацеленный на модернизацию содержания и методов преподавания иностранного языка в технических вузах. Одним из возможных направлений является внедрение специализированных элективных курсов, ориентированных на профессиональное использование английского языка в контексте экологических вопросов — подобно уже реализованному в БНТУ модулю «Зеленые технологии в инженерии». Важное значение при этом имеет подготовка педагогов: развитие их компетенций в области критического мыш-

ления, работы с аутентичными материалами и основ экологической грамотности может осуществляться через регулярное проведение семинаров, курсов повышения квалификации и мастер-классов. Также перспективным решением представляется активное внедрение цифровых инструментов, способствующих анализу достоверности информации, таких как платформа FactCheck.by, а также программных средств для интерпретации и проверки графически представленных данных. Такой подход позволяет не только повысить качество анализа экологической информации, но и формировать у студентов навыки ее критического осмысления в реальных профессиональных ситуациях.

Дисциплина «Иностранный язык» служит не только ключом к актуальной информации, но и предоставляет саму языковую платформу для ее критического анализа. Интеграция критического мышления в обучение ИЯ позволяет сформировать у белорусских инженеров компетенции для работы с экологической информацией в контексте устойчивого развития Республики Беларусь.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку учебно-методических комплексов с учетом белорусского контекста (например, с опорой на опыт Бел АЭС, МТЗ и других предприятий) и эмпирическую оценку эффективности предложенных методов в формировании конкретных навыков критического мышления у студентов. Формирование критически мыслящего, экологически ответственного инженера становится важным вкладом дисциплины «Иностранный язык» в подготовку кадров для экономики Беларуси.

УДК 811.11(03):378.4

**Формирование экологической компетенции студентов инженерного
профиля посредством приема Noticing при обучении
английскому языку**

Якушева Н. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Статья посвящена исследованию потенциала методического приема noticing («замечание») для интеграции задач развития языковых навыков и формирования экологической компетенции у студентов инженерных специальностей в процессе обучения английскому языку. В центре внимания – практика применения noticing к аутентичным материалам на экологическую тематику, где студенты целенаправленно выявляют и анализируют изученные языковые явления в профессионально-значимом контексте

В условиях глобализации экологических проблем, таких как изменение климата, истощение ресурсов и загрязнение окружающей среды, от специалистов инженерного профиля требуется не только высокий уровень технических знаний, но и развитая экологическая компетенция. Эта компетенция подразумевает систему знаний об экологических проблемах, умение оценивать последствия инженерной деятельности, ответственное отношение к окружающей среде, способность принимать решения в русле устойчивого развития и эффективно общаться на эти темы. Однако традиционные методы обучения английскому языку в технических вузах не всегда в полной мере интегрируют актуальную экологическую повестку в процесс глубокого осознанного овладения языковыми структурами, часто ограничиваясь общими темами и изолированными упражнениями.

В данной статье обосновывается и описывается методика применения приема *noticing*, которая эффективно используется для развития экологической компетенции на практических занятиях. Теоретической основой приема служит концепция Ричарда Шмидта (1990), утверждающая, что для усвоения языкового явления обучаемый должен сначала осознанно «замечать» его в потоке речи или тексте. *Noticing* предполагает активное направление внимания студента на специфические особенности языка – грамматические конструкции, лексические единицы, дискурсивные маркеры – в аутентичных контекстах. Наша практика показывает, что потенциал *noticing* значительно возрастает, когда в качестве такого контекста выступают профессионально-релевантные аутентичные материалы на экологическую тематику: статьи из научных журналов и сайтов международных организаций, отчеты о корпоративной социальной ответственности и устойчивом развитии, технические описания «зеленых» технологий, новости об экологических инновациях, фрагменты выступлений экспертов (TED Talks).

Методическая реализация приема в работе со студентами инженерных специальностей (уровень В1+) включает несколько последовательных этапов. Преподаватель подбирает аутентичный материал, четко соответствующий инженерному профилю (например, «Инновации в переработке строительных отходов», «Экологические аспекты проектирования инфраструктуры и т. д.) и определяет конкретный фокус анализа. Этим фокусом могут быть изучаемые грамматические темы (артикли, предлоги, пассивный залог, времена для описания процессов/последствий) или лексические блоки (устойчивые выражения, терминология устойчивого развития, словообразование).

Студенты, работая индивидуально или в парах, тщательно анализируют материал, выискивая и выписывая примеры заданных языковых явлений,

непосредственно связанные с экологической проблематикой текста. Например, они могут фиксировать все предлоги в предложениях о причинах загрязнения или выписывать устойчивые выражения в разделе о решениях энергетических проблем.

Следующий этап – совместное обсуждение «находок» на занятии. Студенты делятся обнаруженными примерами, а преподаватель выполняет ключевую роль фасилитатора: помогает проанализировать, почему в данном контексте использована именно эта грамматическая форма, как точно передает смысл лексическая единица, и главное – связывает языковое явление с экологическим смыслом текста. На этом этапе преподаватель помогает выделить то, что осталось незамеченным, акцентируя, например, как пассивный залог смещает фокус на само воздействие на природу («The river was contaminated by industrial discharge»), или объясняя точное значение термина ‘carbon footprint’ в контексте выбросов парниковых газов. Затем, для активизации и закрепления выявленного материала, преподаватель создает краткие задания, часто используемые как warm-up: упражнения на подстановку артиклей/предлогов в контекстные предложения на экологическую тему, составление собственных высказываний с новыми устойчивыми выражениями (напр., ‘phase out fossil fuels’, ‘achieve net-zero emissions’), анализ словообразования экологических терминов (напр., ‘biodegradable’, ‘deforestation’). Завершающим элементом является краткая рефлексия экологического содержания текста, фиксирующая внимание на сути поднятой проблемы и ее связи с будущей профессией студентов.

Использование приема noticing в описанном формате обладает значительным образовательным потенциалом для формирования экологической компетенции. Во-первых, осознанное восприятие и активный поиск экологической лексики и грамматических структур в аутентичном контексте обеспечивают более глубокое понимание и прочное запоминание как самого языка, так и стоящих за ним экологических концепций. Во-вторых, сам процесс работы с профессиональными текстами развивает критически важные навыки поиска, анализа и извлечения релевантной информации на английском языке. В-третьих, постоянное взаимодействие с актуальными проблемами и решениями через призму языкового анализа способствует неявному усвоению экологических знаний и развитию экологического мышления, включая понимание причинно-следственных связей и системности проблем. В-четвертых, погружение в материалы, освещающие последствия человеческой деятельности и пути к устойчивости, естественным образом формирует чувство профессиональной ответственности и экологическое мировоззрение. Наконец, анализ того, как язык используется для описания проблем и решений, стимулирует развитие критического мышления в экологической сфере.

Таким образом, прием noticing, интегрированный в работу с аутентичными экологическими материалами, представляет собой эффективный инструмент для преподавателя английского языка в инженерном вузе. Он позволяет органично соединить достижение собственно языковых целей (усвоение грамматики, лексики, развитие навыков чтения/анализа) с насущной задачей формирования у будущих инженеров экологической компетенции – комплекса знаний, умений, ценностей и ответственности, необходимых для профессиональной деятельности в XXI веке. Осознанное «замечание» языковых структур в контексте профессионально значимых экологических вопросов создает уникальную образовательную среду, где владение английским языком и экологическая грамотность развиваются неразделимо, готовя студентов к решению комплексных задач современного мира. Описанная практика, включающая индивидуальный/парный поиск, коллективный анализ и активизацию языкового материала, демонстрирует высокую практическую ценность и может быть адаптирована для различных инженерных специальностей и уровней владения языком.

Литература

1. Благовещенская, Г. О. Развитие речевой компетенции в процессе работы с диалогами на занятиях по английскому языку в вузе / Г. О. Благовещенская, Е. В. Калебердина // Модернизация системы непрерывного образования : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Самара, 23 сент. 2017 г. – Уфа, 2017. – С. 25–29.
2. Лаврентьева, Е. А. К вопросу о внедрении антропоцентрического подхода в процесс обучения иностранному языку в неязыковом вузе / Е. А. Лаврентьева // Вестник Московской международной высшей школы бизнеса МИРБИС. – 2015. – № 4 (4). – С. 70–73.
3. Mackey, A. Feedback, Noticing and Instructed Second Language Learning / A. Mackey // Applied Linguistics. – Oxford : Oxford University Press, 2006. – P. 405–430.

УДК 629.735

Innovative Technologies in the Development of Natural Sciences and Modern Education in Turkmenistan

Allabayeva K. B., Orazova B. P.

Turkmen State Architecture and Construction Institute
Ashgabat, Turkmenistan

This article explores the role of innovative technologies in advancing natural sciences and education in Turkmenistan. It examines the integration of tools such

as artificial intelligence, virtual laboratories, and digital classrooms, highlighting their impact on scientific research and learning processes. The text discusses governmental initiatives aimed at promoting digital literacy and modernizing infrastructure while addressing challenges like the digital divide and scalability.

Innovative technologies play a pivotal role in the advancement of natural sciences and education in Turkmenistan. As the nation continues to prioritize modernization and sustainable development, the integration of these technologies into scientific research and educational practices marks a significant shift in its approach to knowledge creation and dissemination. The following text explores how advancements such as artificial intelligence, digital classrooms, and virtual laboratories are influencing these domains, the government's initiatives in this regard, and the opportunities and challenges that lie ahead.

The natural sciences benefit immensely from innovative technologies, which enable researchers to analyze complex phenomena and improve methodologies. Artificial intelligence (AI), for instance, is applied in various fields such as agriculture, climate science, and energy management. AI-driven predictive models help enhance agricultural yields by identifying optimal planting schedules and detecting crop diseases at an early stage. Similarly, AI contributes to renewable energy management by forecasting energy demand and improving the efficiency of power grids. These applications demonstrate the transformative potential of AI in addressing critical challenges faced by Turkmenistan [1].

Virtual laboratories and simulations represent another technological leap in the natural sciences. These tools provide researchers and students with an interactive environment to conduct experiments without the need for physical lab infrastructure. Turkmenistan's universities and research institutions are incorporating these platforms to foster practical skills and reduce costs. For example, students studying chemistry can simulate reactions, observe outcomes, and understand processes in a virtual setting, thereby bridging the gap between theoretical knowledge and hands-on experience [2].

In education, the adoption of digital classrooms has significantly enhanced learning experiences. Interactive whiteboards, online resources, and educational software are becoming standard in schools and universities across Turkmenistan. These tools facilitate personalized learning, enabling educators to cater to the individual needs of students. Moreover, they provide access to a wealth of information and resources, thereby broadening the horizons of learners [3].

Blended learning, which combines traditional face-to-face instruction with online education, is another innovative approach gaining traction in Turkmenistan. This model allows students to benefit from the flexibility of digital platforms while maintaining the essential human interaction of in-person teaching. Higher

education institutions are leading this transformation, offering online modules and virtual discussions that complement classroom sessions [4].

The Turkmen government plays a crucial role in integrating technology into natural sciences and education. Initiatives such as the «Digital Education Strategy» aim to improve infrastructure, train educators, and promote digital literacy. These efforts align with the nation's vision of building a knowledge-driven economy and fostering a culture of innovation. For instance, significant investments have been made in equipping schools with digital tools and establishing internet connectivity in rural areas.

Educational reforms are also central to this transformation. The government has introduced policies encouraging the use of innovative teaching methods and fostering international collaborations. Partnerships with foreign universities and research institutions have facilitated knowledge exchange and access to advanced technologies. These reforms underline Turkmenistan's commitment to enhancing its educational landscape and ensuring that its students and researchers remain competitive on the global stage [5].

Despite these advancements, challenges persist. The digital divide, characterized by unequal access to technology, remains a significant barrier. While urban areas benefit from modern infrastructure, rural regions often lack internet connectivity and digital devices. Addressing this issue requires targeted investments in infrastructure and comprehensive training programs to ensure that all citizens can benefit from technological advancements.

Scalability and sustainability are other pressing concerns. While pilot projects have demonstrated the potential of innovative technologies, scaling these initiatives to a national level demands substantial resources and careful planning. Moreover, ensuring sustainability involves fostering a culture of continuous learning and adaptability among educators, researchers, and students.

The opportunities presented by innovative technologies are immense. They not only enhance the quality of education and research but also contribute to the broader socio-economic development of Turkmenistan. By leveraging these advancements, the country can address critical challenges, such as improving agricultural productivity, managing natural resources efficiently, and equipping its workforce with the skills needed for a knowledge-based economy.

Collaboration between government, academia, and international organizations will be key to realizing these opportunities. Joint initiatives can facilitate knowledge exchange, provide access to cutting-edge technologies, and ensure that the benefits of innovation are equitably distributed. For example, partnerships with global tech companies can help Turkmenistan access advanced software and tools, while collaborations with international universities can bring expertise and best practices to its educational institutions.

For example, one innovative application of AI in Turkmenistan is seen in the development of predictive systems for agriculture. Local farmers, in collaboration with universities, utilize AI tools to determine the best planting times and irrigation schedules based on weather patterns and soil conditions. This not only increases efficiency but also reduces water waste – a critical factor in the arid regions of the country.

Another real-life example is the use of virtual laboratories in engineering education. Students at the Turkmen State Institute of Architecture and Construction employ advanced simulation software to design and test structural components virtually before moving to physical prototypes. This approach not only saves costs but also enhances creativity and precision in engineering solutions.

Furthermore, digital classrooms have had a profound impact on primary and secondary education. For instance, a pilot project in Ashgabat introduced interactive whiteboards and educational software in public schools. The project demonstrated a marked improvement in student engagement and understanding, particularly in subjects like mathematics and science. Teachers reported that the visual and interactive nature of digital tools helped simplify complex concepts for younger students.

Joint initiatives can facilitate knowledge exchange, provide access to cutting-edge technologies, and ensure that the benefits of innovation are equitably distributed. For example, partnerships with global tech companies can help Turkmenistan access advanced software and tools, while collaborations with international universities can bring expertise and best practices to its educational institutions.

In conclusion, innovative technologies hold transformative potential for the natural sciences and education sectors in Turkmenistan. By addressing challenges such as the digital divide and ensuring the sustainable implementation of these advancements, the country can achieve its developmental goals and strengthen its position in the global knowledge economy. The journey toward this vision requires collective effort, strategic planning, and a commitment to fostering innovation at all levels of society.

References

1. Smith, J. Artificial Intelligence in Agriculture / J. Smith. – Cambridge : Cambridge Press, 2022. – 350 p.
2. Brown, R. Virtual Labs in Education / R. Brown. – Oxford : Oxford University Press, 2021. – 280 p.
3. Johnson, M. Digital Classrooms: The Future of Learning / M. Johnson. – New York : HarperCollins, 2020. – 300 p.
4. Wilson, T. Blended Learning Strategies / T. Wilson. – London : Pearson, 2019. – 250 p.
5. Green, A. Government Initiatives in Digital Education / A. Green. – Abingdon : Routledge, 2023. – 400 p.

**Образовательные технологии в языковом обучении
технического образования**

Аманов М. Э.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

В последние десятилетие, информационные технологии совершили настоящую революцию, проникнув во все сферы нашей жизни и став ее неотъемлемой частью. Особенно заметно это в образовании, где цифровые технологии меняют сам подход к обучению. Цифровое образование становится глобальным трендом, а доступ к качественному цифровому контенту превращается в мощный стимул для развития и обучения.

Сегодня образование выходит за рамки простого усвоения академических знаний. Оно должно готовить человека не только к решению профессиональных задач, но и к полноценной жизни в быстро меняющемся мире. Важно развивать индивидуальный и личностный потенциал каждого ученика, формируя универсальные компетенции, которые позволят ему успешно адаптироваться к новым вызовам, достигать поставленных целей и самореализовываться как в профессиональной сфере, так и в личной жизни. В эпоху постоянных изменений и инноваций, именно эти навыки становятся залогом конкурентоспособности и успешной интеграции в глобальное сообщество. Другими словами, современное общество предъявляет новые требования к специалистам. Важно не только знание иностранных языков, но и умение эффективно использовать цифровые технологии. Специалисты должны быть гибкими и готовыми к изменениям, обладать широким кругом навыков, включая критическое мышление и способность к самообразованию. Творческий подход и умение применять знания в условиях быстро меняющейся цифровой среды становятся необходимыми. Как справедливо подчеркивает И. Ю. Тарханова, недостаток универсальных компетенций может стать причиной того, что даже успешные выпускники не могут адаптироваться к профессиональной среде и покидают свои профессии [7, с. 111]. В современном мире, когда глобализация и цифровая экономика диктуют свои правила, вопрос о том, как традиционное образование может адаптироваться и развиваться в эпоху цифровой трансформации, становится особенно важным. Поэтому сегодня, как никогда прежде, необходимо искать пути интеграции проверенных временем образовательных методик с новыми цифровыми возможностями, чтобы обеспечить качественное и актуальное образование для будущих поколений.

В условиях развития «цифровой педагогики» в Туркменистане, концептуально-научный подход к обучению языкам становится особенно важным. Это связано с государственной политикой, направленной на модернизацию образования и создание конкурентоспособной образовательной системы. Подтверждением этому служат принятые на законодательном уровне документы, такие как «Концепция совершенствования преподавания иностранных языков в Туркменистане» (2017) и «Концепция развития системы цифрового образования в Туркменистане» (2017) и с планом ее реализации. Эти документы определяют цели и задачи для улучшения работы образовательных учреждений.

Цифровая трансформация образования – это, по мнению некоторых ученых, закономерный процесс адаптации образовательной системы к реалиям цифровой эпохи. Развитие цифровой образовательной среды требует пересмотра традиционных подходов к обучению, включая содержание учебных программ, организационные формы и методы преподавания. Ключевая цель этих изменений – достижение высоких образовательных результатов, обеспечивающих всестороннее развитие личности и подготовку специалистов, способных успешно жить и работать в цифровом мире. Оценка образовательных результатов должна учитывать как академическую успеваемость, так и готовность к использованию цифровых технологий в профессиональной деятельности, а также эффективность их применения в образовательном процессе [8].

В эпоху цифровой трансформации образования многие авторы подчеркивают важность адаптации и эффективного использования традиционных образовательных технологий, в частности, личностно-ориентированного обучения, в рамках компетентностного подхода. Этот подход, рассматриваемый сегодня как инновационная модель, направлен на формирование у студентов набора ключевых компетенций, необходимых для успешной адаптации в обществе и профессиональной деятельности.

Продолжая мысль, хотелось бы отметить, что несмотря на относительно недавнее появление, компетентностный подход еще не имеет общепринятого определения. Например, В. А. Солоницын видит суть данного подхода в развитии базовых компетенций, обеспечивающих успешную адаптацию выпускников [6, с 12]. Г. И. Ибрагимов рассматривает его как совокупность принципов, определяющих цели, содержание, организацию и оценку результатов образования [4]. В целом, компетентностный подход ориентирован на развитие у обучающихся умений, позволяющих им самостоятельно решать задачи, организовывать познавательную деятельность и действовать в различных ситуациях. Акцент делается не на усвоении информации, а на формировании навыков, необходимых для определения целей, принятия ре-

шений и эффективных действий в типичных и нестандартных обстоятельствах [1]. Иными словами, задача образования – вооружить обучающихся универсальными навыками, применимыми в любой жизненной ситуации. Анализируя научную литературу по данной тематике, многие авторы едины во мнении что, именно сочетание этих подходов обеспечивает эффективность образовательного процесса, направленного на достижение требуемых результатов и всестороннее развитие каждого обучающегося.

В эпоху технической революции ключевым направлением развития образования становится активное использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Практика показывает, что ИКТ позволяют не просто адаптировать существующие образовательные методики, но и значительно улучшить их, повышая эффективность обучения и обеспечивая соответствие современным требованиям к образованию. Цифровые технологии, благодаря своей способности к быстрому распространению и обновлению, предоставляют безграничный доступ к информации и разнообразным инструментам. Это дает студентам и преподавателям возможность полностью контролировать свое информационное пространство и совместно использовать его. Возникают новые возможности для самоконтроля и взаимоконтроля, развития интереса к учебе и осознанного вовлечения в учебный процесс. В связи с этим, современное образование в условиях цифровой трансформации немыслимо без личностно-ориентированного подхода, что означает смещение фокуса в образовательной системе с преподавателя на обучающегося. Другими словами, личностно-ориентированное обучение – это когда вместо традиционного подхода, где знания просто передаются от педагога к студенту, современное образование все больше ориентируется на личность обучающегося. Это означает, что процесс обучения становится эффективным только тогда, когда студент активно вовлечен в групповую работу, чувствует ответственность за результат и развивает критическое мышление. Важно, чтобы система образования учитывала индивидуальные потребности и запросы каждого учащегося. Такой подход позволяет будущим специалистам раскрыть свой потенциал, самостоятельно определять свой образовательный путь, контролировать процесс обучения и формировать устойчивую внутреннюю мотивацию. В центре внимания оказывается сам студент, а программа обучения адаптируется под его индивидуальные особенности и цели.

В классической модели образования учитель занимает центральное место, определяя ход урока и выступая основным поставщиком информации. Знания передаются ученикам односторонне, без достаточного внимания к тому, как они усваиваются и применяются. Традиционный учебный про-

цесс обычно строго регламентирован, с четким планом и жесткой дисциплиной, где роль преподавателя сводится к трансляции заранее подготовленного материала.

Такой подход, когда студентам просто говорят, что делать, не давая возможности самим выбирать, что и как учить, сильно ограничивает их развитие. Относиться ко всем одинаково, не обращая внимания на то, что каждая личность - уникальна. У кого-то лучше получается одно, у кого-то другое, кому-то интересно копаться в деталях, а кто-то мыслит более масштабно. Когда слушателям не дают возможности проявлять свою индивидуальность, учитывать свои интересы и склонности, им сложнее раскрыть свой потенциал и научиться думать самостоятельно. В итоге, несмотря на кажущееся обилие информации, настоящее обучение часто так и не случается. Время и силы уходят впустую, как вода в песок. Хуже того, такая система, словно тиски, сжимает творческий потенциал и природную любознательность, превращая студентов из активных исследователей в пассивных и безразличных слушателей.

Напротив, личностно-ориентированное или студентоцентрированное обучение переворачивает эту парадигму. Здесь в центре внимания оказывается сам студент – его потребности, вопросы, интересы и стремление к познанию. Преподаватель же выступает в роли не столько лектора, сколько наставника, помощника и проводника в мире знаний. Он создает условия, в которых студент может активно исследовать, экспериментировать и самостоятельно строить свое понимание предмета. Таким образом, педагог смещается с позиции «центрального источника» на позицию «поддерживающего партнера», помогая студенту раскрыть свой потенциал и получить максимально полезный и интересный опыт обучения [10].

Идея о том, что образование должно строиться вокруг потребностей и особенностей каждого ученика, существует уже давно. Это не просто модное веяние, а скорее объединяющий принцип для множества проверенных временем методик, основанных на глубоком понимании того, как люди учатся. Многие выдающиеся ученые, такие как Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев С. Л. Рубинштейн, Б. Г. Ананьев, И. А. Зимняя и многие другие, заложили фундамент этой концепции, подчеркивая важность учета целей, мотивации и психологических характеристик каждого учащегося. Сегодня, в контексте развития современного образования, этот подход рассматривается как один из ключевых путей к прогрессу [5]. В частности, при изучении иностранных языков, личностно-ориентированное обучение помогает студентам лучше понимать себя, развиваться и раскрывать свой уникальный потенциал [9].

Сегодня в образовании существует множество подходов, стремящихся сделать процесс обучения более эффективным и отвечающим потребностям

каждого обучающегося. Часто можно встретить термины, такие как «персонализированное обучение», «дифференцированное обучение» или «адаптивное обучение», которые, по сути, преследуют одну и ту же цель – сделать обучение более индивидуальным. Один из ключевых элементов такого подхода – индивидуализация. Это означает, что обучающиеся получают возможность самостоятельно выбирать учебные материалы и задания, которые соответствуют их интересам и уровню подготовки. Важную роль играет и активность самих студентов. Они не просто пассивные слушатели, а активные участники процесса, которые вместе с педагогом определяют цели обучения и выбирают наиболее подходящие методы.

Кроме того, крепкие отношения между педагогом и студентом, а также между самими учащимися, создают благоприятную атмосферу для обучения и способствуют более глубокому пониманию материала. Наконец, обучение не ограничивается стенами аудитории. Оно может происходить в самых разных местах и формах, включая внеурочные занятия и проекты [11].

В данном контексте, хотелось бы подчеркнуть, что информационно-коммуникационные технологии в их цифровом развитии выступают в качестве катализатора эффективности традиционных образовательных технологий, в частности, личностно-ориентированного обучения ориентированное на развитие компетенций. Приемлемость данных технологий в условиях цифровизации образования обусловлена их способностью к реализации принципа активного обучения, интегрирующего когнитивные, аффективные и психомоторные домены. Это способствует формированию субъектно-субъектных отношений в образовательном процессе, где преподаватель выполняет функцию фасилитатора, а студент становится активным участником, проявляющим автономию, саморефлексию и внутреннюю мотивацию.

Поскольку каждый студент уникален, применение единого подхода к обучению нецелесообразно. Для достижения оптимальных результатов, ориентированных на студента, необходим комплексный подход, основанный на интегрированной методологии. Задача преподавателя - разработать собственные, эффективные стратегии, проводя практические эксперименты и адаптируя лучшие методы и приемы обучения, принимая во внимание индивидуальные особенности каждого студента: его склонности, интересы, способности и потребности. Изучение научной литературы и практический педагогический опыт свидетельствуют о том, что в цифровой образовательной среде студентоцентрированное обучение становится эффективным благодаря применению разнообразных методов и техник, таких как: групповая работа, модель «перевернутого класса», интерактивные занятия, проектная деятельность, презентации, практическое обучение, взаимное обучение, демонстрации, панельные дискуссии, анализ кейсов, мозговые штурмы, роле-

вые игры, управляемые исследования, имитационные игры, индивидуальные и групповые задания, решение проблем, а также вопросно-ответные сессии. Повышение продуктивности этих ориентированных на студента образовательных технологий достигается за счет использования «интеллектуальных интерактивных репетиторов» – специализированного программного обеспечения [12]. В академической сфере именно искусственный интеллект является движущей силой инноваций в современном электронном образовании. Он обеспечивает органичную и эффективную интеграцию таких образовательных подходов, как компетентностный, личностно-ориентированный, дифференцированный, когнитивный и рефлексивный, в учебный процесс.

К вышеизложенному, необходимо подчеркнуть, что серьезным препятствием в обучении является недостаток мотивации и эмоциональной вовлеченности. Существующие образовательные подходы часто игнорируют механизмы формирования устойчивого интереса к учебе. При этом, по мнению многих исследователей, именно мотивация служит движущей силой успешного обучения (И. А. Зимняя, А. А. Вербицкий, Б. Вернер, А. И. Гебос, Р. Гарднер, Р. Пекрун и др.). Результат обучения, прежде всего, зависит от побуждения и потребностей индивида, его мотивации. В своих исследованиях мы не раз упоминали о том, что этот феномен способен вызывать целенаправленную активность человека [2]. Изучение современной психолого-педагогической литературы показало, что использование современных образовательных технологий создает благоприятные педагогические условия для повышения учебной мотивации. Эмпирические данные подтверждают, что для эффективного обучения, независимо от используемых технологий, необходимо создание эмоционально-позитивной атмосферы, способствующей формированию устойчивой мотивации к предмету и учебному процессу [3]. Авторы считают, что для создания эмоционально-мотивирующей атмосферы в обучении важны: личность педагога, благоприятная эмоциональная среда, интересное содержание и методы подачи материала. Ключевыми элементами являются эмоциональная насыщенность занятий, постоянное обновление материала, активное использование игровых и соревновательных технологий, а также связь успеха в учебе с осознанием личного роста. Важно также поддерживать психологически комфортную атмосферу на каждом занятии [3].

Для реализации задач важна профессиональная компетентность педагога, включающая педагогические знания, психологическую подготовку, коммуникативные навыки, креативность и способность к инновациям с использованием информационных технологий. Необходимо формирование

педагогической и информационной культуры педагога для развития компетенций обучающихся, оптимизации учебного процесса и повышения эффективности образования.

В связи с этим, необходимо разработать принципиально новые методики обучения, максимально использующие современные педагогические возможности. В основе этих методик должны лежать самостоятельная и групповая работа учащихся, особенно в языковом образовании. Для достижения этой цели требуется: а) мотивировать интерес к языку через изучение культурных, исторических и национальных особенностей страны изучаемого языка; б) активизировать внутреннюю мотивацию учащихся, поддерживая их профессиональный интерес на протяжении всего курса обучения; в) подчеркивать практическую и теоретическую ценность получаемых знаний, демонстрируя их применимость в будущей профессиональной деятельности; г) стимулировать самостоятельность, профессиональную самореализацию и исследовательские навыки, используя комплексные подходы к обучению.

Все это позволит кардинально изменить учебный процесс. Использование технологических и научных инноваций обещает значительное улучшение существующих методов. Достижение высоких образовательных результатов возможно только при использовании интегративных методологий. Каждый преподаватель должен разрабатывать собственную стратегию обучения, находить уникальные подходы к решению задач. Индивидуальность педагога – это его главное преимущество и залог успешного обучения.

Литература

1. Акапьев, В. Л. Роль компетентностного подхода в современном образовании / В. Л. Акапьев, Н. В. Немыкина, Н. И. Немыкин // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11-7. – С. 1402–1406.
2. Аманов, М. Э. Феномен мотивации при изучении иностранных языков как объект педагогического исследования / М. Э. Аманов // *Проблемы современной науки и образования*. – 2017. – № 38(120). – С. 45–52.
3. Аманов, М. Э. Феномен эмоционального эффекта в педагогике / М. Э. Аманов // *Педагогика*. – 2020. – Т. 84, № 10. – С. 27–33.
4. Ибрагимов, Г. И. Компетентностный подход в профессиональном образовании / Г. И. Ибрагимов // *Образовательные технологии и общество*. – 2007. – Т. 10, № 3. – С. 361–365.
5. Минтус, О. М. Студентоцентрированное обучение как один из путей развития современного образования / О. М. Минтус // *Культура, наука, образование: проблемы и перспективы : материалы II Всероссийской научно-практической конференции* ютв, г. Нижневартовск, 8 февр. 2013 г. / Нижневартровский гос. ун-т ; отв. ред. А. В. Коричко. – Нижневартовск, 2013. – С. 141–142.

6. Солоницын, В. А. Компетентностный подход в системе обеспечения качества образования в вузе (на примере Московского университета имени С. Ю. Витте) / В. А. Солоницын // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия : Педагогика. Психология. Образовательные ресурсы и технологии. – 2013. – № 1 (2). – С. 12–18.
7. Тарханова, И. Ю. Формирование универсальных компетенций студентов вуза средствами учебной и производственной практики / И. Ю. Тарханова // Соц.-политические исследования. – 2019. – № 1. – С. 110–118.
8. Уваров, А. Ю. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / А. Ю. Уваров, Э. Гейбел, И. В. Дворецкий [и др.]. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 343 с.
9. Greitzer, F. L. A cognitive approach to student-centered e-learning / F. L. Greitzer // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – SAGE Publications, Los Angeles, 2002. – Vol. 46, № 25. – P. 2064–2068.
10. McCabe, A. Student-centred learning: the role and responsibility of the lecturer / A. McCabe, U. O'Connor // Teaching in Higher Education. – 2014. – Vol. 19, № 4. – P. 350–359.
11. Rennie Center for Education Research & Policy. Putting Students at the Center of Reform / Rennie Center for Education Research & Policy. – Boston, MA, 2017. – 24 p.
12. Woolf, B. P. Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-Learning / B. P. Woolf. – San-Francisco : Morgan Kaufmann, 2010. – 480 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Пехота А. Н., Хрусталева Б. М., Згурский Д. А. Технологии и оборудование переработки органических отходов	4
Згурский Д. А., Пехота А. Н., Хрусталева Б. М. Информационные технологии в системе обращения с ТКО на селитебных территориях	9
Пехота А. Н., Шавловский Д. В. Влияние комплексной автоматизации технических служб на безаварийное и бесперебойное газоснабжение: применение ПК «Мириада»	13
Струцкий Н. В. Предиктивная аналитика объектов газораспределительной системы: перспективы развития	17
Рудковский А. Т., Прокопчук Н. Р. Оценка долговечности (остаточного ресурса работоспособности) изоляционных битумных покрытий стальных газопроводов подземного залегания	22
Пехота Е. А., Романюк В. Н. Особенности изменения содержания кислорода в газгольдере при дегазации с применением дегазационно-вентиляционного устройства	29
Станецкая Ю. А., Канашиц В. В. Применение накопителей тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения	34
Золотарева И. М., Костенко Д. А. Современные методы очистки атмосферного воздуха	41
Крутилин А. Б., Костенко Д. А. Особенности температурного режима техподполий и подвалов существующих зданий	48
Пенджиев А. М. Теплопроизводительность солнечных коллекторов в условиях пустыни Каракумы	51
Золотарева И. М., Холодов А. С., Брановицкий Н. С. Интеграционные системы очистки воздуха: многофункциональная система очистки воздуха с плазменной ионизацией, фотокатализом и замкнутым циклом переработки CO ₂	56

Хрусталеv Б. М., Сизов В. Д., Якимович Д. Д., Лешкевич В. В., Черванева Е. А. Обеспечение организованного притока частично подогретого наружного воздуха в помещениях жилых зданий.....	63
Сизов В. Д., Якимович Д. Д., Лешкевич В. В., Черванева Е. А. К вопросу об обеспечении требуемого уровня тепловой защиты вентилируемыми фасадными системами.....	67
Сизов В. Д., Якимович Д. Д., Черванева Е. А., Лешкевич В. В. Определение гидравлического сопротивления труб из сшитого полиэтилена при температуре 20 °С и 80 °С.....	74
Белениник О. И., Кононов Д. А., Сизов В. Д. Разновидности теплопоступлений в тоннель метрополитена города Минска как фактор обуславливающий температурный режим тоннеля.....	77
Романюк В. Н., Струцкий Н. В., Свистун А. Л. Почвенно-грунтовые факторы процесса коррозии стального подземного трубопровода.....	82
Любчик О. А. Моделирование влияния роста доли местных возобновляемых ТЭР на себестоимость производства тепловой энергии	88
Пехота А. Н., Адашкевич С. В. Применение ультразвуковой дефектоскопии при контроле сварных швов полиэтиленовых газопроводов	94
Пехота А. Н., Пристромова К. С. Анализ методов, применяемых в исследованиях шероховатости материалов	99
Ливанский Д. Г., Позняк И. В. Практический опыт применения геотермального отопления, вентиляции с рекуперацией и пассивного охлаждения в жилом доме площадью 390 м ² (д. Ельница, Республика Беларусь)	102
Ливанский Д. Г., Воробьева А. С., Сокол Д. С. Формирование микроклимата в спальном помещении детского дошкольного учреждения.....	107
Ливанский Д. Г., Малиевская А. В., Стома Н. В. Исследование параметров микроклимата при различных методах обогрева помещения высотой 6 м.....	114
Борухова Л. В., Канашиц В. В., Дубовский С. Д. Анализ и оптимизация теплопоступлений через заполнение световых проемов в помещениях общественных зданий в теплый период года.....	119

Андреев В. Д., Пехота А. Н. Исследование влияния качества выполненных
строительно-монтажных работ на изменение энергоэффективных
характеристик при эксплуатации здания 124

Кононов Д. А., Белениник О. И., Сизов В. Д. Интерпретирование
методики Кулжинского, для определения теплотермических потерь подземных
сооружений метрополитена мелкого заложения..... 129

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Китиков В. О. Актуальные вопросы развития водопроводно-
канализационного хозяйства на современном этапе 139

Ануфриев В. Н., Волкова Г. А. Результаты разработок строительных
правил в области водоотведения с 2021 по 2024 год 149

Комаров М. А., Кураленок А. А. Анализ направлений
использования отходов водоподготовки и осадков очистки
коммунальных сточных вод 154

Мередова Х. А., Таганов Ч. Х., Аширов А. И. Озеро собирающее
каждую крупину воды в пустыне 158

Пропольский Д. Э. Принципиальная схема синтеза полифункциональных
фильтрующих материалов методом экзотермического
горения в растворе 165

Портнова Т. М., Витковская Р. Ф., Нестерова Т. М.
Математическое управление процессами обезжелезивания
и деманганации 168

Штепа В. Н., Охтилев М. Ю., Бобрикович А. В., Бобрикович Ю. В.
База знаний системы водоотведения населенного пункта 174

Якубов К. А., Буриев Э. С., Нурманов С. Р. Реализация проектов
систем водоснабжения и канализация в Узбекистане 179

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Качанов И. В., Браим Д. Н. Компьютерное моделирование водозаборника
полнонапорного водометного движителя с различной геометрической
формой поперечного сечения 185

Линкевич Н. Н. Изменение природных условий в нижнем бьефе гидроузлов	190
Митрахович А. И., Казьмирук И. Ч. Особенности регулирования водного режима слабоводопроницаемых почв.....	198
Левкевич В. Е., Бузук А. В. Кобяк В. В. Особенности деформаций берегов водохранилищ Беларуси «каньонного» типа.....	202
Линкевич Н. Н. Развитие мелиоративного и гидротехнического строительства в Беларуси.....	209
Роннов Е. П. Кочнев Ю. А. Научно-методические вопросы реализации образовательной программы «Проектирование, постройка и ремонт судов»	220
Вчерашня В. В., Мажайский Ю. А. Агрохиммелиоранты и технические решения восстановления плодородия почв временно выбывшего из оборота и нарушенных мелиорируемых земель	224
Криволап С. Н., Ковалев А. В. Опыт реконструкции действующей станции обезжелезивания на водозаборе «Полыковичи» в г. Могилеве	227
Немеровец О. В., Чайко П. В. Реконструкция гидротехнических сооружений на примере ГЭС «Яново».....	231
Повколас К. Э., Шавловская О. А. Методика оценки влияния вибродинамических воздействий при производстве работ на строительной площадке на эксплуатационную надежность рельсовых путей башенных кранов.....	237
Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А., Артемчик А. А. Устройство для удаления песчаных пробок.....	247
Ивашечкин В. В., Артемчик А. А., Казьмирук И. Ч., Кондратович А. Н. Реагентные способы и устройства для стимулирования водоотбора из водозаборных скважин	250
Богославчик П. М., Евдокимов В. А. Конструктивные особенности резервных водосбросов с размываемыми вставками.....	254
Богославчик П. М., Устюжанина В. С. Методы расчета устойчивости грунтовых откосов	261
Курчевский С. М., Голубенко М. И. Технические средства утилизации животноводческих стоков	267

Костерина С. Д., Кочнев Ю. А., Роннов Е. П. Математическая модель и ее реализация самобалансируемого якоря повышенной держащей силы.....	274
---	------------

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Есман А. К., Зыков Г. Л. Методика измерения чувствительности многоканальных фотоприемников	280
Есман А. К., Зыков Г. Л. Функциональный контроль многоканальных фотопреобразователей	284
Савчук Г. К., Юркевич Н. П. Исследование материалов в системе Zn-Ti-O для керамических элементов малогабаритных антенн	288
Савчук Г. К., Юркевич Н. П., Ахмедов А. П., Худойбергганов С. Б. Расчет магнитных полей в рамках диалога с искусственным интеллектом.....	291
Ахмедов А. П., Худойбергганов С. Б., Юркевич Н. П. Оптимизация накопления и использования электрической энергии от пьезоэлектрических элементов в дорожных покрытиях с применением интеллектуальных систем управления.....	293
Павлюченко В. В., Зыков Г. Л., Дорошевич Е. С. Определение свойств объектов с использованием магнитных носителей.....	300
Павлюченко В. В., Зыков Г. Л., Дорошевич Е. С. Запись магнитных полей на магнитные носители.....	305
Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С. Контроль свойств объектов в прошедшем магнитном поле движущегося источника.....	309
Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И. Изучение явления фотопроводимости в фуллеритах	313
Бердиев У. Т., Хасанов Ф. Ф., Каршиев К. Т., Сулаймонов У. Б., Митюк В. И. Исследование магнетокалорического эффекта в манганитах	315
Иксар Е. В., Каюмов С. Н. Рациональный алгоритм снижения потерь мощности в тяговом асинхронном приводе магистральных локомотивов.....	319

Мирсаатов Р. М., Султанходжаева Г. Ш., Худойберганов С. Б., Юркевич Н. П. Термическая обработка коконов тутового шелкопряда с применением солнечной энергии	328
Туйчиева М. Н., Юркевич Н. П. Применение IoT для функциональной диагностики системы управления электровоза «O‘zbekiston-Yo‘lovchi» в условиях нестандартных ситуаций тягового режима	334
Karshiev K. T., Kutbidinov O. M. Losses during charging and discharging of an electrical energy storage device and their solutions	341
Колесников И. К., Хакимов С. Х. Математическое моделирование вторичных источников питания тягового электропривода постоянного тока	343
Abidova G. Sh., Kurbanov I. B. Development of a mathematical model of the solar panel efficiency factor	350
Abidova G. Sh., Kurbanov I. B. Photovoltaic direct current power generation system	356
Мыратбердиев Я., Аманов М. Э., Тайлиев Я. Г., Годыков П. Е. Ветровые эрозионные процессы в Ахалском велаяте Туркменистана.....	366
Akmuradova G. G. Modern technologies of training as a means of improving the quality of education	373
Allabayeva K. B., Orazova B. P. Innovative Technologies in the Development of Natural Sciences and Modern Education in Turkmenistan	378
Кириленко А. И., Шуруй В. Г. Низкие уровни радиации в технике и в окружающей среде	381
Сазанчук Э. П., Юркевич Н. П. Инновационные подходы к исследованию света и цвета	389

ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Здоронков Ю. А. Обучение профессионально ориентированному иностранному языку с использованием аудиовизуальных текстов	396
Муха О. Ю. Эколого-компетентностный подход к обучению студентов английскому языку в техническом вузе	398
	450

Крюкова Л. А. Моделирование речевых ситуаций для формирования экологической компетенции у студентов-архитекторов при обучении английскому языку.....	400
Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э. Внедрение методики ролевой игры в процесс обучения профессиональной коммуникации на английском языке для специальности «Строительство зданий и сооружений».....	404
Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э. Методологический инструментарий для введения экологического компонента через средства ролевой игры на занятиях по английскому языку для студентов инженерного профиля.....	407
Щербицкий Н. Э., Сугакова Е. П. Экологическая экономика и средства ролевой игры на занятиях по английскому языку для студентов инженерно-экономического профиля.....	409
Симонович М. М. Совершенствование научно-методического обеспечения образовательного процесса по иностранному языку (английскому): релевантный опыт разработки и внедрения на примере технического университета.....	412
Конева Т. И., Янушкевич Л. М. Синквейны как средство формирования экологической компетенции на занятиях по английскому языку в техническом вузе.....	415
Рыбакова А. С. Feedback and Self-Assessment in ESP Classrooms	420
Фомичева Т. П. Экологический глоссарий (Ecological Glossary) как инструмент к пониманию устойчивого развития для студентов технических вузов	424
Передня Н. И. Критическое мышление в оценке экологической информации при изучении иностранных языков в техническом вузе	426
Якушева Н. В. Формирование экологической компетенции студентов инженерного профиля посредством приема Noticing при обучении английскому языку	430
Allabayeva K. B., Orazova B. P. Innovative Technologies in the Development of Natural Sciences and Modern Education in Turkmenistan	433
Аманов М. Э. Образовательные технологии в языковом обучении технического образования.....	437