

**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.»**

# **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОДНОМ, КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Материалы международной  
научно-технической конференции*

17–18 октября 2024 года

**Минск  
БНТУ  
2024**

УДК 082 (06) + 001.895 (06)

ББК 72я431

И66

#### 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» авто-тракторного факультета БНТУ;  
*Хрусталева Б. М.* – академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор;  
*Ливанский Д. Г.* – декан факультета энергетического строительства БНТУ, канд. техн. наук;  
*Кусяк В. А.* – директор филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», канд. техн. наук, доцент;  
*Линкевич Н. Н.* – доцент кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;  
*Юркевич Н. П.* – доцент кафедры «Физика» БНТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;  
*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;  
*Есман А. К.* – профессор кафедры «Физика» БНТУ, д-р физ.-мат. наук;  
*Грузинова В. Л.* – заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;  
*Крюкова Л. А.* – старший преподаватель кафедры «Английский язык № 2» БНТУ;  
*Власов В. В.* – старший преподаватель кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ;  
*Савченко Ю. А.* – инженер-программист 1 категории кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ;

В сборнике представлены материалы международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте», 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, диск-овод CD-ROM. Программа работает в среде Windows.

**Открытие электронного издания** проводится посредством запуска файла *Innovative\_technologies\_2024.pdf*. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 18.11.2024. Объем издания: 11 Мб. Заказ 760.

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

ISBN 978-985-31-0118-8

© Белорусский национальный  
технический университет, 2024

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

**Анализ применения нетрадиционных энергетических ресурсов  
с использованием методов газификации**

Пехота А. Н.<sup>1</sup>, Хрусталева Б. М.<sup>1</sup>, Голубев В. П.<sup>2</sup>, Шавловский Д. В.<sup>3</sup>,  
Згурский Д. А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>РНПУП «Институт энергетики национальной академии наук Беларуси»,

<sup>3</sup>ГПО «Белтопгаз»,

Минск; Республика Беларусь,

<sup>4</sup>ГУЖКХ Гомельского облисполкома,

Гомель, Республика Беларусь

*Проанализирована возможность применения топливосжигающего оборудования с использованием методов газификации, для термической утилизации различных горючих отходов. Описаны закономерности использования брикетированного многокомпонентного твердого топлива на основе горючих отходов в условиях применения модульного сжигания с использованием методов газификации.*

В настоящее время проблема утилизации горючих отходов является одной из самых актуальных для Республики Беларусь, Российской Федерации, а также западного и азиатского сообщества. По оценке международных экспертов, в мире ежегодно образуется более 29 миллиардов тонн отходов, Большая их часть вывозится на свалки, где продолжает загрязнять окружающую среду вредными веществами из своего состава [1; 2]. Согласно данным в странах с передовой экономикой и высоким уровнем жизни населения уровень образования городских отходов на душу населения является самым высоким. Например, в таких странах европейского союза, как Швейцария он достигает почти 700 кг на душу населения, Дании 668 кг на душу населения, а в странах с невысоким уровнем жизни населения, таких как Румыния, Албания не превышает 280 кг [1]. Эти данные отражают различия в экономическом благосостоянии стран. При этом, большая часть горючих отходов, около 25–30 %, приходится на коммунальные органические отходы, нефтепродуктов и другие виды горючих отходов. Утилизация этих видов отходов является одним из наиболее важных. Применение безвредных для окружающей среды технологий и в тоже время экономически эффективных технологически процессов важное направление в инженерной и экологической деятельности любого развитого сообщества.



Ежегодный рост объёмов образования и накопления отходов опережает современные экономические и технологические возможности их применения, обезвреживания и утилизации. В сфере обращения с отходами в Беларуси и современном мире устойчиво доминируют принципы, базирующиеся на их извлечении с последующим складированием не доступных к переработке отходов на специальных полигонах. При этом складирование является существенной проблемой. Например, в Беларуси для этих нужд задействованы значительные площади, суммарно составляющие более 3,5 тыс. гектаров, при этом к настоящему эксплуатационные мощности более 40% полигонов уже полностью задействованы, что требует их дальнейшего расширения или строительство новых полигонов [1–5]. Основной целью деятельности в сфере обращения с отходами производства и потребления является снижение или стабилизация их отрицательного воздействия на состояние окружающей среды, а также предотвращение негативных последствий на здоровье людей, животного и растительного мира.

Международные тенденции в области обращения с отходами стремятся к иерархической последовательности методов обращения, обеспечивающих экологическую безопасность, по принципу от наиболее приоритетных методов утилизации к менее приоритетным: 1) предотвращение образования отходов; 2) уменьшение образования отходов или их минимизация; 3) повторное использование и переработка отходов; 4) использование отходов для получения энергии; 5) захоронение отходов.

Важным аспектом для организации обращения и переработки отходов производства и потребления, является определение объёмов образования с учетом их морфологического состава и применение доступных экологических технологий обезвреживания и утилизации.

В настоящее время основной технологией использования органических отходов для получения тепловой энергии является их сжигание. При этом для сжигания как твердых коммунальных отходов, так и горючих производственных отходов в основном используют 4 способа:

- пиролизное сжигание горючих отходов (предварительно подготовленных в виде брикетов или гранул, редко – пылевидное состояние);
- прямое сжигание без подготовки горючих отходов (неопасных при сжигании по выбросам вредных веществ или в котлах-утилизаторах);
- слоевое сжигание неподготовленных отходов (в специализированных мусоросжигательных установках или котлах-утилизаторах);
- слоевое и камерное сжигание в топках энергетических котлов или цементных печах (специально подготовленных отходов в виде брикетированного или гранулированного топлива, которое предварительно освобождено от балластных составляющих и имеющего постоянный фракционный состав).

Наибольшее распространение в настоящее время получают термические методы утилизации отходов, включающие в технологический процесс – пиролиз, сжигание и газификацию. Плюсы и минусы этих методов связаны с высокотемпературным сжиганием или инсинерацией. Инсинератор – это теплогенерирующее устройство, обеспечивающее высокотемпературную утилизацию отходов с обеспечением контролируемого обезвреживания образующихся дымовых газов. Главное отличие инсинераторов от других котлов, заключается в наличии специальной камеры дожига, которая обеспечивает полное обезвреживание помещенных в топку горючих отходов, посредством нагнетания температуры вплоть до 1300 °С и выше. Эта технология в основном используется в Европе для сжигания опасных отходов во вращающихся печах, однако этот процесс может быть применен и усовершенствован в условиях Республики Беларусь для других типов топливосжигающих устройств с созданием новых схем модульного сжигания горючих отходов различных производств, не нашедших технологического применения в других технологиях [6, с. 18; 7; 8].

Такая технология сжигания должна обеспечивать параметры экологичности выбросов. Для сжигания стандартизированных (традиционных) видов топлива технологические параметры сжигания в достаточной степени отработаны, однако в случае использования в качестве топлива многокомпонентные, например, торфосмеси с добавлением горючих отходов возникают, вопросы малоизученной тематики этих процессов. Эти риски связаны с непостоянным и часто неизвестным химическим составом отходов. Поэтому предпочтительнее разработать комплекс топливосжигающего оборудования и создать оптимальный многокомпонентный состав топливной смеси, который может экологически безопасно и экономически выгодно использовать максимально широкий спектр отходов в качестве топлива.

Применяемый в настоящее время для исследований модульный комплекс топливосжигающего оборудования позволяет использовать некоторые виды однокомпонентных отходов без подготовки и разработанные многокомпонентные составы твердого топлива с использованием широкого спектра горючих отходов различных производств (кожевенных, углеводородсодержащих и т. п.). Данное оборудование создано по модульному принципу. Каждый модуль выполняет свою функцию, обеспечивая контролируемую, согласованную и безопасную работу всего комплекса при сжигании и термической утилизации вредных выбросов в камере дожига. Модульный принцип позволяет легко адаптировать комплекс оборудования, как для горючих отходов, имеющих сложный многокомпонентный или даже не известный состав, так и для отходов хорошо известного и постоянного состава [8–11]. Провести адаптацию (настройку) одного модуля проще, быстрее и дешевле, чем приспособливать (переделывать) весь ком-

плекс оборудования по новый вид применяемого топлива или производственных горючих отходов.

Основные научные и технические решения, разработанного и применяемого для исследований комплекса оборудования, представлены на рисунке в виде структурно-технологической схемы модульного типа, позволяющей понять общие принципы процесса модульного сжигания многокомпонентных составов на основе отходов производственной и коммунальной жизнедеятельности.

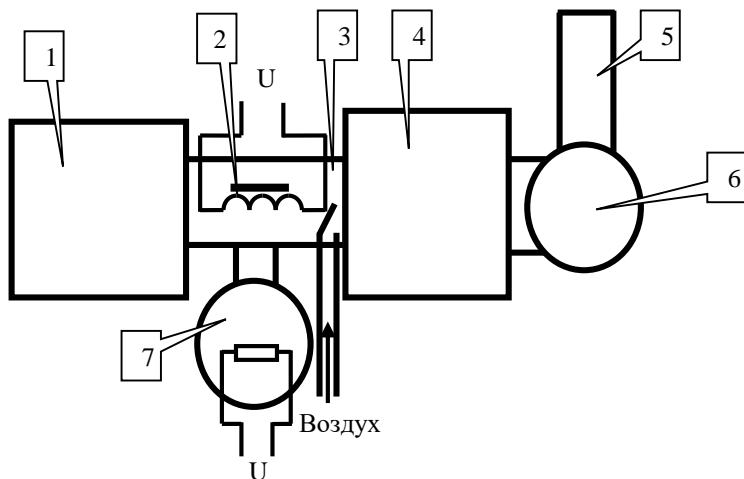


Рис. Структурная схема модульной установки сжигания альтернативных источников энергии на основе горючих отходов:

1 – энергетический модуль; 2 – магнетрон; 3 – камера дожига; 4 – теплообменник; 5 – дымовая труба; 6 – дымосос; 7 – модуль утилизации

В энергетическом модуле (1) при контролируемой подаче воздуха утилизируются энергоемкие органические отходы с образованием генераторного газа. В камеру дожига (3) поступает генераторный газ, который создает постоянный факел пламени. В модуле утилизации (поз. 7) идет процесс пиролиза органических отходов I–IV класса опасности в бескислородной среде. Пиролизный газ также поступает в камеру дожига, где происходит его смешивание с генераторным газом и их совместное сгорание в высокочастотном электромагнитном поле (2). При этом температура в камере дожига значительно превышает требуемые для обезвреживания особо опасных отходов и достигает 1200 °С и выше, что обеспечивает очистку отходящих с модулей дымовых газов даже от стойких органических загрязнителей (диоксины, фураны, пестициды).

Далее дымовые газы охлаждаются до требуемых температур, проходят через теплообменник (4), подогревая воду (воздух), используемую для отопления производственных помещений или горячего водоснабжения.

Температура сжигания в данных устройства, достигая 1200 °С и выше, имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными процессами, протекающими, например, в традиционных котлах и тому подобных энергетических устройствах при температуре 800–900 °С [8; 9, с. 144; 11].

Модульное сжигание может быть использовано как для применения многокомпонентных составов брикетированного топлива на основе горючих отходов, так и для одновременной утилизации двух разных видов отходов, имеющих известные химические составы, за счет использования двух модулей утилизации. Такой подход и принцип работы позволяет утилизировать (обезвреживать) в установке одновременно различные виды горючих отходов различного происхождения.

Дополнительно, следует отметить низкую себестоимость процесса термической утилизации отходов. Фактически в процессе обезвреживания отходов (модуль утилизации) происходит использование энергии, получаемой из других отходов (энергетический модуль), при этом тепловая энергия от модульного сжигания отходов дополнительно может использоваться на нужды, например, теплоснабжения, отопления и (или) горячего водоснабжения [8; 11].

### **Выводы**

Комплексный подход, к получению многокомпонентных составов брикетированного топлива на основе горючих отходов и модульному сжиганию с учетом проведенных научных исследований, позволяет с учетом определения оптимального соотношения различных горючих отходов в составе топлива, экологически безопасно утилизировать широкий спектр отходов.

### **Литература**

1. See, H. L. Gasification characteristics of combustibile wastes in a 5 ton / day fixed bed gasifier / H. L. See, B. C. Kyon // Korean J. Chem. Eng. – 2023. - Vol. 23, No. 4. – S. 576–580.
2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28.07.2017 г., № 567 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2017 – № 567.
3. Гаврилова, В. Как в Беларуси планируют решать проблему использования коммунальных отходов // В. Гаврилова. – БЕЛТА. – 2019.
4. Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчёт за 2022 год. – 2023.

5. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.08.2016 № 664. – 2023.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо / А. Н. Пехота; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.

7. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву и [др.]. // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.

8. Пехота, А. Н. Эффективные способ термической утилизации горючих отходов различных производств / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv, В. П. Голубев, А.А. Бойко // Энергоэффективность. – 2024. – № 6. – С. 20–26.

9. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

10. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

11. Карпович, В. А. Высокотемпературная резонансно-микроволновая установка для обезвреживания медицинских отходов / В. А. Карпович, В. П. Голубев, В. В. Сенчук, В. Н. Родионова [и др.] // Экологический вестник России. – 2014. – №. 9. – С. 39–41.

УДК 628.425; 662.8

### **Анализ проблем регенерации энергии с использованием твердых коммунальных отходов**

Згурский Д. А.<sup>1</sup>, Пехота А. Н.<sup>2</sup>, Хрусталеv Б. М.<sup>2</sup>, Голубев В. П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГУЖКХ Гомельского облисполкома,  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>3</sup>РНПУП «Институт энергетика национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Республика Беларусь

*Проанализирована возможность применения твердых коммунальных отходов в качестве энергетического ресурса, при этом осуществляется термическая утилизация с десятикратным уменьшением объемов образования отходов.*

Одной из основных целей в области энергосбережения является, получение максимально возможного количества энергии с помощью возобновляемых источников энергии, использования местных видов топлива и вторичных ресурсов. При этом целесообразностью вовлечения этих ресурсов является экономическая и экологическая составляющая [1; 2]. Государственная программа «Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года» безусловно дает положительные результаты в решении вопросов, связанных со сбором и переработкой отходов. Однако, для ряда отходов, как накопленных, так и образующихся, нет доступных технологий, позволяющих в полной мере превратить их в предмет «монетизации».

В настоящее время в мире остро стоит вопрос о накоплении и утилизации твёрдых бытовых отходов. Не менее остра и актуальна это проблема и для Республики Беларусь. Жизнедеятельность человека связана с появлением огромного количества разнообразных отходов. В отходах городов и посёлков содержится как ценные металлы чёрные и цветные, так и другие отходы потребления, такие как бумага и картон, стекло, разнообразные пластики и пластмассы, полиэтилен, кожа и резина, дерево, пищевые отходы.

Коммунальные отходы - отходы потребления, образующиеся в населённых пунктах и иных населённых местах, а также отходы производства образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности согласно перечню отходов, утверждаемому Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь [1–3].

Ежедневно жителей нашей страны выбрасывают тысячи тонн ненужных материалов. Растущее количество отходов и нехватка средств их переработки и утилизации характерны для многих городов в мире. Существенный рост образование отходов наметился после 1990 года. Если в 1972 году из населённых пунктов Республики вывозили 4,5 млн. м кубических твёрдых коммунальных отходов (ТКО), то в 2002 году уже 10,3 млн. метров кубических, а в 2018 году 22 млн. м кубических. В 2022 году в Республике Беларусь образовалась более 3,8 млн. тонн коммунальных отходов. Показатель удельного образования твёрдых коммунальных отходов увеличился с 0,485 кг/человека в день в 2012 году, до 1,3 кг/ человека в день, то есть почти три раза и приблизился к величине характерной для стран Евросоюза [4, с. 82–88; 5–6]. Кроме роста объём образования коммунальных отходов произошли существенные изменения и в их составе. возросло содержание компонентов устойчивых к разложению природной среде, а также материалов, которые сложно вернуть в цикл повторного использования. В свою очередь коммунальные отходы содержат ценные компоненты, которые могут применяться как материальные и энергетические вторичные ресурсы.

Среди таких отходов особое место занимают горючие преимущественно по составу органические отходы в виде: твердых коммунальных отходов, отходов от переработки макулатуры (ОПМ), осадка сточных вод очистных сооружений, образующегося в результате очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод (ОСВ), осадок очистных сооружений механической очистки сточных вод от производства бумаги и картона (скоп) и т.п. В свою очередь, как показали проведенные исследования, эти осадки являются энергетически насыщенными горючими отходам, состоящими из органических (от 70 до 98%) и минеральных (от 2 до 30%) веществ, выделяемых из воды в результате механической, биологической и физико-химической очистки. В настоящее время ОСВ, в основном, складывается на территории очистных сооружений, а ОПМ и скоп вывозятся на утилизацию на местные полигоны, что не создаёт благоприятной экологической ситуации в местах их захоронения требует дополнительных подходов в вопросах экологического мониторинга [5; 6; 8–9; 10, с. 148].

Каждый из данных видов обладает своими достоинствами и недостатками. Говоря об коммунальных отходах как наиболее сложных с точки зрения морфологического состава и содержания различных вторичных материальных ресурсов (ВМР). Поэтому, прежде чем приступить к переработке необходимо произвести сортировку ТКО с извлечением ВМР, которые могут быть переработаны. На сегодняшний день в Республике Беларусь сортировка осуществляется на 90 объектах досортировки и сортировки, в том числе на 9 мусороперерабатывающих заводах (города Брест, Барановичи, Витебск, Орша, Гомель, Гродно, Могилев, Минск). В настоящее время завершено проектирование региональных предприятий по переработке коммунальных отходов и начато их строительство в г. Бобруйске, Новополоцке, Могилеве, Гомеле. Также для изъятия ресурсно-ценных компонентов в Республике Беларусь планируется строительство мусороперерабатывающих заводов с суммарной мощностью более 600 тыс. тонн в год. Примерная схема устройств и использования основного технологического оборудования регионального мусоросортировочного завода г. Гомель, представлен на рис.

Важность сбора ВМР при сортировке отходов, например, для последующего сжигания обусловлена не только снижением зольности остатка после сжигания отходов, но и необходимостью сохранения ресурсов и их сбережения и многократного цикличного использования. Для этого сегодня внедрены и действуют следующие механизмы сбора ВМР. Заготовка через систему приемных пунктов, которых в стране около 1700. Раздельный сбор отходов от населения с помощью специально установленных контейнеров, которых в системе сбора ВМР по всей стране задействовано более 336 тысяч. Кстати, очень активно в последнее

время устанавливаются контейнеры в частной застройке, чтобы и у жителей сельских населенных пунктов также была возможность сортировать мусор.

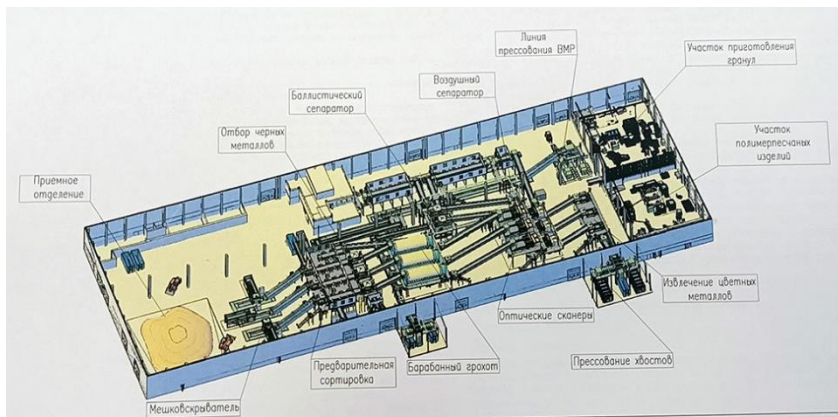


Рис. Схема устройства и использования основного технологического оборудования регионального мусоросортировочного завода г. Гомель

Последующая сортировка смешанных коммунальных отходов происходит на линиях сортировки и мусороперерабатывающих заводах, на которых задействовано около 84 сортировочных линий. В системе сбора вторичных материальных ресурсов сегодня работает 429 организаций жилищно-коммунального хозяйства, потребительской кооперации, организаций ОАО «Белресурсы», а также частных организаций и индивидуальных предпринимателей. В табл. представлены сведения о сборе основных видов ВМР по основным видам в областях Республики Беларусь и г. Минску за 2022 год.

После отделения ВМР основным этапом использования отходов является их утилизация. В настоящее время утилизации отходов методом современной термической утилизации, является сложным и высокотехнологичным вариантом, обеспечивающим десятикратное и более раз уменьшение объёмов отходов. При этом данный подход позволяет устранить некоторые неприятные свойства отходов: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать для получения электричества или тепла. Экологические негативные воздействия, например, мусоросжигательных заводов (МСЗ) в основном связаны с загрязнением воздуха, в первую очередь мелкодисперсной пылью, оксидами серы и азота, фуранами и диоксинами.



Таблица

Сбор ВМР по основным видам по областям и г. Минску за 2022 год

	Отходы бумаги и картона	Отходы стекла	Отходы пластмасс	Изношенные шины	Отработанные масла	Отходы ЭЭО
Брестская область	49,40	24,44	18,26	8,55	2,73	3,25
Витебская область	47,81	26,44	12,17	7,71	2,97	2,80
Гомельская область	46,17	32,58	15,01	7,91	3,11	4,13
Гродненская область	39,50	26,00	12,27	7,87	2,27	2,58
Минская область	47,38	22,64	18,12	9,51	3,26	3,11
Могилевская область	38,92	26,61	12,92	8,46	2,41	2,48
г. Минск	134,69	31,43	18,03	8,94	4,34	3,47
ИТОГО в Республике Беларусь	403,87	190,14	106,78	58,95	21,09	21,82

При этом этот метод не является изобретением современности, так как мусоросжигание как технология уничтожения отходов появилось во второй половине XIX века на родине «промышленной революции» – в Англии. В 1870 году в одном из районов Лондона – Паддингтоне – заработало первое профильное предприятие. В 1874 году еще один завод появился на севере страны в – Ноттингеме. В 1880 году первое предприятие заработало в США, с 90-х годов заводы стали появляться в Нидерландах, Франции, Швейцарии [7]. Однако активное применение ТБО как энергетического сырья началось с середины 70-х гг. в связи с углублением энергетического кризиса и значительным образованием различных видов отходов, утилизацию которых требовала экономика и имеющиеся научные достижения. Было подсчитано, что при сжигании 1 т ТБО можно получить 1300–1700 кВт/ч тепловой энергии или 300-550 кВт/ч электроэнергии. Так, например, в 1996 г. в мире уже действовало около 2400 мусоросжигающих заводов, на которых применялось сжигание ТБО с производством пара и выработкой электроэнергии.

Методы мусоросжигания постоянно совершенствуются. Наиболее распространённым методом утилизации ТКО является сжигание с последующим захоронением образующейся золы на специальном полигоне. Применение ТКО в качестве топлива становится все более актуальным на фоне экологической повестки и стремления мирового сообщества к ресурсосберегающей-зеленой экономике. Твердые бытовые отходы являются топливным ресурсом, постоянно возобновляющимся и постоянно образующимся на любой жилой территории, в любом поселке, районе, городе. В условиях постоянного удорожания энергетического топлива выгода от сжигания ТКО становится существенной. Кроме того, решается задача исключения складирования или захоронения отходов.

Существует довольно много технологий сжигания мусора – камерное, слоевое, в кипящем слое, при этом мусор может сжигаться в смеси с традиционным природным топливом.

### **Выводы**

Исходя из морфологического состава твёрдых коммунальных отходов в Республике Беларусь, можно сделать вывод, что отходы имеют перспективное значение для использования в качестве энергетического топлива.

Действующая система сбора и переработки отходов позволяет извлечь полезные ВМР, направив их на повторное использование и переработку.

Принятая концепция по обращению с ТКО и ВМР предусматривает использование неперерабатываемых отходов, образующихся после процесса сортировки коммунальных отходов в качестве топлива.

Сжигание неперерабатываемых отходов представляется наиболее перспективным направлением, по сравнению с их захоронением, при этом необходимо выработать подходы по сжиганию отходов наиболее экономичным и экологичным способами.

Сегодня хранение ТКО на полигонах считается устаревшим и особенно опасным для окружающей среды. К тому же, количество ТКО на полигонах со временем только увеличивается, что недопустимо. Поэтому сжигание ТКО является приоритетным направлением в области ликвидации отходов, в результате которого еще и вырабатывается полезная энергия, которая окупится в ближайшем будущем. Данный фактор на сегодняшний день можно считать определяющим.

### **Литература**

1. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года: постановление Совета Министров Респ.

Беларусь, 28.07.2017 г., № 567 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2017. – № 567.

2. ГО «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчёт за 2022 – Режим доступа: <https://vtoroperator.by/> – Дата доступа: 01.03.2024.

3. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.08.2016 № 664. – 2023 – Режим доступа: <https://government.by/upload/docs/file69078b9e10018d70.PDF>. – Дата доступа: 19.02.2024.

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

5. Труш, Я. В. Анализ данных изучение морфологического состава коммунальных отходов в Республике Беларусь / Я. В. Труш, Е. А. Ботян // РНИУП «БелНИЦ Экология», Экологическая безопасность 1991–2021 – С. 152–156.

6. Пехота, А.Н. Многокомпонентное твердое топливо / А.Н. Пехота // М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.

7. Никуличев, Ю. В. Управление отходами. Опыт Европейского союза: аналит. обзор / Ю. В. Никуличев // РАН, ИНИОН, Центр науч.-информ. исслед. глоб. и регион. проблем, отд. проблем европ. безопасности. – М., 2017.

8. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоносителей / А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву [и др.] // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.

9. Пехота, А. Н. Эффективные способ термической утилизации горючих отходов различных производств / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева, В. П. Голубев, А.А. Бойко // Энергоэффективность. – 2024. – № 6. – С. 20–26.

10. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

**Analysis of organic solvents released during  
painting and drying of automobiles**

Boboev S. M., Xolboev U., Ismoilov A. I.

Samarkand State University of Architecture and Construction  
named after Mirzo Ulugbek (г. Самарканд, Республика Узбекистан)

*The article presents the results of a study of the drying process of paints and varnishes based on organic solvents. and environmental problems. An analysis of the current scale of their use is carried out and an assessment is made of environmental problems associated with their evaporation, taking into account their use in specially equipped rooms, are considered.*

*В статье представлены результаты исследования процесса сушки лакокрасочных материалов на основе органических растворителей. и экологические проблем. Проведен анализ современных масштабов их использования и дана оценка экологическим проблемам связанным с их испарением, с учетом их применения в специально оборудованных помещениях.*

**Keywords:** *toluene, xylene, solvent, alcohols, 646, 647, pentaphthalic, nitro-varnishes, nitro-enamels.*

Places where attention should be paid to the observance of precautionary measures in enterprises are warehouses where stocks of dyes and other chemical reagents are stored, stations for the preparation of feed and working solutions of dyes and various auxiliary substances. Organic dyes are flammable. Dust and dust-air mixtures of most of them are flammable and explosive. Paints related to nitro compounds are explosive. Diazo compounds, including diazoles, are highly explosive, especially at high temperatures. Therefore, these products should be stored and handled in conditions that exclude their overheating. The inclusion of inert additives in the final forms of paints reduces the risk of explosion and fire of settled dust and dust-air mixtures. Significant improvement of sanitary working conditions, reduction of dust emission is supported by the use of paints in special final forms - dust-free powders, granules, liquid form. Work rooms where paints are stored and work with them, related to the formation of dust, must have a strong supply and exhaust ventilation. It is necessary to constantly monitor the level of dust in these buildings. Electrical equipment must be assembled in an explosion-proof design. The preparation of concentrated and working solutions of paints should be carried out in closed equipment, if necessary, it should be equipped with local exhaust ventilation. Remember that many

paints are toxic. Most of them irritate the skin and mucous membranes [1]. The preparation of dyeing and development solutions involves the use of various chemicals - acids, alkalis, oxidizing agents, reducing agents, organic solvents, etc., which themselves can have a harmful effect on the human body. Thus, concentrated acids (sulfur, vinegar), alkalis irritate the mucous membranes, causing severe burns if they come into contact with the skin. Acetic acid is a flammable liquid. Hydrogen peroxide solutions should be stored in glass, aluminum or polyethylene containers at a temperature not higher than 30 °C. The possibility of contact of H<sub>2</sub>O solutions with flammable substances, with organic solvents that can form explosive mixtures with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> should be excluded. Hydrogen peroxide solutions cause burns if they come into contact with the skin. Sodium dithionite can cause irritation of mucous membranes; sodium sulfide - toxic, skin irritant, flammable, its dust is explosive. Sodium nitrite is very toxic, and when working with it, it is necessary to completely exclude the possibility of its getting into the digestive system. Solutions of dyes and auxiliary substances used directly in technological processes in the main shops (dyeing, printing), as a rule, do not pose a threat to the health of workers due to the relatively low concentration of dyes and other chemical reagents in them. However, in some cases, dyeing processes can produce substances harmful to the human body. Thus, with the nitrite method of cupping, it is possible to release nitrogen oxides that affect the respiratory tract and have a harmful effect on the central nervous system. Special precautions should be taken when working with organic solvents. They can have a general toxic effect on the human body, cause acute and chronic poisoning, skin and mucous membrane irritation. Some organic solvents are flammable [2].

By the development of modern technologies, we certainly understand things like the mechanization of the application of paint and varnish material. At the same time, compared to brushing, labor productivity and material consumption are significantly increased, and as a result, volatile components are released into the air. Contains less or no solvents, which leads to the development of new methods for applying more viscous paints that lead to improved working conditions. Pneumatic painting is currently one of the most widely used processes in mechanical engineering. The method consists in crushing the paint material with compressed air and applying it to surfaces for painting in the form of a fine dispersed mass. In this case, paints form a fog cloud, which pollutes the air of the workplace.

In airless spraying devices, paint materials are fed to the nozzle under a pressure of 40-60 atm; in a number of devices, in addition, the material is heated to 50-80 ° C. This allows for the use of more adhesive materials compared to pneumatic spraying and, as a result, contains less solvent. An important component of many coatings are organic solvents. As a rule, inorganic compounds are used as pigments: oxides, salts of heavy metals. Application of coatings in spray booths produces solid, pasty and liquid waste, solvent vapors and water saturat-

ed with solvents and colored aerosols. The greatest danger to the human body is volatile organic compounds (solvents) released into the atmosphere during the application and drying of paints; heavy metals in the aerosol formed during the application of paint materials; isocyanates, phthalic and maleic anhydrides, formaldehyde, fatty acids and other compounds released during drying of paint materials (especially at high temperatures) [2]. At the same time, it should be noted that solvents are designed to provide technological parameters for obtaining paint and varnish coating and are completely absent in the resulting coating. Taking into account the global consumption of coatings, the total emission of organic solvents into the atmosphere reaches 12–18 million tons per year. Volatile organic compounds (ketones, alcohols, ethers) cause various allergic reactions and poisoning, while styrene, chlorobenzene and ethylbenzene are carcinogenic. Various methods are used to clean gaseous waste: oxidation with oxygen in catalysts, direct burning of harmful compounds, capture using hydro-filters, as well as sorption methods that allow separating substances for reuse in production. Reducing the emission of harmful substances into the atmosphere can be achieved using engineering solutions:

- optimization of painting process;
- automation of equipment;
- modernization of circulation systems;
- waste processing;
- introduction of coatings with high dry residue, water-resistant, dust- and radiation-strengthened;
- use of coatings with a content of non-volatile substances from 65 % to 75 %, reducing the consumption of organic solvents by 30%; allows to reduce the consumption of coatings and increase the service life of coatings by 1.5–2 times.

When working with a torch device, 8–18 % volatile substances and 1–7 % aerosol can be released into the room air [1].

High voltage electrostatic field painting is based on the creation of a field by applying a negative charge to the sprayed paint and varnish material and a positive charge to the product to be painted. When applying paint material, its loss does not exceed 5-10%. For the application of primers and single-layer coatings on small and medium-sized products of simple and medium complexity, the painting method is used by dipping and spraying, followed by exposure to solvent vapors. The disadvantages of these methods are large losses of the solvent, which lead to significant air pollution.

Application of powder polymers, followed by heat treatment of products allows to obtain coatings of any thickness and quality. This method also improves working conditions, since the material does not contain toxic and flammable

solvents. Currently, these methods of applying films are rarely used in engineering, but they will be widely used in the future.

Paints and varnishes contain film-forming bases and solvents. They can be natural and condensed resins: rosin, bitumen, glyptal, polyester, bakelite, pentaphthalic, epoxy, etc. In addition, film-forming agents include pigments, mainly metal oxides - zinc, lead, iron, titanium, aluminum, as well as clay, soot and various organic substances. For painting work, aromatic hydrocarbons are often used as solvents in engineering: toluene, xylene, solvent, alcohols (butyl and ethyl), ethers (butyl and ethyl acetates), hydrocarbons (gasoline and white alcohol). For these substances, the sanitary norms of the design of industrial enterprises determine the maximum permissible concentrations in the air of the working area and in the atmospheric air of settlements and industrial facilities.

In recent years, there has been a downward trend in the permissible concentration value. Thus, for butyl and propyl alcohols, this value decreased by 20 times (from 200 to 10 mg/m<sup>3</sup>), methyl alcohol and styrene decreased by 10 times, and toluene and xylene by 2 times. In this regard, the air exchange required to dissolve harmful substances to an acceptable concentration when working with VL-02 soil increased from 2,300 to 25,000 m<sup>3</sup> per 1 kg of paint. A similar feature occurs for paints and varnishes, including 646, 647, 648, 650, RDV, R-4, etc. Vapors of these solvents with air form an explosive mixture.

In recent years, water-based paints and varnishes have been developed and a method of applying them by electrodeposition has been proposed. At the same time, working conditions will improve significantly. However, this method has not yet found a proper distribution in mechanical engineering.

Multicomponent solvents contain both latent components and diluents, as well as the main active component, the content of the former, in some cases, can reach 50%. The use of latent solvents (for example, alcohols), as well as diluents, reduces the total cost of the solvent and allows the use of 2–3 types of polymers of various nature as a film-forming mixture [3].

It is the presence of several components of solvents 646 and 647 that contributed to obtaining such high technical characteristics. These types of solvents are considered the most popular, and their scope is growing every year.

*Solvent 646 technical characteristics, composition, application.* Solvent 646 according to GOST is a colorless or yellowish liquid that has a specific odor. It is used both in everyday life and in industry for degreasing and diluting paints. With the help of solvent 646, it is possible to bring paintwork materials to the required viscosity. They are also good at cleaning stains of organic origin and washing various painting tools.

Thinner 646 is very versatile and effective due to its chemical composition. This is a multicomponent solvent, therefore, it contains several simpler solvents:

15 % ethanol, 10 % butanol, 50 % toluene, 7 % acetone, 10 % butyl acetate and 8 % ethyl cellosolve.

When working with Thinner 646, be sure to use a respirator and wear rubber gloves. Good ventilation is also very important. Special goggles will not be superfluous, since the evaporation of the solvent affects not only the respiratory system, but also the eyes.

*General information about solvent 647.* Solvent 647, as well as 646, is considered one of the most popular. It is produced by many chemical enterprises and is well known to consumers. Consumer properties of a high level determined the popularity and breadth of use of this solvent.

Solvent 647 contains a mixture of organic volatile substances: ketones, aromatic hydrocarbons, ethers and alcohols. As for the chemical composition, and the percentage of various substances, the 647 solvent is very similar to 646. It contains 41,3 % toluene, 29,8 % butyl acetate, 21,2 % ethyl acetate, 7,7 % butanol. It also contains such components as ethyl cellosolve and acetone, and is considered a more aggressive substance than solvent 646. Therefore, the use of solvent 646 is advisable where careful attitude to the treated surface is very important.

This type of solvent is used to remove paint and varnish coatings and varnishes, as well as to dissolve nitrocellulose-based film formers. It is very often used as a bodywork thinner, as it is suitable for effectively diluting nitro-varnishes and nitro-enamels used during [4].

### References

1. Giritlin, M. I. Ventilyatsiya i otopenie sexax mashinostroenie zavodov / M. I. Giritlin, O. N. Timofeva, V. M. Elterman, L. S. Elyanov // M.: Mashonostroenie, 1978. – P.196–198.
2. Yanin, E. P. Ekologicheskie aspekti ispolzavaniya organicheskix rastvoritel I lakokrasichniy materialov v elektrotexnicheskoy promishlennosti / E. P. Yanin // Resursosberegayushiy texnologii. – 2010. – № 12. – P. 3–13.
3. Fialkovskaya, T. A. Ventilyatsiya pri okraske izdeliy / T. A. Fialkovskaya. – M.: Mashonostroenie, 1977. – P. 7–12.
4. Solvents 646 and 647 - technical characteristics. – Mode of access: <https://www.dcpt.ru/blog/rastvoriteli-646-647-tekhnicheskie-kharakteristiki>. – Access date: 20.03.2024.



**Влияние решений узлов сопряжений наружных стен с оконными блоками на их уровень теплозащиты**

Крутилин А. Б.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены результаты исследований влияния узлов сопряжений наружных стен с оконными блоками на уровень теплозащиты стен. Показаны наиболее энергозатратное решение и рекомендуемое решение.*

В СН 2.04.02-2020 [1] и СП 2.04.01-2020 [2] установлены нормативные требования к теплозащите наружных стен, а также правила расчета их приведенного сопротивления теплопередаче. Определение приведенного сопротивления теплопередаче расчетного участка ограждающей конструкции со сложными теплопроводными включениями возможно по результатам расчетов температурных полей отдельных выделенных фрагментов рассматриваемой конструкции.

Участки сопряжений наружных стен с оконными блоками значительно влияют на температурное поле стен, в сравнении с их температурным полем вдали от проемов. В общем случае всегда имеются дополнительные теплотери через откосы проемов, которые зависят от конструктивного решения узла сопряжения наружной стены с оконным блоком.

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен с учетом влияния их сопряжений с оконными блоками рассчитывали в соответствии с требованиями СП 2.04.01-2020 [2] детальным методом по результатам определения удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности по следующей формуле:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + \sum l_j \cdot \Psi_j}.$$

Удельные потери теплоты через линейные теплотехнические неоднородности ( $\Psi_j$ , Вт/(м·°C)) определяли на основании расчетов двумерных температурных полей фрагментов сопряжений конструкций. Удельная протяженность теплопроводных включений принята равной  $l_j = 0,5$  м/м<sup>2</sup>.

В качестве базового варианта наружной стены принята стена кладкой из ячеистобетонных блоков толщиной  $\delta = 250$  мм ( $\rho = 600$  кг/м<sup>3</sup>) с дополнительной теплоизоляцией легкой штукатурной системой утепления. В

качестве утеплителя используются плиты минераловатные на основе базальтового волокна толщиной  $\delta = 150$  мм (плотность  $\rho = 135$  кг/м<sup>3</sup>) по которым выполняется снаружи штукатурка цементным раствором.

Сопряжения наружных стен с оконными блоками принимаем в четырех вариантах:

1) с подставочным профилем и установкой оконного блока в уровень с наружной поверхностью стены (утеплитель заходит за проем на расстояние 150 мм) — вариант «А»;

2) с подставочным профилем и установкой оконного блока на расстояние 50 мм от наружной поверхности ближе к внутренней поверхности стены (утеплитель заходит за проем на расстояние 150 мм) — вариант «Б»;

3) без подставочного профиля и установкой оконного блока в уровень с наружной поверхностью стены (утеплитель заходит за проем на расстояние 50 мм) — вариант «В»;

4) без подставочного профиля и установкой оконного блока на расстояние 50 мм от наружной поверхности ближе к внутренней поверхности стены (утеплитель заходит за проем на расстояние 50 мм) — вариант «Г».

Спротивление теплопередаче наружной стены без влияния теплопроводных включений равно  $R_0 = 5,063$  (м<sup>2</sup> °С)/Вт.

По результатам расчетов определены минимальные температуры на внутренней поверхности стен, удельные потери теплоты через линейные теплотехнические неоднородности и приведенное сопротивление наружных стен. Результаты расчетов приведены в таблице.

Вариант сопряжения наружной стены с оконным блоком	Минимальная температура на внутренней поверхности стены, °С	Удельные потери теплоты через фрагмент наружной стены $\Psi$ , Вт/(°С·м)	Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены $R_{пр}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
А	15,2	0,0494	4,501
Б	15,4	0,0524	4,470
В	14,4	0,0874	4,146
Г	14,5	0,1059	3,993

Наибольшее приведенное сопротивление теплопередаче получено у наружной стены с установкой оконного блока в уровень с наружной поверхностью стены, используя подставочный профиль. При этом утеплитель заходит за проем на расстояние 150 мм, которое равно толщине слоя теплоизоляции. И даже в этом случае величина приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены получена ниже величины сопротивления теплопередаче без влияния теплопроводных включений на 11 %.

Сдвиг оконного блока к внутренней поверхности наружной стены, несмотря на более высокую минимальную температуру на внутренней поверхности, представляется более энергозатратным решением в сравнении с установкой блока в уровень с наружной поверхностью стены.

Наиболее энергозатратными решениями являются решения с установкой блоков в непосредственной близости от граней проемов. Несмотря на то, что такие решения получили широкое распространение. Как правило, зазор между блоками и стенами составляет 30...40 мм, а утеплитель заходит за проем на расстояние до 60 мм. Величина приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены для таких решений получена ниже величины сопротивления теплопередаче без влияния теплопроводных включений на 21 %.

### **Литература**

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность. СН 2.04.02-2020. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 24 с.

2. Строительная теплотехника. СП 2.04.01-2020 – Минск, 2020 г. – 72 с.

УДК 620.97

### **Переход к углеродной нейтральности: оценка развития возобновляемых источников энергии**

Станецкая Ю. А., Туровец А. И.

Белорусский национальный технический университет

*В данной статье рассмотрены современные тенденции и перспективы развития возобновляемых источников энергии.*

Последствия, вызванные глобальным потеплением, потенциально могут нанести необратимый экологический ущерб и, таким образом, поставить под угрозу экономическую устойчивость, оказывая негативное воздействие на производительность труда, предложение рабочей силы, промышленное производство и доход на душу населения. Изменения климата идет угрожающими темпами, и еще в 2015 году 197 стран мира подписали Парижское климатическое соглашения, согласно которому необходимо принять все возможные меры, чтобы к 2100 году средняя температура не превысила доиндустриальные значения на 1,5–2,0 °С.

Пандемия COVID-19 оказала существенное влияние на мировую экономику, приведя к сокращению спроса на первичную энергию во всем мире, что привело к падению выбросов в мировом энергетическом секторе на

5,8 %. В новом докладе «Глобальный углеродный бюджет», над которым работали более 100 ученых со всего мира говорится о том, что глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от нефти, газа и угля в 2023 году снова выросли – на 1,1 % по сравнению с уровнем 2022 года и достигли примерно 36,8 миллиарда тонн. Если загрязнение окружающей среды будет идти такими же темпами, оценивают ученые из группы Global Carbon Project, через семь лет глобальное потепление с 50-процентной вероятностью превысит отметку в 1,5 °C. Предупреждением о том, что ждет человечество по мере приближения к порогу в 1,5 °C, стали выбросы CO<sub>2</sub> в результате пожаров в 2023 году в Канаде, которые превысили средние показатели глобальных выбросов. Еще более выраженным парниковым эффектом и являющимся результатом человеческой деятельности обладает CH<sub>4</sub> (метан), выделяемый в основном на предприятиях сельского хозяйства и при захоронении органических отходов. На изменение климата также влияет изменение вулканической и солнечной активности, а также ряд других причин. 2023 год официально признан самым жарким за всю историю наблюдений согласно отчету климатической службы Copernicus (официально измерения начали проводить в 1880 году). 2024 год по прогнозу ученых побьет и этот рекорд.

Примечательно, что Китай, как крупнейший в мире источник выбросов углекислого газа, произвел 10 523 млн тонн выбросов CO<sub>2</sub> в 2021 году, что составляет 31,1 % от общемирового объема. Признавая его значительное влияние, правительство Китая взяло на себя твердое обязательство достичь максимального уровня выбросов углекислого газа к 2030 году и достичь углеродной нейтральности к 2060 году. Россия также планирует энергетический переход, но только к 2060 году, а Индия к 2070 году. Европа и США ставят цели достичь нулевого уровня к 2050 году.

Одним из путей решения проблемы является налогообложение на выбросы углерода, заключающееся в том, что любая экономическая деятельность, приводящая к чистым выбросам углерода, будет облагаться налогом.

Также, по мнению ученых, необходимо полностью отказаться от использования ископаемого топлива, заменив его возобновляемыми источниками энергии не позднее 2050 года. Концепция углеродно-нейтральных сообществ включает в себя использование низкоуглеродных технологий, экологически чистых строительных материалов и различных мер по минимизации выбросов углерода. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнечную энергию, энергию приливов и отливов, геотермальную энергию, а также биомассы, сточных вод и промышленных бытовых отходов [1, с. 59–60].

В большинстве стран производство электроэнергии базируется на ископаемых источниках топлива. В то же время объем электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников, быстро растет.

Альтернативные источники энергии должны быть интегрированы в действующую традиционную энергетическую систему. Осуществить этот переход, несомненно, сложно, поскольку предстоит преодолеть серьезные технологические проблемы, но наблюдается тенденция роста ВИЭ.

На рисунке ниже представлены данные об использовании ВИЭ, тенденции использования различных типов источников энергии для производства электроэнергии и доли источников электроэнергии по видам топлива.

В сфере ветроэнергетики Европа была первой, кто стал использовать энергию ветра для получения электричества. Но за последние два года инициативу перехватил Китай. По состоянию на 2020 год Китай установил 281 ГВт ветровой энергии. ЕС имеет высокий уровень зависимости от Китая, вынужденный закупать, например, редкоземельные элементы, которые используются в постоянных магнитах, а также в качестве материала для стекловолокна, из которого состоят лопасти ветряных турбин. Растущие затраты, задержки в цепочках поставок и низкие цены на электроэнергию на аукционах препятствуют развитию и приводят к отмене морских и континентальных ветроэнергетических проектов.

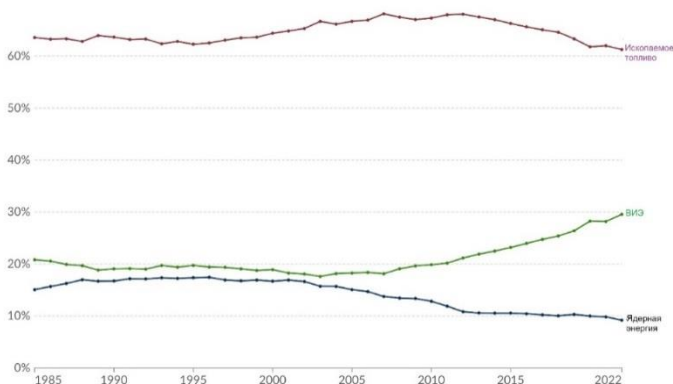


Рис. 1. Доля производства электроэнергии из ископаемого топлива, ВИЭ и ядерной энергии, согласно данным [2]

Уже сейчас ветровая энергетика в европейских странах отстает от достижения целевых показателей мощности на 2030 год, ведь в соответствии с планом развития ветроэнергетики, к 2030 году доля возобновляемых источников должна составить не менее 42,5 %, а желательно 45 %.

США также серьезно отстает в производстве компонентов для ветроэнергетики, а из-за конкуренции с Китаем запрещает импорт комплектующих из этой страны, хотя на рынке почти нет альтернатив. Китай же, напротив являясь обладателем технологий и огромных мощностей по производству, наводнил внутренний рынок, но продать крупнейшим потребителям не может, так что испытывает перепроизводство без реализации.

В сфере солнечной энергетики похожая ситуация. По состоянию на 2020 год Китай установил 253 ГВт солнечной энергии. Китай контролирует более 80% всей цепочки поставок, производя почти все солнечные панели и их компоненты. До 2010-х годов европейские производители были в числе лидеров по производству солнечных панелей и оборудования с ними связанного. Но когда Китай стал активно развивать эту отрасль, пользуясь дешевыми кредитами и налоговыми льготами, цены на солнечные панели упали, экспорт в Европу резко вырос, и многие европейские производители не выдержали конкуренции. В 2013 году Европейская комиссия ввела временные антидемпинговые пошлины на продукцию из Китая. На это китайское правительство пригрозило ввести ответные меры в виде пошлин на автомобильную и другую продукцию из ЕС. В результате, опасаясь торговых войн, правительство Германии оказало давление на Европейскую комиссию, вынудив снизить пошлины. В 2018 было принято решение вообще отказаться от пошлин, что вызвало почти полное замещение на рынке европейской продукции китайской. ЕС пытается уйти от такой зависимости от Китая, делая ставку на собственные проекты, такие как масштабный завод по производству панелей в Сицилии, принадлежащий энергетической компании Enel SpA. Но при этом и Enel и другие европейские производители по-прежнему будут зависеть от компонентов китайского происхождения, без которых сборка панелей невозможна.

Основной характеристикой энергосистем является баланс в реальном времени между предложением и спросом на энергию. При развитии и использовании энергии ветра, солнечной энергии и других ВИЭ, которые имеют сильную прерывистость, энергосистема должна достичь баланса между прерывистой выработкой электроэнергии (поставка) и случайно изменяющейся нагрузкой (спрос). При наличии дисбаланса между предложением и спросом на электроэнергию диспетчеризация должна принять меры по снижению нагрузки (когда предложение меньше спроса) или снять ограничения на выработку электроэнергии (когда предложение превышает спрос) для поддержания безопасной и стабильной работы в энергосистеме. Таким образом, фундаментальной причиной простоя ветровых и солнечных мощностей является неспособность обеспечить в реальном времени баланс между предложением и спросом на энергию в энергосистеме.

Ещё одна острая проблема – утилизация солнечных панелей. По прогнозам, к концу 2050 года совокупные глобальные потоки фотоэлектрических отходов достигнут 60–78 млн тонн. В тройку стран с наибольшим объемом прогнозируемых фотоэлектрических отходов войдут Китай, Германия и Япония. Солнечные панели изготавливаются из различных компонентов, включая кремниевые солнечные элементы, металлический каркас, листы стекла, провода, оргстекло. Такие материалы, как металл, стекло и проводка, можно использовать повторно и перерабатывать. Хотя кремниевые пластины не подлежат вторичной переработке, в отличие от стекла и пластика, некоторые специализированные компании по переработке отходов могут повторно использовать кремниевые элементы, расплавляя их и восстанавливая кремний и различные металлы.

Большая часть фотоэлектрических отходов в настоящее время выбрасывается на свалку. По существующей технологии «FRELPA» при переработке 1000 кг отходов кремниевых фотоэлектрических панелей, не перерабатываемыми получают следующие отходы:

1. Загрязненное стекло: 14 кг.
2. Летучая зола (опасные отходы): 2 кг.
3. Жидкие отходы: 306,13 кг.
4. Шлам (опасные отходы): 50,25 кг.

Правильная переработка многих соединений еще не обнаружена, поэтому они выбрасываются на свалки без какой-либо очистки, что наносит вред окружающей среде [2].

Гидроэнергетика уже давно играет важную роль в Европе, и в настоящее время производит около 650 ТВт\*ч электроэнергии в год. Хотя это значительный объем, это все еще лишь часть полного потенциала гидроэнергетики.

Одним из основных препятствий для продвижения гидроэнергетики является ее воздействие на окружающую среду, которое включает в себя затопление территорий и дефрагментацию рек, препятствующую свободному течению организмов, а также изменению речного стока и температурного режима. К 2040 году двадцать пять из 120 крупнейших речных систем мира могут пострадать от строительства плотин, причем большинство из них будет расположено в Южной Америке. Это приведет к тому, что глобальное количество свободно текущих речных систем сократится на 21 %.

Учитывая реалии изменения климата, человеческая цивилизация должна следовать в сторону отказа от источников энергии, основанных на сжигании и переходить к низкоуглеродным источникам энергии. А значит, помимо ВИЭ, мы должны рассматривать и ядерную энергетику. Этот вид энергии часто считается противоречивым и сталкивается с серьезным противодействием во многих странах, однако он должен сыграть ключевую роль в смягчении последствий глобального потепления. Мощности атомной

энергетики постоянно растут, на сегодняшний день эксплуатируется порядка 440 ядерных энергетических реакторов общей мощностью около 390 ГВт, которые вырабатывают 2653 ТВтч, что составляет около 10% мировой электроэнергии. Строится около 60 реакторов, преимущественно в Китае, России, Индии. Лидером в этой сфере энергетики выступает Китай, который в настоящий момент разрабатывает или строит 24 новых ядерных реактора. Конечно, общественное мнение не следует сбрасывать со счетов, а ядерные отходы, ядерные аварии и распространение ядерного оружия являются серьезными проблемами, требующими внимания и надлежащего контроля.

В Беларуси большая часть электроэнергии вырабатывается тепловыми электростанциями, использующими импортное топливо. До середины 1990-х годов нефть составляла значительную долю топлива, используемого для производства электроэнергии: в 1990 году ее доля составляла 47,8 %, природный газ – 52,1 %, а доля ВИЭ, в основном гидроэнергетики, составляла 0,05 %. Однако к 2000-м годам пропорция радикально сместилась в сторону природного газа, который в настоящее время составляет около 97 %. Тогда же страна начала использовать уголь и ВИЭ (в основном гидро- и биотопливо), но их совокупная доля в общем производстве электроэнергии никогда не превышала 3 %.

В 2010 году был принят закон «О возобновляемых источниках энергии». Закон гарантирует подключение установок ВИЭ к национальной электросети, принадлежащей Белэнерго. Закон также стимулирует развитие источников возобновляемой энергии посредством ценовой политики, налогов и льгот по таможенным пошлинам. В частности, используется схема «зеленых» тарифов. Тарифы устанавливаются как коэффициент к промышленной розничной цене электроэнергии в зависимости от типа ВИЭ, установленной мощности, даты производства и периода работы установки. Первоначально коэффициент для солнечной установки был установлен на уровне 3,0, а для других источников ВИЭ – на уровне 1,3.

Биотопливо и отходы, и, в частности, дрова, традиционно использовались для производства энергии в Беларуси, в основном для целей отопления, однако с очень низким уровнем энергоэффективности. С 2000 года биотопливо и отходы начали играть основную роль в производстве тепловой энергии – на их долю в 2016 году пришлось 863 ТДж.

По состоянию на 2023 год общая установленная электрическая мощность установок ВИЭ составила 632 МВт [3].

Согласно Государственному кадастру возобновляемых источников энергии в Беларуси насчитывается 382 установка ВИЭ [4]. По словам заместителя директора Департамента по энергоэффективности Леонида Полещука [4] на сегодняшний день в Республике Беларусь действуют: 84 фотоэлектрические станции мощностью 272,7 МВт, (крупнейшие – Чериков-



ская ФЭС ООО «Солар Лэнд» (109 МВт), Речицкая ФЭС ПО «Белоруснефть» (56 МВт); 55 гидроэлектростанции мощностью 96,5 МВт, (крупнейшие – Полоцкая (21,6 МВт) и Витебская (40 МВт) ГЭС); 108 ветроэнергетические установки мощностью 122 МВт, (крупнейшие ветропарки – РУП «Гродноэнерго» (9 МВт), ООО «Газосиликат-люкс» (9 МВт); 31 биогазовый комплекс мощностью 40,2 МВт, (крупнейший в СПК «Рассвет им. Орловского» (4,8 МВт); 11 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью порядка 100,5 МВт.

Поэтапное внедрение атомной энергетики в 2020 году негативно повлияло на развитие ВИЭ. Ожидаемый избыток электроэнергии заставил правительство рассматривать ВИЭ как ненужные и дорогие инструменты. В результате было принято решение о снижении «зеленых» тарифов и введения квот. Из-за этих ограничений существенного роста ВИЭ в Беларуси в ближайшем будущем не ожидается.

Заместитель Министра энергетики Ольга Прудникова отметила, что наиболее весомый вклад в чистую энергетику Беларуси внесла БелАЭС. После ввода второго энергоблока потребности страны в электрической энергии будут покрываться на 40 процентов. Два блока выработали уже около 24 миллиардов кВт\*ч. При этом выбросы парниковых газов сократились на 12 миллионов тонн эквивалента CO<sub>2</sub> [3].

Сейчас в нашей стране с использованием энергии солнца работает 43 % установок, ветра – 19 %, воды – 15 %, биомассы – 16 %, биогаза – 6 %. В результате объем генерации энергии из ВИЭ к валовому потреблению топливно-энергетических ресурсов достиг 8,3 %. В энергетическом балансе электрической энергии доля ВИЭ, однако, пренебрежимо мала: 1,5 %.

По оценкам Госстандарта, наша страна может позволить себе долю ВИЭ в энергобалансе только на уровне 8–9 %. В ведомстве пришли к выводу, что для нашей страны актуально строить лишь возобновляемые энергоисточники для собственного потребления. Основной упор будет сделан на расширение использования древесного топлива. Это связано с наименьшими объемами капиталовложений и небольшими сроками окупаемости в сравнении с другими видами ВИЭ.

В данной статье рассматривается текущая ситуация развития ВИЭ и их ограничения. Считается, что большинство ограничений каждого возобновляемого источника энергии можно преодолеть в ближайшем будущем. Помимо технологического прогресса, чтобы воспользоваться преимуществами возобновляемой энергии, необходимы финансирование, а также общественная осведомленность. Отказаться безболезненно и быстро от использования ископаемого топлива не получится в виду разнообразия экономического состояния разных стран мира. Даже в интегрированной европейской энергосистеме, такая система потребует значительных гибких

гарантированных мощностей для балансировки переменной ветровой и солнечной генерации. Эта мощность может быть обеспечена за счет гидроэнергетики, геотермальной энергии, биомассы и накопителей энергии. Текущее состояние в области ВИЭ не может этого обеспечить, поэтому, управляя переходом к новой энергетической системе, мы должны совмещать развитие ВИЭ с развитием использования вторичных энергетических ресурсов, ядерной энергетики.

### Литература

1. Кундас, С. П. Основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» и 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / С. П. Кундас; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция». – Минск: БНТУ, 2020. – 391 с.
2. Ember - Yearly Electricity Data (2023); Ember - European Electricity Review (2022); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) – with major processing by Our World in Data.
3. Divya, A. Review on recycling of solar modules/panels» / A. Divya, T. Adish, P. Kaustubh, P.S. Zade // Solar Energy Materials and Solar Cells, 2023. – Vol.253. – P. 112151.
4. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: – [https://energoeffect.gov.by/news/news-2024/20240129\\_news3](https://energoeffect.gov.by/news/news-2024/20240129_news3). – Дата доступа: 10.04.2024.

УДК 696.48: 697.34

### **К вопросу регулирования тепловой нагрузки горячего водоснабжения при использовании пластинчатых теплообменников**

Нияковский А. М., Батенкова А. В., Коршун А. А., Милочкина А. Д.  
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой  
Новополоцк, Республика Беларусь

*С использованием цифровой модели для подбора водоподогревателей горячего водоснабжения исследованы переменные режимы работы пластинчатых теплообменников. Уточнены известные уравнения для определения параметра теплообменника и температуры греющего теплоносителя на его выходе из теплообменника при изменении начальной температуры, что сде-*

*дано возможным их использование при расчете регулирования пластинчатых теплообменников в системах горячего водоснабжения.*

При эксплуатации централизованных систем теплоснабжения при совместном отпуске тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения возникает необходимость в регулировании расхода греющего теплоносителя, поступающего в водоподогреватели системы горячего водоснабжения (СГВ), в зависимости от его температуры в подающей магистрали тепловой сети. При этом различают два поддиапазона регулирования отпуска теплоты на горячее водоснабжение: переменный – при температурах наружного воздуха, находящихся в пределах от точки излома температурного графика регулирования отопительной нагрузки до температуры наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, и расчетный – при температурах наружного воздуха, превышающих его температуру в точке излома температурного графика.

В расчетном поддиапазоне температура и расход греющего теплоносителя остаются постоянными, инвариантными в отношении температуры наружного воздуха. В переменном диапазоне по мере изменения температуры греющего теплоносителя на входе водоподогревателя СГВ одновременно должен снижаться и расход теплоносителя.

Вопрос регулирования отпуска теплоты на горячее водоснабжение был достаточно подробно изучен в отношении кожухотрубных теплообменников [1; 2]. В частности, в [1] для этой цели было предложено уравнение характеристики теплообменного аппарата, позволяющее выполнять необходимые расчеты регулирования, причем, применительно к подогревателям горячего водоснабжения в указанной работе обосновывалось постоянство следующего комплекса, названного параметром теплообменника:

$$\Phi = \frac{k \cdot F}{(G_{\tau} \cdot G_t)^{0,5}} \cdot 10^{-3} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи теплообменника при фактических расходах теплоносителей, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  $G_{\tau}$  и  $G_t$  – расходы соответственно греющего и нагреваемого теплоносителей, кг/с.

Однако, в случае применения пластинчатых теплообменников взамен кожухотрубных соотношение (1) не соблюдается. Не позволяет получить однозначные практически полезные результаты и методика, представленная в [3]. В силу чего была поставлена задача выполнить численные исследования, позволяющие найти зависимость для расчета параметра пла-

стинчатого теплообменника  $\Phi$  по типу уравнения (1). Численные исследования были осуществлены с использованием программы для расчета и подбора водоподогревателей, предоставленной ООО «Производственная компания Теплосила» [4].

В ходе исследований было установлено, что для пластинчатых теплообменников параметр теплообменника может быть определен по уравнению:

$$\Phi = \frac{k \cdot F}{(G_t \cdot G_r)^m} \cdot 10^{-3} = const, \quad (2)$$

где  $m$  – показатель степени.

Исследования, выполненные при различных расходах теплоносителей и тепловых мощностях, показало адекватность уравнения (2) для выбранного дискретного ряда теплообменников при показателе степени  $m = 0,27$ .

С учетом этого для определения температур греющего теплоносителя на выходе водоподогревателя СГВ в переменном поддиапазоне регулирования тепловой нагрузки горячего водоснабжения и параллельной схеме подключения теплообменников может быть проложено следующее модифицированное уравнение:

$$\left( \frac{(\tau_{1r}^p - t_r) - (\tau_{2r}^p - t_x)}{\ln \frac{\tau_{1r}^p - t_r}{\tau_{2r}^p - t_x}} \right) \cdot \left( \frac{(\tau_{1o} - t_r) - (\tau_{2r} - t_x)}{\ln \frac{\tau_{1o} - t_r}{\tau_{2r} - t_x}} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{\tau_{1o} - \tau_{2r}}{\tau_{1r}^p - \tau_{2r}^p} \right)^{0,27} = 1, \quad (3)$$

где  $t_r$  и  $t_x$  – температуры нагреваемой воды соответственно на выходе и входе теплообменника, °С;  $\tau_{1o}$  и  $\tau_{2r}$  – температуры греющего теплоносителя соответственно на входе и выходе теплообменника, °С;  $\tau_{1r}^p$  и  $\tau_{2r}^p$  – расчетные значения температур греющего теплоносителя на входе и выходе теплообменника, °С.

Уравнение (3) решается относительно  $\tau_{2r}$  методом подстановки при значениях  $\tau_{1o}$ , задаваемых по графику регулирования отопительной нагрузки.

### Выводы

В результате проведения численных исследований установлено:

1. Уравнения для определения характеристики и параметра тепловых аппаратов, предложенные в [1] для кожухотрубных теплообмен-

ников, могут в случае изменения показателя степени в них с 0,5 на 0,27 использоваться для расчета переменных режимов работы пластинчатых водоподогревателей в СГВ.

2. Установлено, что значение показателя степени  $m$  в уравнении (2) равно 0,27 удовлетворяет рабочему диапазону тепловых мощностей и расходов теплоносителей, используемых в СГВ.

### Литература

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов по спец. «Пром. Теплоэнергетика» / Е. Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.

2. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

3. Новый подход к обоснованию закона изменения расхода греющей воды при местном количественном регулировании теплового потока на горячее водоснабжение в закрытых водяных системах централизованного теплоснабжения – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/81/130/33398.php> – Дата доступа: 31.03.2024.

4. Программы подбора оборудования ООО «Производственная компания Теплосила». – Режим доступа: <https://teplo-sila.com/programmy-podbora-oborudovaniya>. – Дата доступа: 31.03.2024.

УДК 66.042.945: 519.246.8

### **Организационно-логистический фактор и оценочное прогнозирование объемов обследования стальных подземных газопроводов**

Струцкий Н. В.<sup>1</sup>, Романюк В. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГПО «Белтопгаз»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основе методов и инструментария анализа временных рядов выполнено прогнозирование объемов работ по приборному обследованию стальных подземных газопроводов. Научная новизна исследования состоит в выявлении и включении в прогностическую модель комплексного организационно-логистического фактора, отражающего влияние сложившихся в газораспределительной отрасли республики производственных практик и управленческих подходов к осуществлению технического обслуживания.*

В соответствии с [1, с. 54], техническому приборному обследованию (или, по устоявшейся отраслевой терминологии – комплексному приборному обследованию, КПО) подвергаются все без исключения стальные подземные распределительные газопроводы. Данный вид эксплуатационного контроля включает в себя выявление дефектов изоляционного покрытия и утечек газа бесконтактным способом. Объемы данных работ составляют по республике в целом несколько тысяч километров ежегодно, в связи с чем их планирование представляет собой актуальную задачу и с технической, и с хозяйственно-экономической точек зрения.

В настоящее время планирование данных работ осуществляется традиционным методом, на основании текущих потребностей производства, то есть, по сути, путем аккумуляирования заявок от эксплуатационных служб, которые, в свою очередь, опираются на разрабатываемые на местах годовые графики технического обследования. Такой подход вполне результативен на оперативном уровне планирования, однако не может быть удовлетворительно масштабирован на тактический и, тем более, стратегический уровень, где горизонт планирования значительно превышает годовой период.

Для возможности долгосрочного планирования приборного обследования необходим научно обоснованный прогноз объемов работ и соответствующая методика прогнозирования. Очевидно, что прогноз объемов работ по техническому обследованию газопроводов в первую очередь должен исходить из общей протяженности трубопроводной сети и нормативных требований, выдвигаемых к объемам и срокам проведения работ.

Согласно [1, с. 54; 2, с. 4] периодичность технического обследования, как правило, составляет 5 лет. Отдельные характерные участки (в частности, переходы через естественные и искусственные преграды) обследуются чаще – 1 раз в 3 года, или ежегодно. Учитывая преобладающую периодичность работ, выбираем горизонт планирования и, соответственно, период упреждения прогноза продолжительностью 5 лет.

Минимально необходимый исходя из нормативных требований, или регламентируемый объем работ  $Q_{\text{регл}}$  за определенный период времени может быть определен по формуле;

$$Q_{\text{регл}} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – объемы работ на участках с  $i$ -ой периодичностью обследования ( $T_{\text{КПО}i}$ );  $n$  – количество регламентируемых периодичностей обследования.

Таким образом,  $Q_{\text{регл}}$  для каждого пятилетнего периода можно укрупненно рассчитать по протяженности стальных газопроводов в предыдущий период: например, регламентируемые объемы работ для периода 2009-

2013 гг. рассчитываются по протяженности газопроводов в 2004–2008 гг., для периода 2014–2018 гг. – в 2009–2013 гг., и так далее. Соответственно, известная протяженность газопроводов в период 2019–2023 гг. составит базу планирования на пятилетний цикл 2024–2028 гг.

Однако, практический опыт показывает, что значений  $Q_{\text{регл}}$  недостаточно для адекватного планирования работ, и для обеспечения необходимого качества планировочного процесса необходим учет дополнительных влияющих факторов.

Проанализируем динамику реальных объемов обследования подземных газопроводов за период 2009–2023 гг. (рис. 1). Рассчитанные значения  $Q_{\text{регл}}$  показаны на рисунке зеленой точечной линией, красной точечной линией показаны фактические объемы работ  $Q_{\text{факт}}$ .

Как видно, на всем протяжении времени фактические объемы существенно превышают регламентируемые. Действительно, некоторая часть газопроводов в течение года может обследоваться повторно (при появлении сомнений в результатах планового обследования, проведении выборочного контроля и т. д.), а, главное, значительная часть объектов включаются в графики обследования досрочно, из соображений равномерного распределения трудозатрат, материальных ресурсов, лучшей логистики.

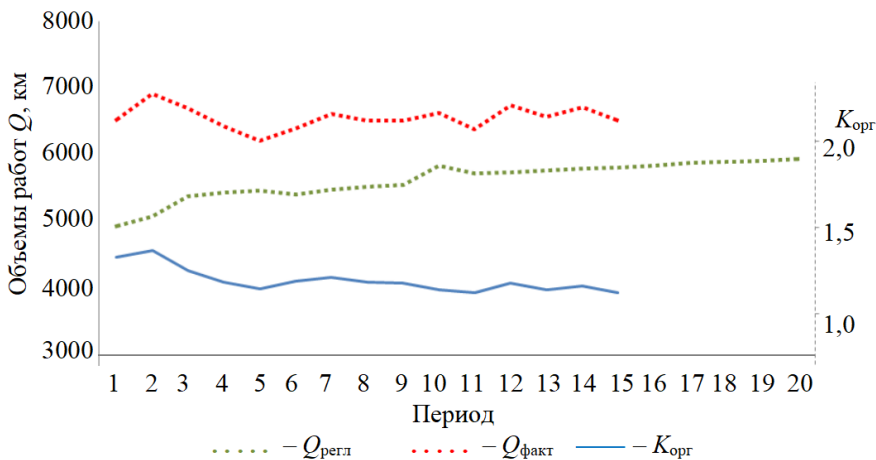


Рис. 1. Динамика регламентируемых и фактических объемов обследования подземных газопроводов

Такая локальная оптимизация потока работ на местах соответствует производственной логике и носит постоянный характер, в силу чего реальная плотность обследования всегда несколько выше по отношению к нор-

мативным требованиям. В настоящее время этот подход нашел свое нормативное отражение: так, согласно [2, с. 8] при планировании рекомендуется предусматривать укрупненное (по кварталам, микрорайонам) обследование всех подземных газопроводов независимо от срока врезки или предыдущего обследования, а также участка, объединяющего одну или несколько зон электрозащиты.

Поскольку превышение фактических объемов работ над регламентированными очевидно имеет системный характер, который должен особенно проявляться при обслуживании протяженных и территориально разнесенных трубопроводных систем, его можно выразить в виде соответствующего показателя (коэффициента)  $K_{\text{орг}}$  [3, с. 140]:

$$K_{\text{орг}} = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{регл}}}. \quad (2)$$

Данный показатель (сплошная синяя линия на рис.1, шкала значений справа) будет отражать влияние на фактические объемы работ организационно-логистического фактора, включающий в себя естественную избыточность планирования и внеплановую составляющую. На величину и динамику  $K_{\text{орг}}$  будут влиять установившаяся практика производственной деятельности и сложившиеся управленческие подходы в той или иной эксплуатирующей организации, системе, отрасли.

Так, например, централизация работ по приборному обследованию и укрупнение соответствующих подразделений (бригад) повлечет за собой увеличение зон обслуживания, что на каком-то этапе повысит плотность обследования. Подобное же влияние будет оказывать техническое переоснащение персонала новой, более производительной приборной техникой. При этом эффекты импульсов от структурных перестроек и технических новшеств должны иметь волнообразный, затухающий со временем характер, где продолжительность периода воздействия импульса будет определяться общей инерционностью системы.

Рассмотрим динамику  $K_{\text{орг}}$  подробнее. Воспользуемся в этих целях методами и инструментарием анализа временных рядов, получившими в настоящее время широкое распространение в различных отраслях науки и производства. Согласно определению ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 [4, с. 17], анализ временных рядов – это семейство методов для изучения совокупности наблюдений, сделанных последовательно во времени.

Анализ предполагает решение следующих задач:

- выявление основной тенденции (кривой роста) ряда;
- обнаружение запаздывания типичных фрагментов графика при статистическом исследовании коррелированности каждого наблюдения с



предыдущим наблюдением для каждого следующего один за другим периода запаздывания;

- выявление циклических (сезонных) фрагментов графика;
- прогнозирование будущих наблюдений [4, с.17].

При этом прогноз основывается на методе экстраполяции, то есть предположении, что выявленная тенденция развития объекта сохранится на протяжении прогнозируемого периода.

Итак, на этапе спецификации, исходя из оценки параметров качества аппроксимации и проверки на адекватность прогнозируемому процессу, выбрана логарифмическая модель кривой роста с уравнением [3, с. 145]:

$$y = 0,08\ln(t) + 1,34. \quad (3)$$

Анализ выборочной автокорреляционной функции позволил выявить существование циклической составляющей, коррелограмма временного ряда представлена на рис. 2. Статистически значимы оказались коэффициенты автокорреляции  $r_1$ ,  $r_5$  и  $r_6$ , предварительное сравнение качества моделей показало предпочтительный лаг цикла  $l = 6$ .

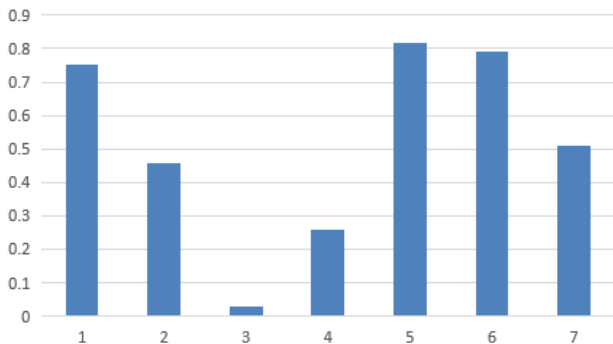


Рис. 2. Коррелограмма временного ряда показателя  $K_{орг}$

Таким образом, поскольку на общую точность модели будет влиять не только точность основной тенденции, но и точность моделирования циклических колебаний, а также учитывая примерно постоянную амплитуду колебаний ряда в наблюдаемый период, как наиболее адекватная изучаемому процессу выбрана аддитивная модель вида:

$$y_t = u_t + c_t + \varepsilon_t, \quad (4)$$

где  $u_t$  – тренд, или основная тенденция;  $c_t$  – циклическая компонента (периодические колебания);  $\varepsilon_t$  – случайная компонента (остаток).

Точностные характеристики полученной модели: остаточное среднеквадратичное отклонение  $\hat{\sigma} = 0,0223$ ; коэффициент детерминации  $R^2 = 0,91$ ; средняя абсолютная ошибка аппроксимации  $\bar{A} = 1,38 \%$ , средняя относительная ошибка  $\bar{A}_{ск} = 1,88 \%$ . Проведены проверки статистической значимости модели по критерию Фишера ( $F = 130,59$ ), нормальности распределения остатков с помощью RS-критерия ( $RS = 3,551$ ), на автокорреляцию и гомоскедастичность остатков с помощью статистик Дарбина-Уотсона ( $DW = 2,112$ ) и коэффициента ранговой корреляции Спирмэна  $\hat{\rho} = -0,507$ , соответственно.

Полученные значения точностных характеристик и проверочных критериев, и коэффициентов свидетельствуют о высоком качестве итоговой тренд-циклической модели, что позволяет использовать ее для расчета значений показателя на интересующий нас период (рис. 3).

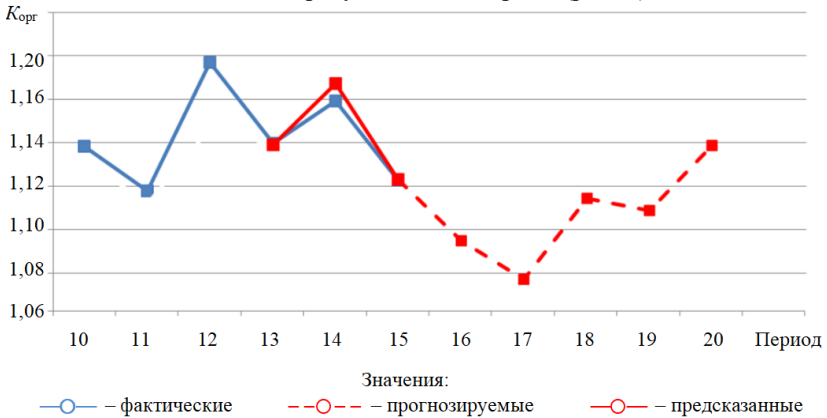


Рис. 3. Точечный прогноз динамики изменения показателя  $K_{орг}$

Точное совпадение фактических и прогнозных значений на практике маловероятно, поэтому прогнозирование будущих значений временных рядов обычно осуществляется в интервальном виде, с заданными верхними и нижними пределами. Для целей оценочного прогнозирования используем доверительный интервал вида  $\hat{y} \pm \hat{\sigma}$ .

Далее, используя (1), можно спрогнозировать фактические значения объемов работ:

$$\hat{Q}_{\text{факт}} = \hat{K}_{\text{орг}} \cdot Q_{\text{регл}} \quad (5)$$

Полученные таким образом прогнозные объемы работ по техническому обследованию стальных подземных распределительных газопроводов в целом по отрасли на пятилетний цикл 2024–2028 гг. приведены в табл.

Таким образом, в результате исследования выявлено влияние организационно-логистического фактора на формирование фактических объемов работ по приборному обследованию стальных подземных распределительных газопроводов, построена аддитивная тренд-циклическая модель динамики показателя  $K_{\text{орг}}$ .

Таблица

Прогноз объемов приборного обследования газопроводов, км

Год	$\hat{Q}_{\text{факт}}$	Нижняя граница доверительного интервала	Верхняя граница доверительного интервала
2024	6372,5	6230,4	6514,6
2025	6309,4	6168,7	6450,1
2026	6552,9	6406,9	6699,0
2027	6538,7	6392,9	6684,5
2028	6738,4	6588,1	6888,7
Всего:	32511,9	31787,0	33236,9

Разработан алгоритм среднесрочного прогнозирования объемов технического обслуживания подземных газопроводов, получены научно обоснованные прогнозные значения для обеспечения рационального планирования объема работ по ключевому виду эксплуатационного контроля объектов газораспределительной сети республики.

### Литература

1. Правила обеспечения промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. – Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2023. – 185 с.
2. СТП 03.05-2014. Система технического обслуживания и ремонта систем газоснабжения. Периодическое приборное техническое обследование стальных подземных газопроводов. – Минск: УП «НОТ», 2014. – 17 с.
3. Струцкий, Н.В. Оценка объемов работ по эксплуатационному контролю стальных подземных газопроводов с учетом организационно-

логистического фактора / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – № 67 (2). – С.137–151.

4. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.

УДК 66.042.945: 620.197.5

### **Организация электрохимической защиты распределительных газопроводов в Республике Беларусь**

Струцкий Н.В.<sup>1</sup>, Романюк В.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГПО «Белтопгаз»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье раскрыт опыт организации электрохимической защиты стальных подземных газопроводов в газоснабжающих организациях ГПО «Белтопгаз».*

По состоянию на 01.01.2024, общая протяженность наружных распределительных газопроводов, находящихся на балансе ГПО «Белтопгаз», составляет около 67,5 тыс. км. Протяженность стальных газопроводов составляет 30,0 тыс. км, 28,2 тыс. км из них проложено подземно (рис. 1).

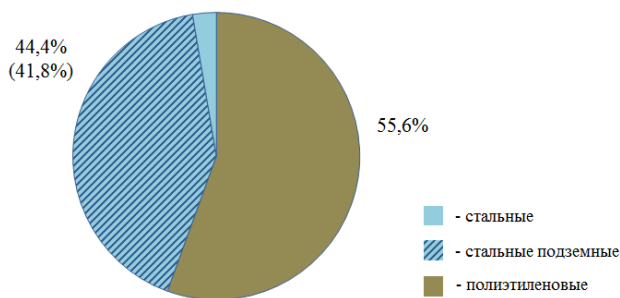


Рис. 1. Место стальных подземных газопроводов в структуре газораспределительной сети республики

Стальные подземные газопроводы занимают значительную долю в общей протяженности распределительных газопроводов, играя важную роль в обеспечении стабильного функционирования газораспределительной

сети в целом – большинство ответственных участков сети высокой пропускной способности, распределяющие крупные объемы газа, построены из стальных труб в подземном исполнении. Таким образом, поддержание стальных подземных распределительных газопроводов в надлежащем состоянии представляет собой постоянную и весьма актуальную задачу.

Подземный газопровод эксплуатируется в почве (грунте), то есть чрезвычайно сложной и динамически изменчивой вмещающей среде [1, с. 31], оказывающей на металл сооружения целый комплекс воздействий. Фактором, обладающим наибольшим потенциалом влияния на техническое состояние стальных подземных газопроводов, является коррозионный фактор, имеющий глобальный характер и оказывающий на участки газораспределительной сети непрерывное и повсеместное воздействие [2, с. 11].

Коррозия представляет опасность повреждения и разгерметизации газопроводов и, как следствие, образования утечек транспортируемой среды, что создает риски возникновения аварийной ситуации.

Для защиты стальных подземных трубопроводов как правило применяются изоляционные покрытия и электрохимическая защита (ЭХЗ). Так как коррозия стали представляет собой электрохимический процесс, его затормаживание может быть достигнуто исключительно противоположно направленным внешним электрическим (или электромагнитным) воздействием, формируемым ЭХЗ [2, с. 12; 3].

Межгосударственным стандартом ГОСТ 9.602-2016 [4, с. 4] средства ЭХЗ предусматриваются для металлических сооружений в высокоагрессивных и среднеагрессивных грунтах (табл. 1).

Таблица 1

Коррозионная агрессивность грунта [4, с. 4]

Коррозионная агрессивность грунта	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м	Средняя плотность катодного тока, А/м <sup>2</sup>
Низкая	Свыше 50	До 0,05
Средняя	Свыше 20 до 50 включи-	Свыше 0,05 до 0,20
Высокая	До 20	Свыше 0,20

Электрохимическая защита преимущественно осуществляется методом катодной поляризации, который заключается в наложении на металлическое сооружение защитного потенциала – то есть, такого отрицательного электрического потенциала по отношению к окружающей среде, при кото-

ром скорость коррозионного процесса становится минимально возможной для данных условий.

В Республике Беларусь средствами ЭХЗ обеспечено 26,7 из 28,2 тыс. км стальных подземных распределительных газопроводов, или 94,7 %. Всего в работе находятся около 5,4 тыс. СКЗ, для защиты от блуждающих токов используется 80 электродренажных установок. Для эффективного использования вырабатываемого установками ЭХЗ электрического тока, на выходах газопроводов из земли установлено 291,3 тыс. электроизолирующих соединений.

Данные о средствах электрохимической защиты, установленных на объектах газораспределительной системы, приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, в резерве находится 398 катодных станций и дренажей, что составляет 9,4 % от общего парка. Доля телемеханизированных установок достигает 91,1 %, что значительно превышает обычный для газовых хозяйств стран ЕАЭС уровень в 10–15 %.

Таблица 2

Средства электрохимической защиты газопроводов

Установки ЭХЗ						Протекторные установки
Катодные станции			Электродренажи			
всего	с т/м	резерв	всего	с т/м	резерв	всего
5287	4808	392	70	70	6	139

Ведомственной координационной группой (ВКГ) по защите от коррозии ГПО «Белтопгаз» – коллегиальным совещательным органом, объединяющим руководителей и специалистов профильных служб газоснабжающих организаций республики – в начале 2000-х годов была выработана наиболее рациональная стратегия внедрения телемеханизации средств ЭХЗ – установка уже оснащенных системой телемеханики в заводских условиях современных катодных преобразователей, в первую очередь:

- взамен морально и физически устаревших;
- в местах, значительно удаленных от баз обслуживания;
- при укрупнении зон защиты, где работа станций осуществлялась в режимах, пониженных относительно номинального, с низким КПД (из-за избыточного запаса мощности, принятого на стадии проектирования);
- при новом строительстве объектов газораспределительной системы.

Такой системный подход, наряду с известными преимуществами дистанционного управления и контроля установок ЭХЗ, одновременно поз-

волил получить максимальный эффект от снижения объемов работ по их эксплуатации.

Так, в соответствии с [5, с. 66], техническое обслуживание установок ЭХЗ должно проводиться не реже:

- 1 раз в месяц – для СКЗ, расположенных в сельской местности;
- 2 раз в месяц – для СКЗ, расположенных в городской местности;
- 4 раз в месяц – для установок дренажной защиты.

Периодичность проведения технического обслуживания установок ЭХЗ, оснащенных системами телемеханики, назначается эксплуатирующей организацией самостоятельно [5, с. 66]. В системе ГПО «Белтопгаз» принята единая периодичность проведения технического обслуживания для всех телемеханизированных установок ЭХЗ – не реже 2 раз в год.

Таким образом, плотность технического обслуживания для СКЗ в сельской местности может быть снижена в 6 раз, для городских СКЗ – в 12 раз, для установок дренажной защиты – в 24 раза, без ухудшения качества обслуживания и уровня технического состояния средств ЭХЗ.

Отталкиваясь от уровня телемеханизации, зафиксированного по состоянию на 01.01.2024, и распределения эксплуатируемых СКЗ между городской и сельской местностями, на 2024 год совокупное снижение регламентируемого объема технического обслуживания установок ЭХЗ за счет их телемеханизации в целом по республике составит 82,5 %. В абсолютном исчислении это составит 91,7 тыс. работ (необходимо будет выполнить всего 19,5 тыс. работ по обслуживанию вместо 111,2 тыс.). При этом снижение объема выполняемых работ будет выражаться как в снижении трудозатрат, так и транспортных расходов.

Одним из инновационных решений в эксплуатации установок электрохимической защиты, является использование интеллектуальных контрольно-измерительных пунктов (КИП), активно внедряемых на объектах газораспределительной системы. Данное техническое решение позволяет осуществлять дистанционный контроль защитного потенциала по трассе газопровода, изменив режим контроля с периодического на постоянный.

На рис. 2 изображен комплекс мониторинга защитного потенциала металлических трубопроводов КМЗП производства РУП «Белгазтехника», входящий в состав «умного» КИП. Комплекс позволяет осуществлять измерения в соответствии с гостированными методиками, сохранение и передачу накопленной информации в сети Narrow Band Internet of Things (NB IoT) [6].

Организация электрохимической защиты распределительных газопроводов в масштабах республики, тем более, в условиях ускоренного внедрения современных технических средств, обладающих качественно новыми, расширенными функциональными возможностями, невозможна без цифровой поддержки данной сферы.

Стратегия цифровизации газораспределительной отрасли предполагает отказ от «лоскутной» автоматизации отдельных технологических и бизнес-процессов в пользу создания единой отраслевой автоматизированной системы, основу которой составляют три взаимосвязанных мультипрограммных комплекса (МПК):

- «Мириада» (набор мобильных приложений для цифрового сопровождения непосредственно производства работ);
- «Панорама» (центральный комплекс, включающий в себя набор программных модулей (ПМ) под основные виды производственной деятельности, а также общую интерактивную электронную карту газораспределительной системы);
- «Вершина» (аналитическая надстройка верхнего уровня) [7, с. 62].



Рис. 2. Комплекс КМЗП [6]

Соответственно, во всех профильных службах газоснабжающих организаций и аппарате управления ГПО «Белтопгаз» внедрен единый софт – программный модуль «Электрохимическая защита газопроводов», входящий в состав МПК «Панорама», и связанный с соответствующими разделами МПК «Мириада» и «Вершина» (рис. 3).

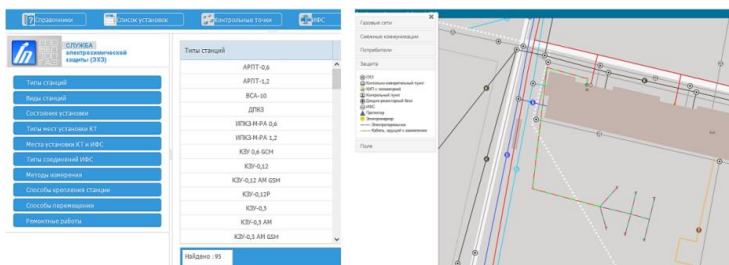


Рис. 3. Примеры рабочих окон ПМ «Электрохимическая защита газопроводов» и электронной карты МПК «Панорама»



Таким образом, электрохимическая защита распределительных газопроводов в газовой отрасли Республики Беларусь полностью удовлетворяет нормативным требованиям, обеспечивая коррозионную безопасность защищаемых сооружений. Достигнутый уровень научно-технического развития производства создает предпосылки для построения интеллектуальной, удаленно управляемой системы электрохимической защиты нового типа.

### Литература

1. Розанов, Б. Г. Живой покров Земли / Б. Г. Романюк. – М.: Педагогика, 1989. – 128 с.
2. Романюк, В. Н. Место изоляционных покрытий в обеспечении надежности стальных подземных газопроводов / В. Н. Романюк, Н. В. Струцкий, // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – №3 (35). – С. 11–20.
3. Притула, В.В. Современные проблемы защиты от подземной коррозии / В. В. Притула // Коррозия территории «Нефтегаз». – 2012. – № 3 (23). – С.18–21.
4. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии: ГОСТ 9.602-2016. – введ. 01.06.2017. – М: Стандартинформ, 2016. – 87 с.
5. Правила обеспечения промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. – Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2023. – 185 с.
6. Комплекс мониторинга защитного потенциала металлических трубопроводов КМЗП. – Режим доступа: <https://belgastehnika.by/catalog/pribory-i-ustroystva/ustroystva-kontrolya-obektov-gazovogo-khozyaystva/kompleks-monitoringa-zashchitnogo-potentsiala-metallicheskih-truboprovodov-kmpz/>. – Дата доступа: 02.04.2024.
7. Струцкий, Н.В. Некоторые вопросы обеспечения полноты и достоверности эксплуатационных данных, получаемых в ходе приборного обследования стальных подземных газопроводов / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // Наука и техника. – 2024. – №1. – С. 58–66.

**Некоторые возможности использования теплоты удаляемого воздуха в жилых многоэтажных эксплуатируемых зданиях**

Лешкевич В. В., Сизов В. Д., Караваева Д. В., Черванёва Е. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследований способов утилизации теплоты удаляемого воздуха в эксплуатируемых жилых многоэтажных зданиях с вытяжными системами вентиляции с естественным побуждением движения воздуха.*

В последние годы использование вторичных энергоресурсов в жилых зданиях сосредоточено в основном в области нового строительства и заключается в обеспечении довольно низких значений [1, с. 5–6] удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий. Как правило, для обеспечения данного показателя применяется комплекс технических решений в виде повышенных значений сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, рекуператоров теплоты удаляемого вентиляционного воздуха и рекуператоров теплоты сточных вод, индивидуального регулирования в системах отопления и вентиляции, и др. В то же время большинство эксплуатирующихся жилых зданий не относится к энергоэффективным и возведены до введения соответствующих нормативных требований. Здания, находящиеся в эксплуатации, с течением времени подвергаются реконструкции и модернизации, в том числе с целью доведения теплотехнических показателей их ограждающих конструкций до современных нормативных требований и обеспечения автоматического регулирования систем отопления. Данные меры позволяют значительно снизить энергопотребление зданий, но, чаще всего, не обеспечивают показатели удельного потребления по [1, с. 5–6, 23].

Анализ теплового баланса показывает, что дальнейшее ужесточение требований к показателям теплозащиты наружных ограждающих конструкций не является эффективным экономически и приводит к сложным техническим решениям. В таких условиях большую долю в составе тепловых потерь имеют потери теплоты с удаляемым вентиляционным воздухом. Очевидным способом, который применяется в новом строительстве, является применение систем возврата теплоты удаляемого воздуха и ее использование для подогрева приточного воздуха.

Большинство эксплуатируемых жилых зданий в Беларуси оборудовано вытяжной общеобменной системой вентиляции с естественным побужде-

нием движения воздуха, а объём удаляемого воздуха компенсируется через неплотности ограждающих конструкций, окна, двери. По этой причине реализовать подогрев приточного воздуха с использованием теплоты удаляемого воздуха становится практически невозможной задачей. Преобразование теплоты удаляемого воздуха в другие виды энергии не даст должного эффекта в связи с низким её потенциалом.

Для оценки возможности использования теплоты удаляемого из квартир воздуха оценим тепловой баланс.

Результаты расчета количества теплоты, удаляемого с вентиляционным воздухом, представлены в табл. 1, 2. Температура внутреннего (удаляемого) воздуха принята 20 °С, удельная теплоёмкость воздуха 1,005 кДж/(кг·°С).

В расчет принята типовая серия М464-М с общей площадью квартир на этаже 285,39 м<sup>2</sup> и высотой 10 этажей. План рассматриваемой секции здания представлен на рис. 1.

Сопrotивление теплопередаче наружных стен принято 3,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт, окон 0,6 м<sup>2</sup>·°С/Вт, перекрытия над подвалом 1,8 м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Таблица 1

Результаты расчета количества теплоты, удаляемого с вентиляционным воздухом при удельном расходе воздуха 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений

Температура наружного воздуха, °С	Потери теплоты, на нагревание вентиляционного воздуха в квартирах, Вт				
	1-комнатных	2-комнатных	2-комнатных	3-комнатных	Всего на секцию здания
-30	1842,5	1842,5	1842,5	2543,7	80711,6
-26	1695,1	1695,1	1695,1	2340,2	74254,6
-25	1658,3	1658,3	1658,3	2289,3	72640,4
-20	1474,0	1474,0	1474,0	2034,9	64569,2
-15	1289,8	1289,8	1289,8	1780,6	56498,1
-10	1105,5	1105,5	1105,5	1526,2	48426,9
-5	921,3	921,3	921,3	1271,8	40355,8
0	737,0	737,0	737,0	1017,5	32284,6
5	552,8	552,8	552,8	763,1	24213,5

Таблица 2

Результаты расчета количества теплоты, удаляемого с вентиляционным воздухом при удельном расходе воздуха 1,5 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений

Температура наружного воздуха, °С	Потери теплоты, на нагревание вентиляционного воздуха в квартирах, Вт				
	1-комнатных	2-комнатных	2-комнатных	3-комнатных	Всего на секцию здания
-30	566,6	893,9	906,8	1271,8	36391,1
-26	521,2	822,4	834,2	1170,1	33479,8
-25	509,9	804,6	816,1	1144,6	32752,0
-20	453,3	715,2	725,4	1017,5	29112,8
-15	396,6	625,8	634,7	890,3	25473,7
-10	339,9	536,4	544,1	763,1	21834,6
-5	283,3	447,0	453,4	635,9	18195,5
0	226,6	357,6	362,7	508,7	14556,4
5	170,0	268,2	272,0	381,5	10917,3

Воздухообмен квартир принимался в виде большего из значений, полученных по удельному нормируемому расходу для жилых комнат и суммарного по удельным нормируемым расходам для санузлов и кухонь.

Для оценки вариантов утилизации теплоты удаляемого воздуха рассмотрим вариант применения его для отопления объёма лестничной клетки. Для помещения лестничной клетки секции здания, представленной на рис. 1, определены тепловые потери при различных значениях температуры наружного воздуха.

При расчете учтены потери теплоты через ограждающие конструкции (трансмиссионные) и на подогрев инфильтрующегося через ограждающие конструкции наружного воздуха.

Так как расчет выполнен для условного объекта, надбавки к основным теплопотерям в зависимости от ориентации наружных ограждающих конструкций по сторонам света приняты 8%.

Зависимости потерь теплоты лестничной клеткой от температуры наружного воздуха, а также данные табл. 1, 2 представлены на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что теплоты, удаляемой с вентиляционным воздухом, однозначно достаточно для возмещения тепловых потерь лестничной клетки секции здания. Утилизация теплоты удаляемого

воздуха в виде обогрева помещения лестничной клетки может быть реализована в зданиях с теплыми чердаками с применением теплового насоса.

При норме воздухообмена  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади количество теплоты, удаляемой с вентиляционным воздухом, превышает теплопотери лестничной клетки. В этом случае целесообразно использование её для нужд, отличающихся от возмещения потерь теплоты лестничной клетки. Например, возможно рассмотрение варианта использования теплоты уходящего воздуха для подогрева воды для нужд горячего водоснабжения.

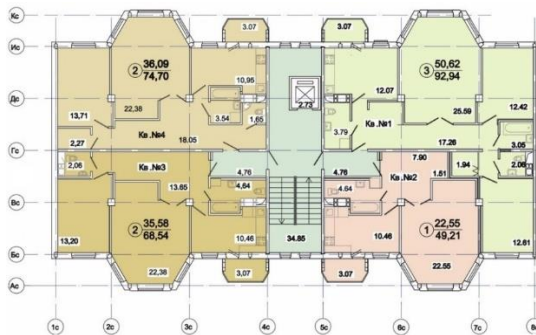


Рис. 1. План рассматриваемой секции здания

Принимая количество проживающих в одно-, двух- и трехкомнатных квартирах соответственно 2, 3 и 4 человека для 10-этажной секции рассматриваемого здания количество жильцов составит  $(2 + 3 \cdot 2 + 4) \cdot 10 = 120$  человек.

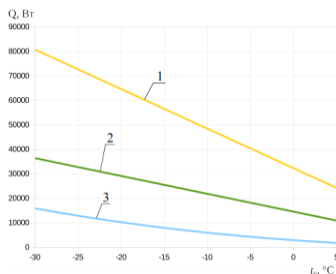


Рис. 2. Зависимость расхода теплоты на нагрев вентиляционного воздуха и тепловых потерь лестничной клетки от наружной температуры:

1 – расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха при норме воздухообмена  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади; 2 – то же при  $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$ ; 3 – потери теплоты лестничной клеткой

Согласно [2] норматив водопотребления составляет 130 л/сутки. В свою очередь статистические данные [3] говорят о фактическом потреблении 36 м<sup>3</sup> на человека в год, что соответствует 99 л/сутки. Согласно [2] 48 л/сутки из них – это горячая вода.

Результаты определения количества теплоты, необходимой для нагрева указанного количества воды представлены в табл. 3.

Таблица 3

Количество теплоты, необходимое для нагрева воды

Количество проживающих, чел.	Годовой расход воды, м <sup>3</sup> на человека в год	Суточный расход воды, л/сутки на человека	Начальная температура воды, °С	Конечная температура воды, °С	Расход теплоты, Вт
120	36	48	5	50	12570,0
120	-	130	5	50	34043,8

Дополнительно к результатам, представленным в табл. 3, будут присутствовать потери теплоты на обеспечение работы полотенцесушителей (ориентировочно – не менее 4000 Вт для рассматриваемой секции здания), а также для компенсации потерь теплоты трубопроводами горячего водоснабжения, положенными внутри здания.

Анализируя данные табл. 3 совместно с результатами, представленными на рис. 2, видно, что при норме воздухообмена в квартирах 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилой площади теплоты удаляемого воздуха хватает для нагрева фактического количества воды в течение большей части отопительного периода. Проблемой применения данного варианта является обеспечение пиковых нагрузок, которое может быть компенсировано традиционными способами.

### Литература

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность = Будынкi і збудаванні. Энергетычная эфектыўнасць: СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.21. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 28 с.

2. Тарифы – Минскводоканал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minskvodokanal.by/person/tariffs/>. – Дата доступа: 23.05.2023.

3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь: С.4. Бытовое водопотребление в расчете на душу населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovmeznaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/s-4->

bytovoe-vodopotreblenie-v-raschete-na-dushu-naseleniya/. – Дата доступа: 18.09.2023.

УДК 697+699

### **К вопросу об использовании значений приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен в проектной практике**

Лешкевич В. В., Сизов В. Д., Караваева Д. В., Якимович Д. Д.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлен подход к установлению значения сопротивления теплопередаче наружных стен, основанный на сложившейся в проектировании практике применения данного показателя при расчетах тепловых потерь помещений.*

Анализ разделов «Отопление и вентиляция» (ОВ) современных проектов зданий показывает, что каталог [1, с. 1–211] не применяется для расчета теплопотерь вследствие чрезвычайно высокой трудоемкости. В большинстве случаев тепловые потери через стены рассчитываются на основе одинакового значения сопротивления теплопередаче для всех помещений здания, в то время как расчетные значения в других разделах проектов (конструкции, архитектура) могут иметь значения, отличающиеся для каждого помещения расчетного фрагмента здания.

При определении удельных потерь теплоты на отопление и вентиляцию при составлении энергетического паспорта применяют, как правило, значение сопротивления теплопередаче наружных стен, которое определяется для здания в целом.

В сложившейся практике проектирования для расчета теплопотерь в разделах ОВ проектов принимается нормативное значение сопротивления теплопередаче стен, устанавливаемое [2, с. 6–9]. Таким образом, на этапе проектирования полагается, что значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен каждого помещения здания будет не менее  $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

При анализе типичных узлов наружных ограждающих конструкций в жилом строительстве выявлено, что в некоторых случаях достижение необходимого уровня теплоизоляции наружных стен, равного  $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  согласно требованиям действующих ТНПА, затруднено по ряду причин. Одним из главных факторов, препятствующих этому, является недостаточное количество участков стен с максимальным расчетным значением сопротивления теплопередаче (чаще всего считающихся «гладью» стены)

относительно общей площади конструкции, для которой определяется приведенное сопротивление теплопередаче.

Для того чтобы обеспечить более точное соответствие мощности отопительного прибора теплотерям помещения возможны два варианта решения:

1 – выполнение подробных расчетов теплотерь отдельных помещений, применяя индивидуальные значения сопротивления теплопередаче наружных стен для каждого из них (что дополнительно предлагается в [1, с. 5–6]);

2 – установление значения сопротивления теплопередаче стен, применяемого для расчета теплотерь, которое должно соответствовать минимальному гарантируемому значению для наружных стен отапливаемого помещения.

Во втором случае применение минимального значения сопротивления теплопередаче по [3, с. 7] является нецелесообразным, так как фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен значительно больше минимального значения.

Опыт проектирования показывает, что для большинства зданий возможно (и проводится) выполнение теплотехнических расчетов «по глади» ограждающих конструкций без определения значения приведенного сопротивления теплопередаче. В этом случае для того, чтобы обеспечить теплопоступления от отопительных приборов в количестве не менее расчетных теплотерь необходимо соблюдение условия:

$$\frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{г}}} \leq \frac{\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_{\text{г}}}}{\frac{1}{R_{\text{мин}}} - \frac{1}{R_0}},$$

где  $\frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{г}}}$  – соотношение площади участков термической неоднородности и глади конструкции;  $R_0$  – сопротивление теплопередаче стен, принятое для расчета теплотерь;  $R_{\text{г}}$  – сопротивление теплопередаче стен по глади, принятое для расчета толщины теплоизоляции;  $R_{\text{мин}}$  – минимальное значение сопротивления теплопередаче.

Соблюдение данного условия не исключает проверки температурного режима сложных узлов сопряжения строительных конструкций путем расчета температурных полей. Однако в данном случае нет необходимости определять значение приведенного сопротивления теплопередаче.

Для оценки качества наружных стен и других ограждающих конструкций в натуральных условиях в настоящее время используют показатель плот-



ности теплового потока, проходящего через них, при разности температуры внутреннего и наружного воздуха. Для измерения плотности тепловых потоков используются датчики плотности теплового потока: дифференциальные термодатчики или элементы Пельтье. На основании измерений определяется сопротивление теплопередаче наружных стен.

Выпускаемые в настоящее время промышленные образцы датчиков имеют метрологическую аттестацию в диапазоне плотности теплового потока 10–999 Вт/м<sup>2</sup> [4].

При значении сопротивления теплопередаче участка наружной стены 3,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт и выше при температуре внутреннего воздуха 18 °С температура наружного воздуха, при которой возможны измерения, составит минус 14 °С и ниже. Для сравнения, при значении сопротивления теплопередаче 2,0 м<sup>2</sup>·°С/Вт измерения возможны при температуре минус 2 °С и ниже. Данная температура близка средней температуре отопительного периода для климатических условий Беларуси что, следовательно, значительно расширяет возможности проведения измерений в течение холодного периода.

Для участков современных ограждающих конструкций значение сопротивления теплопередаче для зоны, соответствующей глади конструкции, может достигать значений 5 м<sup>2</sup>·°С/Вт и более. В таком случае при температуре наружного воздуха минус 2 °С для получения корректных результатов измерений необходимо поддержание температуры внутреннего воздуха не менее 48 °С (и 30 °С при сопротивлении теплопередаче 3,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт). Данная задача является затруднительной и экономически невыгодной.

Следовательно, необходимо применять иные методы оценки качества тепловой защиты зданий в натуральных условиях. Для оценки параметров тепловой защиты наружных ограждающих конструкций может быть применен подход, рассматривающий не отдельные типы ограждающих конструкций, а оболочку здания в целом. При известных значениях сопротивления теплопередаче окон и дверей они могут быть выделены из состава оболочки здания. Данный подход может быть применен и для зданий с естественной вентиляцией при наличии довольно точных методов определения расходов удаляемого из него воздуха. Вероятно, широкое применение в этой ситуации найдут технологии информационного моделирования зданий, интенсивно развивающиеся в настоящее время.

### Литература

1. Каталог удельных потерь теплоты (тепловых мостиков) теплотехнически неоднородных узлов ограждающих конструкций жилых и общественных зданий / рук. Л. Н. Данилевский, исп. И. А. Терехова [и др.]. –

Минск: Минстройархитектуры, 2019. – 211 с. – Инв. № гос. регист. 20180354.

2. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность = Будынкi і збудаванні. Энергетычная эфектыўнасць: СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.21. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 28 с.

3. Строительная теплотехника = Будаўнічая цеплатэхніка: СП 2.04.01-2020. – Введ. 20.01.2021 (взамен ТКП 45-2.04-43-2006 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 76 с.

4. Измеритель плотности теплового потока и температуры ИТПМГ4.03/Х(У) «ПОТОК». Руководство по эксплуатации: КБСП.427648.027- III РЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.stroypribor.com/netcat\\_files/315/174/manual\\_potok5.pdf](http://www.stroypribor.com/netcat_files/315/174/manual_potok5.pdf). – Дата доступа: 04.04.2024.

УДК 620.179

### **Система оперативного дистанционного контроля состояния изоляции тепловых сетей**

Богданова А. А., Сучок А. Д.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*Система оперативного дистанционного контроля (Система ОДК, СОДК) – это система, выполняющая функцию мониторинга состояния влажности пенополиуретанового слоя теплоизоляции, а также позволяющая выявлять участки с повышенной влажностью при помощи переносных либо стационарных детекторов.*

Система контроля разделяется на следующие части: трубная, сигнальная и дополнительные устройства.

Трубная часть – это все элементы трубопровода и комплектующие изделия, непосредственно образующие датчик увлажнения изоляции:

– Элементы трубопровода с двумя или более медными сигнальными проводниками.

– Промежуточные и концевые кабельные выводы.

– Концевые элементы трубопровода.

– Монтажно-соединительные комплекты для соединения сигнальных проводников при гидроизоляции стыков и для удлинения кабельных выводов.

Элементы трубопровода с двумя или более медными сигнальными проводниками это предварительно изолированные трубы, отводы, компенса-

торы, тройники, шаровые краны и т. п. Сигнальные проводники, установленные внутри ППУ изоляции каждого элемента, располагаются параллельно стальной теплонесущей трубе на расстоянии 16 – 25 мм. от неё. При сборке труб проводники фиксируются в центраторах полиэтиленовой оболочки, которые устанавливаются на расстоянии 0,8 – 1,2 м друг от друга. Эти проводники изготавливаются из медной проволоки сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  (марка ММ 1,5) [1]. Конструкция система оперативного дистанционного контроля приведена на рис.

Группу дополнительных устройств образуют надежно закрывающиеся наземные и настенные металлические конструкции — коверы, в которые при монтаже системы устанавливают оборудование сигнальной группы [2].

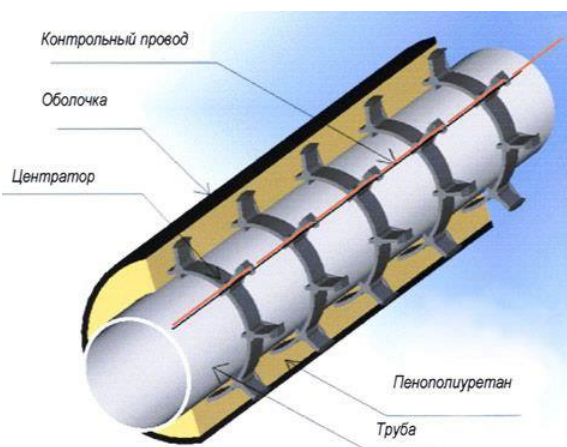


Рис. Конструкция СОДК

Основой действия системы ОДК служит физическое свойство пенополиуретана, заключающееся в уменьшении значения электрического сопротивления изоляции ( $R_{из.}$ ) при увеличении влажности (в сухом состоянии сопротивление изоляции стремится к бесконечности). Для отслеживания начала увлажнения изоляции и определения мест повреждений полиэтиленовой оболочки на трубопроводах с ППУ-изоляцией служит система оперативного дистанционного контроля (СОДК). Степень увлажнения определяется детектором повреждений по сопротивлению теплоизоляционного слоя  $R_{из}$  между стальной трубой и проводником СОДК.  $R_{из}$  должно составлять не менее 300 МОм/м, пороговое значение срабатывания детектора – 1 кОм [3]. Снижение  $R_{из}$  обусловлено не только проникновением влаги, но и качеством ППУ, точностью монтажа СОДК. По сопротивлению изоля-

ции невозможно установить характер повреждения (стальная труба или гидрозащитная оболочка).

Для определения места увлажнения теплоизоляции используют локаатор повреждений – импульсный рефлектометр. Данный прибор предназначен для работы в кабельных линиях и при работе в неоднородной ППУ-изоляции недостаточно эффективен. На точность локации также оказывает влияние соблюдение расстояния между стальной трубой и сигнальным проводником, квалификация персонала. Кроме того, локаатор определяет место намокания изоляции при снижении её сопротивления до 5 кОм, что позволяет выявить участки только сильного увлажнения.

Возможность создания электронной системы СОДК, контролирующей состояние слоя тепловой изоляции труб ППУ и герметичность их внешней оболочки, выгодно отличает данный вид предизолированных труб и многократно повышает надежность построенных из них промышленных трубопроводов. Разработанная для постоянного мониторинга влажности всего объема ППУ изоляции, система СОДК позволяет гарантированно избежать аварийных ситуаций, связанных с проникновением воды к поверхности рабочих стальных трубы, и как результат, повреждения их коррозией [4].

Кроме того, в случае нарушения герметичности наружной оболочки и намокания пенополиуретана резко возрастает его теплопроводность, что значительно ухудшает теплоизоляционные свойства данного участка трубопровода. Своевременное выявление дефектов изоляции труб при помощи аппаратного комплекса системы СОДК позволяет оперативно произвести необходимый ремонт поврежденного участка, не допустить неконтролируемого развития ситуации и связанного с этим значительного материального ущерба.

### Литература

1. Болотов, С. В. Система оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуритановой изоляции трубопроводов тепловых сетей с цифровыми датчиками влажности. / С. В. Болотов, Н. В. Герасименко // Вестник Белорусского-Российского университета. – 2016. – № 2. – С. 1–5.
2. Голубков, С. К. Опыт эксплуатации труб в ППУ-изоляции с системой оперативного дистанционного контроля (ОДК) / С. К. Голубков // Тепловые сети. Современные решения: материалы конф. – СПб.: Ленэнерго, 2005. – С. 1–6.
3. Оборудование для Систем Оперативного Дистанционного Контроля (СОДК). Система Оперативного Дистанционного Контроля (СОДК) для труб с ППУ изоляцией. [Электронный ресурс] // Группа производственных компаний «АОС». – Режим доступа: <https://aosgk.ru/articles/534/>. – Дата доступа: 12.04.2024.

4. Стальная труба изолированная ппу // Компания ООО «СанТермо». – Режим доступа: <https://m.pputruba.ru/>. – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 665.754

### **Улучшение характеристик печного бытового топлива посредством добавления дизельных дистиллятов вторичной перегонки**

Ковальчук А. А.  
Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

*Было проведено исследование влияния содержания вторичного дистиллята дизельного топлива на основные свойства печного бытового топлива. Были получены эмульсии на основе печного бытового топлива, которые содержат от 10 до 50% дизельного дистиллята вторичной перегонки. Экспериментально определены следующие показатели: температура вспышки, температура воспламенения, плотность и вязкость. Определена эффективность добавления дистиллята дизельного топлива.*

Печное топливо – это продукт нефтепереработки, изготовленный из дистиллятных фракций, полученных в результате прямой перегонки и вторичной переработки сырой нефти. Такой способ производства обеспечивает относительно низкую себестоимость [1]. Топливо предназначено для сжигания в отопительных приборах малой мощности и теплогенераторах средней мощности, установленных в домах [2].

Особенностью темного печного топлива – теплотворная способность. Топливо отлично подходит, когда нужно обогреть небольшой дом или подсобное помещение, а также используется в небольших энергоустановках, очень экономично и энергоэффективно за счет того, что имеет высокую калорийность. Ещё одним преимуществом является то, что при сгорании оно не имеет запаха, характерного для многих других нефтепродуктов, нет трудностей с его хранением и транспортировкой [1].

По основным свойствам этот вид топлива близок к летнему дизельному топливу. Температура конца кипения и застывания, вязкость, плотность печного бытового топлива несколько выше, чем у летнего дизельного топлива.

Измерение температуры вспышки проводилось для определения максимально допустимой температуры нагрева топлива в пожаробезопасных условиях в открытой ёмкости, не защищенной от попадания воздуха. Температура вспышки – это самая низкая температура горючей жидкости, при

которой пары или газы, образующиеся на ее поверхности, воспламеняются от источника зажигания без воспламенения самой жидкости.

В результате проведения опытов наблюдалось снижение температуры вспышки и воспламенения с увеличением концентрации дизельных дистиллятов вторичной перегонки.

Температура вспышки (рис. 1) напрямую связана со свойствами испарения топлива. При повышении температуры жидкость расширяется молекулярно и испаряется быстрее.

Характеристики печного бытового топлива приведены в табл.

Таблица

Характеристики печного бытового топлива

Показатели	Значения
Фракционный состав:	
10% перегоняется при температуре, °С, не ниже	160
90% перегоняется при температуре, °С, не выше	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	8,0
Температура застывания, °С, не выше	-15
Температура вспышки °С	116,8
Цвет	Красновато-коричневый
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	852
Зольность, % не более	0,02
Коксуемость 10 % - ного остатка, %, не более	0,35
Содержание механических примесей	отсутствует

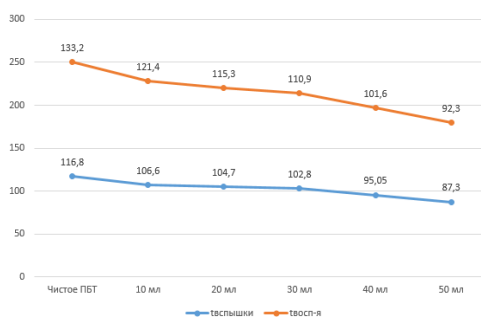


Рис. 1. Температура вспышки и воспламенения

Топливо с более низкой температурой вспышки имеет более легкие и мелкие молекулы и легче испаряется (рис. 2). Для начала горения требуется меньше энергии [3]. Стоит отметить, что при этом повышается пожароопасность топлива, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности, необходимые для безопасного обращения с ним.

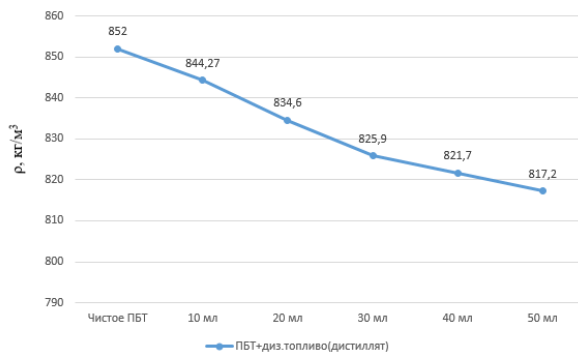


Рис. 2. Плотность

Плотность – не менее важный параметр, влияющий на качество и эффективность топлива. Плотность дизельного топлива определяется содержанием тяжелых фракций. Снижение плотности улучшает испаряемость и замедляет отложение углерода.

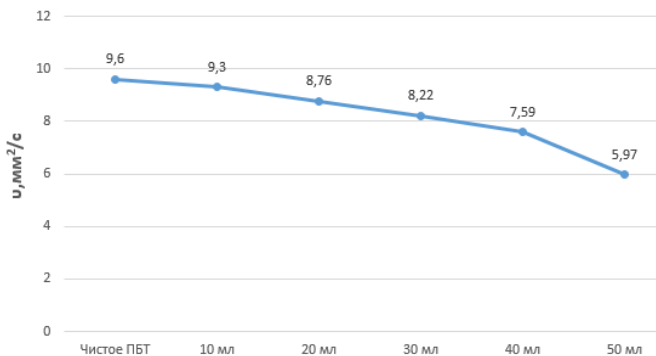


Рис. 3. Вязкость

В результате измерений при увеличении концентрации вторичного дистиллята дизельного топлива вязкость уменьшается. Использование топлива с меньшим значением вязкости увеличивает качество смешивания и не приводит к образованию крупных капель. Топливо высокой вязкости дольше испаряется и не может сгореть полностью. Дымовые газы становятся черными, более токсичными, что приводит к увеличению расход топлива.

### Литература

1. Ковальчук, А. А. Влияние вторичной перегонки на свойства печного бытового топлива и его смеси с этанолом /А. А. Ковальчук, Е. Н. Макеева // Сборник «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Материалы XXIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 частях.» – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2023. – С.255–258.

2. Патент на изобретение RU 2161175 С1. Топливо печное бытовое: № 2000115928/04 : заявл. 22.06.2000: опубл. 27.12.2000 / В. Н. Здобнов, А. А. Куприянов, А. В. Бацелев, В. М. Мороз, В. В. Якушев, А. Н. Чаговец, Т. Н. Митусова; заявитель, патентообладатель Открытое акционерное общество «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» (ВУ) – 5 с.

3. Бикбаева, Г.А. Изучение и анализ оптимальных характеристик печного бытового топлива компаундированием из остаточных нефтепродуктов / Г. А. Бикбаева, И. Р. Сафиуллина, Н. Ю. Свечникова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2010. – Т. 1., № 68. – С. 115–118.

УДК 504.06

### Улучшение воздушного бассейна Туркменистана

Мыратбердиев Я.<sup>1</sup>, Аманов М. Е.<sup>1</sup>, Мыратбердиева О. Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

<sup>2</sup> Институт телекоммуникации и информатики Туркменистана

Ашгабат, Туркменистан

*Развитие экономики Туркменистана, связанное с развитием энергетики, транспорта, нефтегазодобывающей, химической и др. отраслей народного хозяйства выдвигают и ряд приоритетных проблем загрязнения окружающей среды. В этой связи, охрана атмосферного воздуха от загрязнения промышленными, энергетическими предприятиями и транспортом приобретает особое значение. Поэтому, исследование загрязнения атмосферы вредными примесями и поиск путей его уменьшения представляет большой научно-практический интерес.*



Экологические мероприятия призывают людей осознать ценность природных ресурсов и экологических процессов, выделить угрожающие факторы окружающей среде, сформировать представления о возможных действиях, направленных на сохранение окружающей среды.

В решении экологических проблем важное значение имеет система экологического образования, направленная на сохранение природного разнообразия, красоту природных ресурсов для будущих поколений. Все это вместе взятое, конечно, способствует повышению качества жизни, поскольку подразумевают личное участие в выявлении социально-экономических причин экологических проблем, в их решении и предупреждении. Для устойчивого социально-экономического роста, соотносимого с потребностями и границами возможностей природы, необходимо обеспечить связь между экологической и экономической политикой на всех уровнях, и во всех секторах экономики. Более 80 % территории Туркменистана составляют пустыни. Аридные территории страны отличаются крайне засушливым и жарким климатом, скудными осадками и сравнительно редкой растительностью [1].

Целью научной работы является исследование загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных, энергетических и других предприятий и автотранспорта, выявления зависимости уровня концентрации загрязняющих вредных веществ от физико-географических и климатических условий, оптимизации экономически приемлемых и экологически обоснованных методов минимизации загрязнения. И как логическое завершение, разработка концепции природоохранных мероприятий, направленных на охрану атмосферного воздуха и оздоровления природной среды Туркменистана.

Охрана атмосферного воздуха от загрязнения промышленными, энергетическими предприятиями и транспортом приобретает особое значение. Через атмосферный воздух происходит загрязнение поверхностных и подземных вод, почвенного покрова, наносится непоправимый ущерб здоровью человека, животному и растительному миру и другим компонентам природной среды. Наибольшей остроты эта проблема достигла в городах, где сосредоточена почти вся промышленность и автотранспорт.

Одним из условий устойчивого развития Туркменистана - является формирование нового экологического состояния. Она включает в себя совокупность идей, взглядов, убеждений, чувств, интересов, мотиваций, настроений и переживаний, отражающих реальную практику отношений между обществом и природой.

Понимание связи между окружающей средой и проблемами развития, приводит к выбору экономически эффективных, социально справедливых, ответственных и экологически рациональных путей развития. При этом разрабатывается стратегия устойчивого развития, чтобы объединить в

единое целое политику в социальной и экологической сферах. Проблема обеспечения чистоты атмосферного воздуха приобрела для Туркменистана важное социальное государственное значение. Однако, несмотря на принимаемые меры, количество выбросов, отходящих от стационарных промышленных источников за последние годы увеличивается.

Состояние загрязненности атмосферного воздуха оценивается в Туркменистане по результатам постоянно проводимых наблюдений на промышленных предприятиях. Министерством охраны природы проводятся наблюдения за концентрацией вредных веществ, загрязняющих атмосферу. Эти наблюдения ведутся постоянно, в том числе и в крупных индустриальных городах.

Сильно загрязняющие атмосферный воздух предприятия, в большинстве случаев оснащены пыле-газоочистными устройствами. Однако ряд установок технически ненадежен, что связано с износом оборудования. Основными участниками загрязнения в Балканской области являются предприятия топливно-энергетического комплекса, включающие нефтегазопромысловые, теплоэлектроцентрали, нефтегазопереработку, а также химические предприятия. Постоянными выбросами являются легкие углеводороды, окислы азота, оксиды углерода, сажа, а также другие примеси.

Значительное количество сернистого ангидрида поступает в атмосферу при сжигании газообразного топлива с высоким содержанием серы, разведенные запасы которого в стране огромные. Сернистый ангидрид относится к главным и наиболее опасным загрязнителям воздуха, токсичен для животных и растений, участвует в образовании фотохимического смога.

В целях охраны атмосферного воздуха, предотвращения и снижения вредных химических, физических, биологических и иных воздействий на атмосферу был принят Закон Туркменистана «Об охране атмосферного воздуха».

Улучшение качества атмосферного воздуха в Туркменистане достигается с выполнением следующих мероприятий:

1. Переводятся на газовое топливо во всех предприятиях и котельных.
2. Продолжается газификация отдаленных населенных пунктах.
3. Населенные пункты разгружаются от транзитного транспорта путем строительства автодороги, т. е. строятся улучшенные асфальтированные высокоскоростные дороги.
4. Озеленяются города и примыкающие к ним территории.
5. Проводится экологическая экспертиза при проектировании строительства и реконструкции производств.

При этом основное внимание уделяется совершенствованию технологических процессов и схем, обеспечивающих резкое снижение отходящих газов вплоть до полного прекращения их выбросов в воздушный бассейн.

В стране применяются соответствующие архитектурно-планировочные решения, проводится ширококомасштабное озеленение. Для создания эффективного механизма по охране и управлению экологическими процессами, повышения качества жизни и устойчивого развития городов, создана автоматизированная система безотлагательного сбора и переработки отходов по их видам.

Ведётся строительство «умного» города, «умной» среды, «умной» жизни, «умной» экономики, «умного» транспорта и «умного» управления. В жилом комплексе обеспечиваются условия для проживания людей, в «умных» домах по мировым стандартам. В данной сфере для внедрения высокотехнологичной системы цифровизации в строительстве жилых комплексов подготовлено техническое задание и в соответствии с ним разработаны проекты по привлечению консалтинговой компании с богатым опытом.

В столице «умный» город Аркадаг был включён в проект «Развитие устойчивых, зелёных, климатически благоприятных городов с инновационными решениями в регионе ОБСЕ», что является подтверждением международного признания той большой работы, проводимой нашей страной в данном направлении.

Величественные здания, новые жилые массивы, уютные и ухоженные зелёные зоны отдыха – яркое украшение беломраморной столицы, по праву называемой архитектурной жемчужиной региона. Они являются зримым символом проводимой лидером нации прогрессивной политики, суть которой выражена в девизе «Государство – для человека!». Ибо забота о народе, о благополучии и здоровья каждой семьи была, есть и остаётся ключевым приоритетом осуществляемых в Туркменистане коренных реформ и преобразовательных программ.

Охрана окружающей среды, бережное отношение к природе, сохранение её красоты для будущих поколений являются важнейшим приоритетом государственной политики, реализуемой под руководством Президента Туркменистана. В рамках воплощении в жизнь долгосрочной Национальной лесной программы развёрнута масштабная деятельность по созданию и расширению зелёных зон. В эту работу активно вовлечён весь народ.

Городом-садом называют сегодня Ашхабад, даже в жаркие летние дни радующий глаз парками и скверами, свежестью и пышностью зелёных насаждений, живительными струями фонтанов, наполненный ароматами цветов. Раскинувшиеся по всему периметру можжевелник, лиственные и хвойные рощи являются неотъемлемой составляющей окрестностей главного города страны и предгорий Копетдага.

Новая парковая зона, протянувшаяся до Международного аэропорта столицы, станет прекрасным местом отдыха для жителей окрестных домов. Следует отметить, что лидер нации уделяет большое внимание созда-

нию надлежащих условия для отдыха горожан и гостей Ашхабада, и на превращение парков в самые посещаемые места.

В Туркменистане издаётся научно-популярный журнал «Экологическая культура и охрана окружающей среды». Она издаётся под эгидой Министерством охраны окружающей среды Туркменистана.

Интенсивно разрабатывают государственную программу по охране атмосферного воздуха, которая является составной частью разрабатываемого в настоящее время в Туркменистане Проекта Национальной программы по охране окружающей среды.

### Литература

1. Пенджиев А. М. Принципы «зеленой» экономики в Туркменистане / А. М. Пенджиев // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. № 30. – С. 22–31

УДК 628.5+504.5

#### **Метан – второй по значимости «парниковый» газ в атмосфере Земли**

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*На основании анализа литературных источников определен вклад метана в глобальное потепление на Земном шаре и сделан вывод о возможных последствиях попадания огромных масс метана в земную атмосферу.*

Метан – бесцветный газ, без вкуса и запаха, относится к простейшим по составу предельным углеводородам (химическая формула  $\text{CH}_4$ ). Из физических свойств необходимо отметить, что он почти в два раза легче воздуха, мало растворим в воде, нетоксичен, но при высокой концентрации в воздухе обладает слабым наркотическим действием и относится к четвёртому классу опасности. Другие названия метана – болотный или рудничный газ, связаны с самыми распространенными местами появления этого газа с древних времен до настоящего времени [1, с. 9].

Классификация по происхождению метана включает четыре основных источника: абиогенный – образован в результате химических реакций неорганических соединений, например, при взаимодействии карбидов металлов с водой; биогенный – образован в результате химических превращений органических веществ; бактериальный (микробный) – образован в результате жизнедеятельности бактерий (микроорганизмов); термогенный – образован в ходе термохимических процессов [2, с. 22].

Ежегодно из всех источников в атмосферу поступает около 550 млн т метана и приблизительно столько же изымается из атмосферы естественным образом. Природными источниками метана являются болота, океаны, озера, дикие жвачные животные, термиты и т.д. В части антропогенных источников – более половины объема выделяемого метана обусловлено сельскохозяйственной деятельностью: выращиванием риса, разведением скота, а также ферментацией мусора, добычей угля и т.д. Большие запасы метана сосредоточены в метаногидратах на дне морей и в зоне вечной мерзлоты [3, с. 222].

Метан является «парниковым» газом, более сильным в этом отношении, чем углекислый газ, из-за наличия глубоких колебательно-вращательных полос поглощения его молекул в инфракрасном спектре. Если степень воздействия углекислого газа на климат условно принять за единицу, то «парниковая» активность того же молярного объема метана составит 20–25 единиц [4, с. 10]. Однако, время жизни метана в атмосфере невелико (от нескольких месяцев до нескольких лет), поскольку он окисляется кислородом до углекислого газа в тропосфере под действием грозных разрядов и в стратосфере под действием ультрафиолетового излучения Солнца.

Измерения показывают, что, начиная с доиндустриального периода концентрация метана выросла примерно на 150 %, в то время как концентрация  $\text{CO}_2$  — лишь на 40 %. Поэтому роль  $\text{CH}_4$  как парникового газа постоянно возрастает.

Так, существуют оценки эмиссии  $\text{CH}_4$  с переувлажненных территорий «северной Евразии» (полностью российских) – 9 млн. т  $\text{CH}_4/\text{год}$  и «Евразии умеренных широт» (охватывающей наряду с российскими и часть земель наших южных соседей) – 2 млн. т  $\text{CH}_4/\text{год}$  [5, с. 96]. По другим расчетам, поток метана из тундры, как евразийской, так и североамериканской, составлял в 1990-х и 2000-х годах 13, и 14,7 млн. т  $\text{CH}_4/\text{год}$  соответственно [6, с. 22]. Исходя из приведенных оценок, можно заключить, что российская естественная эмиссия метана достигает величины порядка 10 млн. т  $\text{CH}_4/\text{год}$  или немного большей, однако она нуждается в уточнении из-за сохраняющихся значительных погрешностей в расчетах. Таким образом, если принять это предположение, современный общий выброс метана с территории России составляет около 35 млн. т

В последние годы широко дискутируется вопрос о возможном вкладе криолитозоны Восточной Сибири в формирование полей концентрации метана в Арктическом регионе. При этом рассматриваются несколько возможных версий эмиссии метана, а именно: а) выделение газообразного метана из газогидратов, большие залежи которых обнаружены на шельфах морей Лаптевых, Чукотского и др.; б) выделение метана, захороненного

всю многолетнюю мерзлоту, при увеличении периода и глубины ее протаивания (сюда же примыкает и версия, связанная с ролью небольших и относительно неглубоких карстовых озер, которые образовались в местах интенсивного таяния многолетней мерзлоты); в) вклад крупнейших рек Восточной Сибири в перенос растворенного метана в моря Северного Ледовитого океана [3].

Согласно принятой сегодня градации, российская область вечной мерзлоты (охватывающая примерно 2/3 территории страны) делится на три зоны – сплошную, прерывистую и островную. Сплошная зона занимает большую часть Сибири от Енисея до Берингова пролива и распространяется на юг вплоть до 44° с. ш., здесь земля постоянно заморожена на глубину нескольких сотен метров. Южнее располагается зона прерывистого массивно-островного распространения мерзлоты, которая занимает от 40 до 70% территории. Периферийный островной пояс простирается от Кольского п-ова и Архангельской обл. на европейском арктическом побережье до Северного Китая и Монголии, а также включает в себя часть Камчатки. Острова мерзлоты занимают, как правило, не более 10 % общей площади территории [3].

Приведенные данные свидетельствуют об огромных потенциальных запасах метана под вечной мерзлотой, которые при повышении температуры вызовут выброс метана в атмосферу, что будет способствовать еще более интенсивному росту температуры и мы будем наблюдать замкнутый круг, на который человечество уже не сможет воздействовать.

### Литература

1. Киселев, А. А. Ещё раз про метан / А. А. Киселев, И. Л. Король // Природа. – 2015. – № 11. – С. 9–18.
2. Ишков, А. Метан: вчера, сегодня, завтра / А. Ишков // Газпром. – 2023. – № 4. – С. 20 – 31.
3. Адушкин, В. В. Эмиссия метана в арктическом регионе и ее влияние на региональное потепление / В. В. Адушкин, В. П. Кудрявцев, Т. В. Лосева // Динамические процессы в геосферах: сб. науч. тр. ИДГ РАН. – М.: ГЕОС, 2010. – С. 220–229.
4. Бажин, Н. М. Метан в окружающей среде: аналит. обзор / Н. М. Бажин. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2010. – 56 с.
5. Калинин, Е.П. О роли атмосферного метана в глобальном климате Земли / Е. П. Калинин // Изв. Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 2(34). – С. 96–99.
6. Крейнин, Е.В., Карасевич А.М. Парниковый эффект: гипотезы, Киотский протокол, технические рекомендации / Е. В. Крейнин, А. М. Карасевич. – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – 256 с.

## **Особенности расчета системы пневмотранспорта карбамида гранулированного**

Васильчик С. О.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье описывается подробная методика, которая позволяет выполнить расчет систем пневмотранспорта для эффективной транспортировки гранулированного карбамида. Авторы провели тщательный анализ имеющихся моделей, используемых для расчета основных параметров системы пневмотранспорта сыпучих материалов.*

Пневмотранспорт является эффективной и инновационной системой перемещения различных материалов с использованием сжатого воздуха или газа. Он предлагает множество преимуществ, таких как высокая скорость и точность доставки, минимальные потери материала, автоматизация процесса и возможность работы на больших расстояниях.

Он может применяться для перевозки материалов как на короткие расстояния внутри производственных помещений, так и на длинные расстояния между различными участками производства или даже между разными зданиями.

Пневмотранспорт карбамида гранулированного, или урии, представляет собой эффективную и надежную систему транспортировки гранулированного карбамида с использованием сжатого воздуха. Карбамид гранулированный широко применяется в различных отраслях, особенно в химической промышленности и сельском хозяйстве, в качестве азотного удобрения.

Расчет системы пневмотранспорта карбамида гранулированного состоит из:

1. Определения массовой концентрации смеси.
2. Определения скорости витания и скорости транспортировки.
3. Аэродинамического расчета системы.

### **Определение массовой концентрации смеси**

Массовая концентрация смеси в расчетах пневмотранспорта — это отношение массы транспортируемого материала к массе транспортирующего воздуха. Этот параметр влияет на скорость, давление и эффективность пневмотранспорта;

$$\mu = \frac{G_M}{G_H},$$

где  $G_M$  – массовый расход транспортируемого материала;  $G_B$  – массовый расход воздуха.

Предварительный выбор значения массовой концентрации осуществляется по таблицам и экспериментальным данным или можно воспользоваться эмпирической формуле [1]:

$$\mu = \frac{a}{e^{b \cdot l_{\text{ПР}}}},$$

где  $a$  и  $b$  – параметры формулы, которые зависят от характеристики материала и приведенной длины трубопровода  $l_{\text{ПР}}$ ;  $l_{\text{ПР}}$  – приведенная длина трубопровода, м.

### **Определение скорости витания и скорости транспортировки**

Скорость транспортирования  $U_{\text{транс}}$  – минимальная скорость воздушного потока, при которой материал перемещается в трубопроводе во взвешенном состоянии без осаждения на стенках труб.

Исходя из этого, скорость транспортирования материала в вертикальных трубах должна быть больше скорости витания  $U_B$ , а в горизонтальных трубах больше скорости трогания  $U_{\text{тр}}$ .

Наиболее достоверной и приемлемой формулой скорости витания следует признать формулу В. А. Успенского [2]:

$$U_B = \sqrt{\frac{4gd_3(\rho_T - \rho_0)}{3C\rho_0}},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $d_3$  – эквивалентный диаметр частицы, мм;  $\rho_T$  и  $\rho_0$  – соответственно плотность твердой фазы и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C$  – коэффициент сопротивления частицы, зависящий от числа Рейнольдса (Re).

При концентрации частиц в суспензии более 5% они начинают влиять друг на друга. Такое перемещение называется стесненным.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет предложил метод определения коэффициента сопротивления частицы при стесненном перемещении твердых частиц

Для стесненного перемещения используют эмпирическую для определения числа Рейнольдса (Re) формуле [3]:



$$\text{Re} = \frac{Ar \cdot (1-\beta)^{4,75}}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar \cdot (1-\beta)^{4,75}}},$$

где  $\beta$  – объемная доля твердой фазы, определяемая по формуле:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\rho_{\tau}}{\mu \cdot \rho_0}},$$

где  $Ar$  – критерий Архимеда и определяется по формуле [4, с. 53]

$$Ar = \frac{d_{\text{экв}}^3 \cdot g \cdot (\rho_{\tau} - \rho_0)}{\rho_0 \cdot \nu^2}.$$

Согласно источнику [6, с. 3] для определения коэффициента сопротивления частицы может использоваться формула Адамова с относительной погрешностью около 10% в диапазоне чисел Рейнольдса от 0,1 до 200000:

$$C = \frac{24}{\text{Re}} \cdot \left( 1 + 0,065 \text{Re}^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

Определив скорость витания находим расчетную скорость движения воздушного потока в материалопроводе  $v_p$ , м/с по формуле [1, с. 239]:

$$v_p = (1,5 \dots 2) \cdot v_n,$$

где 1,5...2 – коэффициент запаса, для надежного транспортирования.

### **Аэродинамического расчета системы пневмотранспорта**

Аэродинамический расчет включает в себя:

- определение требуемого расхода воздуха;
- определение требуемого диаметра трубопровода;
- определение потерь давления;
- определение параметров воздуходувной машины.

Требуемый расход воздуха находят из формулы [1, с. 356]:

$$L_B = \frac{G_T}{\rho_0 \cdot \mu},$$

где  $G_T$  – часовой расход карбамида гранулированного, т/час.

Требуемый внутренний диаметр трубопровода рассчитывается по величине необходимого расхода воздуха [1, с. 356]:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot L_B}{\pi \cdot v}}.$$

При известной скорости транспортирования материала и диаметре уточняем расход воздуха.

При пневматическом транспортировании сжатый воздух используется для перемещения материалов через трубопроводы или каналы. Воздух создает поток, который транспортирует материалы от одного места к другому. Воздуху необходимо преодолевать определенные силы и сопротивления во время этого процесса. Вот некоторые из основных факторов, которые сжатый воздух должен преодолевать при пневматическом транспортировании:

**Сопротивление трубопровода:** Воздух должен преодолевать силы трения и сопротивления, вызванные стенками трубопровода, через которые происходит перемещение материалов.

**Гравитацию:** Если транспортировка происходит в вертикальном направлении, то сжатый воздух должен преодолевать силу тяжести, чтобы поднять материалы вверх или удерживать их на определенной высоте.

**Силу инерции:** При изменении скорости транспортировки или направления движения сжатый воздух должен преодолевать инерционные силы, связанные с перемещаемым материалом.

При расчете потерь давления в системе пневмотранспорта, методология напоминает аэродинамический расчет систем вентиляции, но существуют некоторые отличия.

Первое отличие заключается в том, что потери давления на трение во время пневмотранспортировки продукта определяются с использованием эмпирической формулы. [5, с. 37]:

$$P_{\text{тр.см}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_0 \cdot v^2}{2} \cdot (1 + K\mu).$$

где  $K$  – опытный коэффициент сопротивления аэросмеси, получивший в дальнейшем название «коэффициент Гастерштадта».

Значение  $K$  определяется экспериментально или по формулам и таблицам [1, с. 239], для различных материалов и условий изменяется в диапазоне от 0,3 до 2 при  $v = 15–35$  м/с.

Если в литературе отсутствует конкретный коэффициент, то в таких случаях может быть использован коэффициент, соответствующий близкому по характеристикам веществу.

Для карбамида гранулированного опытный коэффициент отсутствует, поэтому коэффициент принимается как коэффициент схожего по характеристикам вещества, в нашем случае можно с достаточной достоверностью принять пшено.

Пшено схоже по форме (шарообразное) и размерам ( $d_3$  пшена составляет 2,1 мм, а  $d_3$  карбамида составляет 2,65 мм), имеет схожую плотность ( $\rho_{\text{пшено}} = 1340$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{карбамид}} = 1300$  кг/м<sup>3</sup>), имеет схожую насыпную плотность ( $\rho_{\text{нас.пшено}} = 760–800$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{нас.карбамид}} = 730–790$  кг/м<sup>3</sup>).

Для предварительных расчетов рекомендуется использовать среднее значение  $K = 0,3–0,4$ . Принимаем  $K = 0,4$ .

Длина участков воздухопроводов определяется по формуле:

$$\sum l = l + l_3,$$

где  $l_3$  – сумма эквивалентных длин отвода на  $90^\circ$ , эквивалентные длины берутся по таблицам, м. [1, с. 360].

#### **Определение параметров воздуходувной машины**

Воздуходувная машина подбирается на основании значений расхода воздуха и общих потерь давления в системе.

Общие потери давления равны потерям давления, полученным при расчете установки, плюс потери давления на неучтенные сопротивления. Величину неучтенных потерь давлений принимают равной 10–15 % от суммарных потерь давления, полученных при расчете:

$$\Delta P = P \cdot 1,1.$$

Требуемый расход воздуха определяют по формуле [1, с. 397]:

$$L = L_{\text{в}} \cdot m_{k1} \cdot 3600,$$

где  $m_{k1}$  – коэффициент, учитывающий потери воздуха через загрузочное устройство [1, с. 397].

## Литература

1. Хрусталеv, Б. М. Пневматический транспорт / Б. М. Хрусталеv, Н. В. Кислов. – Минск: ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
2. Успенский, В. А. Пневматический транспорт / В. А. Успенский. – Изд. 2-е, доп. – Свердловск: Metallurgizdat, Свердловское отделение, 1959. – 231 с.
3. Расчет установок пневмотранспорта: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А. С., Брус И. Д., Тураев Н. С.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 28 с.
4. Архипов, В. А. Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде: учеб. пособие / В. А. Архипов, А. С. Усанина. – Томск: Изд. Дом ТГУ, 2014. – 252 с.
5. Сазонов, Э. В. Особенности расчета систем пневмотранспорта с учетом микроклимата помещений / Э. В. Сазонов, В. В. Шичкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 4(7). – С. 29–40.

УДК 697.3/4

### Разновидности и конструкции покрытий станций Минского метрополитена и их теплофизические характеристики

Кононов Д. А.<sup>1,2</sup>, Белениник О. И.<sup>1,2</sup>, Сизов В. Д.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup> ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены основные виды конструкций покрытий Минского метрополитена, состав конструкций их теплофизические характеристики. Рассмотрены теплофизические характеристики грунтовой засыпки и дорожных покрытий над станциями Минского метрополитена.*

Минский метрополитен является метрополитеном мелкого заложения. Состоит из 3 линий, включающих в себя 33 станции, из которых 25 колонные станции и 8 односводчатые станции. На данный момент происходит строительство и проектирование еще 2 односводчатых станций и 8 колонных станций.

**Виды покрытий станций Минского метрополитена.** Станции метрополитена располагаться в густой жилой застройке. Чаще всего располагаются под проезжими частями либо под зелеными и пешеходными зонами.

Исключением является станция Вокзальная расположенная под торговым центром «Minsk City Mall».

Покрытия станций метрополитена можно разделить по способу возведения на монолитные и из сборных железобетонных элементов. Первые станции минского метрополитена возводились из сборного железобетона, что было связано с общими тенденциями строительства в СССР. Начиная с 90-х годов началось внедрение монолитных конструкций в связи с появлением бетонных насосов и многоразовых опалубок [1, с. 18; 2, с. 56].

Покрытия станций минского метрополитена можно разделить на 3 типа по конструктивным схемам, это сводчатое покрытие рис. 1, плоское ребристое покрытие рис. 2 и плоское покрытие рис. 3. Выбор применяемой конструктивной схемы покрытия связан с глубиной и местом расположения станции, а также с архитектурно-планировочными решениями.

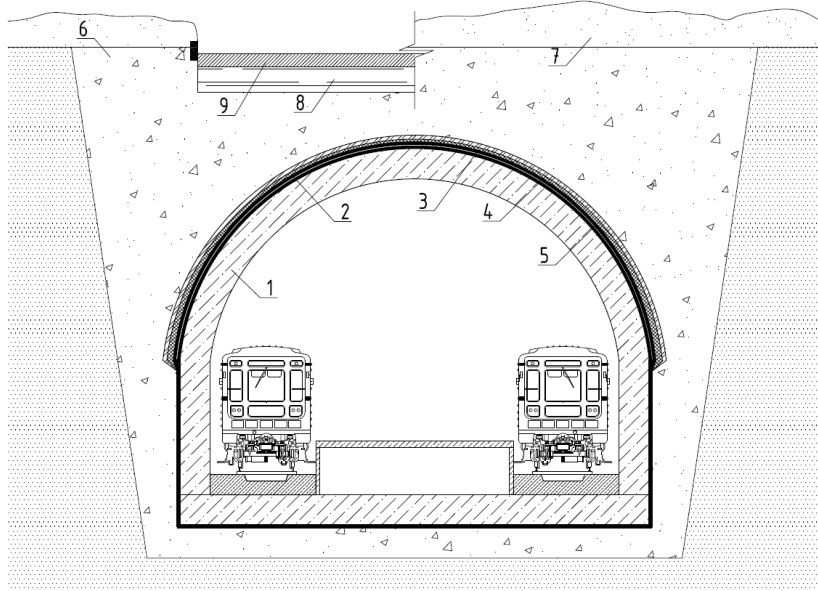


Рис. 1. Сводчатое покрытие

**Виды конструкций покрытия станций Минского метрополитена.** Покрытие станций состоит из основных конструктивных элементов: железобетонная конструкция покрытия-1, гидроизоляция-2, пароизоляция-3, утеплитель-4, защитный слой из бетона-5, насыпной грунт-6, снежный покров-7, песчаная подготовка под дорожное полотно-8, дорожная конструкция-9.

Составные части конструкций можно разделить по типу материалов на:

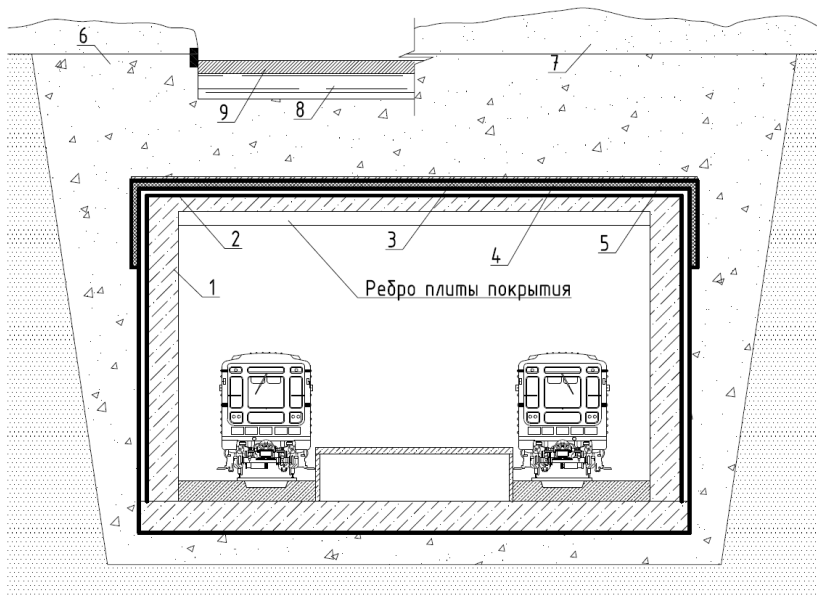


Рис. 2. Плоское ребристое покрытие

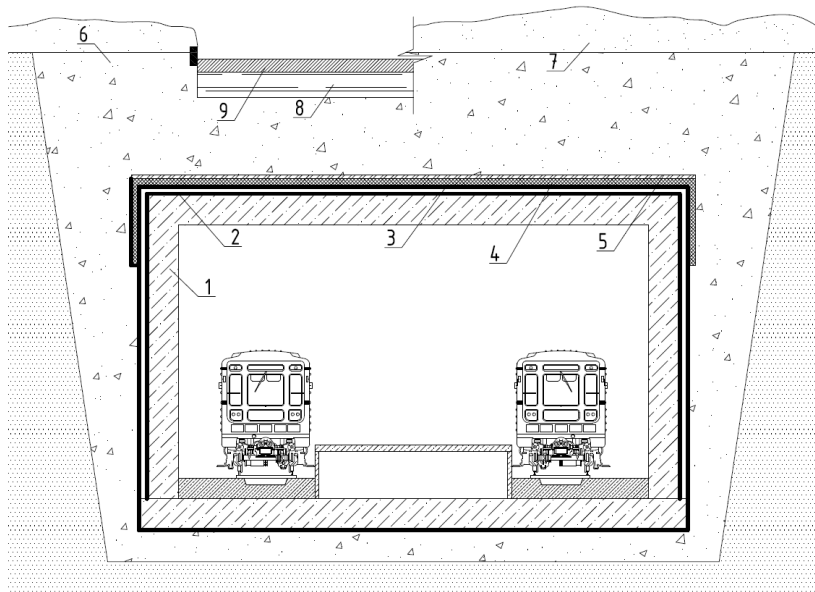


Рис. 3. Плоское покрытие

*Твердые капиллярно-пористые материалы:*

*Железобетонная конструкция.* Железобетонные конструкции покрытий выполняются из железобетона с применением арматуры S250 и S500, и бетона марки С20/30. При использовании сборных железобетонных элементов швы между ними заполняют мелкозернистым бетоном класса С20/25. Толщина железобетонной конструкции варьируется от 250 до 450 мм.

*Утеплитель.* Для утепления покрытий ранее применяли тепло- и звукоизолирующие материалы по ГОСТ 17177-87. В настоящее время применяют экструдированный пенополистирол толщиной от 60 до 80 мм [3, с. 84].

*Защитный слой из бетона.* Защитный слой из бетона необходим для защиты гидроизоляции и утеплителя от механических повреждений. Выполняется толщиной 50-100мм из мелкозернистого бетона С20/25 армированного сеткой.

*Дорожное покрытие.* Виды дорожных покрытий различаются по назначению и применяемым материалам. Для автомобильного транспорта и тротуаров виды материала варьируются от асфальтобетона до бетонной тротуарной плитки.

*Насыпные материалы либо замороженные материалы:*

*Насыпной грунт.* Для засыпки станции и выхода на проектную отметку применяют гравийно-песчаную смесь глубиной засыпки от 1,2 до 10 м.

*Снежный покров.* В городе Минске по наблюдениям ГУ «Белгидромет» снежный покров варьируется в среднем от 15 до 30мм [4, с. 152].

*Материалы в виде тонких слоев:*

*Гидроизоляция.* В качестве гидроизоляции на первых станциях применялся гидроузел, наклеенный битумными мастиками, толщиной от 4-7мм. В настоящее время применяют многослойную гидроизоляцию из геотекстиля 4 мм и гидроизолирующей мембраны ПВХ 20мм и еще одного слоя геотекстиля 4 мм.

*Пароизоляция.* В качестве пароизоляции применяется полиэтиленовая пленка толщиной 0,2 мм [5, с. 66].

**Теплофизическая характеристика состава покрытия.** Все части прорывтия станции за исключением грунта имеют легко определяемые теплофизические характеристики.

Плотность железобетонной конструкции после набора прочности при влиянии атмосферных факторов климата меняется незначительно в условиях Минска. Плотности бетонов и железобетонов различной прочности приведены в таблицах [5, с. 19; 6, с. 32]. Гидроизоляция и теплоизоляция так же не изменяют своей плотности вовремя эксплуатации и приведены в таблицах [7, с. 231].

Влажность железобетонного покрытия зависит от параметров приходящего на станцию воздуха, так как воздух является основным источником влаги в покрытии. Способность железобетона поглощать влагу зависит от пористости материала и его структуры, а также от вида декоративной отделки покрытия. Изменения влажности теплоизоляции минимальна и не должна изменяться в течении эксплуатации благодаря ее гидрозащите. Попадание влаги из грунта в большом количестве не рассматривается, так как не является эксплуатационным случаем.

Коэффициент теплопроводности и теплоемкости всех применяемых материалов покрытия имеет различное значение в разный период времени, так как теплопроводность сухого материала и с наличием влаги в виде пара или жидкости в порах значительно изменяет его. Наличие в порах покрытия воды в виде льда не рассматривается, так как не является эксплуатационным случаем. Теплопроводность и теплоёмкость материалов покрытий станции метрополитена при различных условиях представлены в таблицах [8, с. 72].

Следует учитывать, что при рассмотрении покрытий из сборных железобетонных конструкций структура покрытия неравномерна и имеет швы из бетонного раствора имеющие отличные характеристики от железобетонного элемента покрытия.

Теплофизические характеристики остальных слоев покрытия принимаем сплошными и однородными.

**Теплофизическая характеристика грунтов.** Для засыпки станций метрополитена применяют песчаные и глинистые насыпные грунты. Так как глубина промерзания грунта в городе Минске по расчёту [9, с. 2] составляет 1,2 метра, а глубина засыпки с учетом дорожного полотна минимально от 1,5 м. Грунты следует рассматривать как промерзающие и протаивающие сезонно [10, с. 23; 11, с. 44]. Теплофизические свойства грунтов зависят от их криогенной текстуры. Плотность насыпного грунта можно принять за плотность песчано-гравийной смеси.

Влажность таких грунтов нужно рассматривать как сумму из нескольких составляющих: влажность за счет ледяных включений, влажность за счет льда-цемента (порового льда), влажность за счет незамерзшей воды, содержащейся в мерзлом грунте при данной отрицательной температуре, влажность минеральных прослоек или макроагрегатов, заключенных между ледяными включениями. Влажность грунта зависит от места строительства и климатических факторов региона строительства.

Льдистость грунта рассматривается как сумма льдистости за счет ледяных включений и льда-цемента. Для насыпного грунта наличие ледяных включений маловероятно и льдистость будет формироваться за счет льда-цемента. Льдистость зависит от влажности и пористости грунта.



Засоленность грунта является отношением веса скелета частиц грунта к весу водорастворимых солей, содержащихся в грунте. Песок называется засоленным если содержание в нем водорастворимых солей больше 0,1 %.

Коэффициент теплопроводности и теплоемкости грунта напрямую зависит от типа грунта, его пористости, влажности, засоленности и льдистости. Некоторые данные о коэффициенте теплопроводности и теплоемкости насыпных грунтов при различных условиях представлены в следующих публикациях. [12; 13, с. 7; 10, с. 2; 14; 15, с. 15].

Теплофизические характеристики грунтов при нестационарных условиях изменяются в значительных диапазонах. Это необходимо учитывать при определении теплофизических свойств в срезе сезонных процессов в перекрытии станций метрополитена.

### **Выводы**

В настоящее время выработаны основные конструктивные схемы для трех видов покрытий, однако теплофизических требований в нормативных документах к ним в Республики Беларусь и в других странах не предъявляется. Данный факт является упущением и требует дополнительного уточнения.

### **Литература**

1. Калиничев, В. П. Метрополитены / В. П. Калиничев. – М.: Транспорт. – 1988. – 280 с.
2. Фролов, Ю. С. Метрополитены на линиях мелкого заложения новая концепция строительства / Ю. С. Фролов. Ю.Е. Крук. – М.: ТИМП, 1994. – 244 с.
3. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. – Изд. 2-е., переработанное и дополненное. – М.: НЕДРА. – 1975. – 568 с.
4. СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника». – Минск: – 2021. – 73 с.
5. Франчук, А. У. / А. У. Франчук. – Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. – М.: Стройиздат. – 1949. – 186 с.
6. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия. – 1977. – 356 с.
7. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства материалов / В. С. Чиркин. – М.: Государственное издательство Физико-математической литературы. – 1959. – 356 с.
8. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М. – 2012. – 26 с.
9. Леонович, И.И. Глубина промерзания грунтов-важнейший фактор водно-теплового режима земляного полотна = Depth of soil freezing-a de-

termining factor of the water-heat regime of the roadbed / И.И. Леонович, Н.П. Вырко. – Строительная наука и техника. – 2011. – № 5. – С. 27–35.

10. Лысенко, М. П. Состав и физика-механические свойства грунтов / М. П. Лысенко. – М.: «НЕДРА». – 1980. – 272 с.

11. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. – М.: Стройиздат. – 1973. – 13 с.

12. ОДМ218.2.061-2015 Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. – Москва. – 2015. – 74 с.

13. Михайлузова, Т. Н. Физические свойства теплоизоляционных материалов и конструктивные способы теплоизоляции помещений / Т. Н. Михайлузова [и др.]. Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки». – Вып. 8. – 2016. – С. 45–55.

14. Гаврильев, Р. И. Определение теплофизических характеристик мерзлых грунтов расчетным методом/ Р. И. Гаврильев, Г. П. Кузьмин. – Наука и образование. – Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2009. – № 4 – С. 52–59.

15. СНиП II-A6—72. Строительные нормы и правила. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат. – 1972. – 320 с.

УДК 697.3/4

### **Структура и виды ограждающих конструкций тоннелей Минского метрополитена и их теплофизические характеристики**

Белениник О. И.<sup>1,2</sup>, Кононов Д. А.<sup>1,2</sup>, Сизов В. Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены виды тоннелей Минского метрополитена, их конфигурация, способы прокладки и конструкции обделки, теплофизические характеристики обделки и грунтов.*

Метрополитен – это вид городского скоростного внеуличного железнодорожного транспорта, линии которого прокладываются в подземных тоннелях, по поверхности земли и на эстакадах [1, с. 5]. От других видов городского пассажирского транспорта метрополитен отличается высокой скоростью и регулярностью движения маршрутных поездов, а также большой провозной способностью. Метрополитен является наиболее эффективным видом общественного транспорта для крупных городов.

Линии Минского метрополитена прокладываются в подземных тоннелях, на мелком заложении от поверхности земли. Наземные участки сооружаются для перегона подвижных составов в электродепо для ночного отстоя, осмотра, проведения технического обслуживания и ремонта.

**Виды тоннелей Минского метрополитена.** Тоннели метрополитена – подземные сооружения железной дороги, протяжённость которых значительно превышает поперечные размеры. По назначению тоннели метрополитена делятся на перегонные, станционные, служебные ветки и пересадочные.

Перегонные тоннели соединяют станции метрополитена.

Станционный тоннель метрополитена состоит из среднего, где размещается посадочная пассажирская платформа и двух боковых тоннелей, в которых размещаются главные железнодорожные пути.

Служебные ветки предназначены для соединения между собой линий метрополитена и для связи с наземными электродепо.

Пересадочные тоннели соединяют пересадочные станции и служат для прохода пассажиров.

По глубине расположения различают тоннели метрополитена мелкого и глубокого заложения, по способу производства работ – закрытого и открытого типов.

В данной работе рассмотрим ограждающие конструкции перегонных тоннелей Минского метрополитена.

**Функции и конструкции крепи перегонных тоннелей Минского метрополитена.** При сооружении тоннелей метрополитена крепь должна служить не только ограждающей конструкцией для предотвращения обрушения окружающих тоннель грунтов и сохранения необходимых размеров поперечного сечения. Она должна сразу после ее монтажа включаться в работу, воспринимать внешние нагрузки и обеспечить максимальную гидроизоляцию тоннеля.

В практике находят применение большое число различных конструкций крепи из сборных элементов. Они обладают достаточной прочностью, коррозионной стойкостью и технологичностью. Изготовление таких крепей освоено специализированными заводами, что позволяет выпускать ее отдельные элементы с необходимой точностью и высокого качества [2, с. 87].

В тоннелях Минского метрополитена широко используются чугунные и железобетонные тубинги.

**Виды поперечных сечений тоннелей Минского метрополитена и их размеры.** Внутренние размеры поперечного сечения перегонных тоннелей на линиях метрополитенов регламентируются габаритом проезда в тоннеле, но также, как и внешние размеры поперечного сечения, зависят от спо-

соба прокладки тоннелей и вида проходческих щитов. По конструкции различают перегонные тоннели метрополитена со сводчатой обделкой тоннеля и тоннели с плоскими перекрытиями. Обделки перегонных тоннелей метрополитена – замкнутые конструкции – выполняются сборными из железобетонных или чугунных тубингов.

Для безопасного обслуживания тоннеля метрополитена предусматривается пешеходная дорожка с одной его стороны.

Участки тоннелей прямоугольного сечения сооружаются только открытым способом, прокладка конструкций осуществляется в котлованах. Данные участки встречаются при въезде и выезде в перегонный тоннель со станции метрополитена, а также в перегонных тоннелях в местах установки притоннельных сооружений, таких как водоотливные установки, венткамеры тоннельной вентиляции и др. Также прямоугольные сечения перегонных тоннелей сооружаются в местах, где невозможна подземная щитовая проходка.

Тоннели круглого сечения образуются при строительстве закрытым способом, не нарушая целостности земляного покрова с помощью проходческих щитов. При строительстве тоннелей с помощью немеханизированного проходческого щита ЩН-1 внешний диаметр тоннеля составляет 5,5 м, внутренний – 5,1 м. Сборка отделки ведется вручную из железобетонных или чугунных тубингов. Щит выполняет роль временной опоры, предотвращая обвал грунтов, пока ведется установка постоянных опорных конструкций. После завершения монтажа кольца отделки, щит отталкивается от него с помощью домкратов для дальнейшего бурения почвы режущей головкой. Проходка тоннелей немеханизированным щитом является тяжелым и трудоемким процессом. В среднем за сутки удается собрать одно кольцо отделки из тубингов.

Проходка тоннелей механизированным щитом «Алеся» минимизирует ручной труд. «Алеся» – единственный механизированный проходческий комплекс в Беларуси. С 2016 года активно используется при проходке тоннелей Минского метрополитена. Практически все операции выполняются оператором с пульта управления. Грунт разрабатывается резами на рабочем органе щита. Для размягчения грунта через отверстия подается суспензия под высоким давлением. Далее разработанный грунт подается на конвейерную ленту, а с нее — на вагонетки и вывозится за пределы щита. В то же время к блокоукладчику щита доставляются железобетонные тубинги для укладки кольца [3; 4]. После монтажа кольца щит отталкивается от него домкратами тем самым плотно прижимая кольца друг к другу и продвигая режущую головку щита. Внешний диаметр тоннеля при данном способе проходки составляет 6,28 м, внутренний – 5,4 м. Толщина железобетонных тубингов составляет 0,3 м. Для заполнения пустот между обделкой и грунтом в отверстия в тубингах подается тампонажный раствор.

**Перегонный тоннель с обделкой из железобетонных и чугунных блоков.** Железобетонные блоки используются при проходке тоннелей как механизированным, так и немеханизированным щитом. Данная обделка может выполняться как из ребристых блоков, так и из сплошных, в зависимости от вида грунта, в котором выполняется обделка. Ребристые блоки (рис.1) применяются в песках, между собой тубинги стягиваются болтами, межблочные стыки заполняются быстросхватывающейся уплотняющейся смесью, расширяющейся при твердении. При застывании проникает во все микротрещины, образует монолит и создает плотную водонепроницаемость. Дополнительно стыки тубингов обвариваются арматурой.

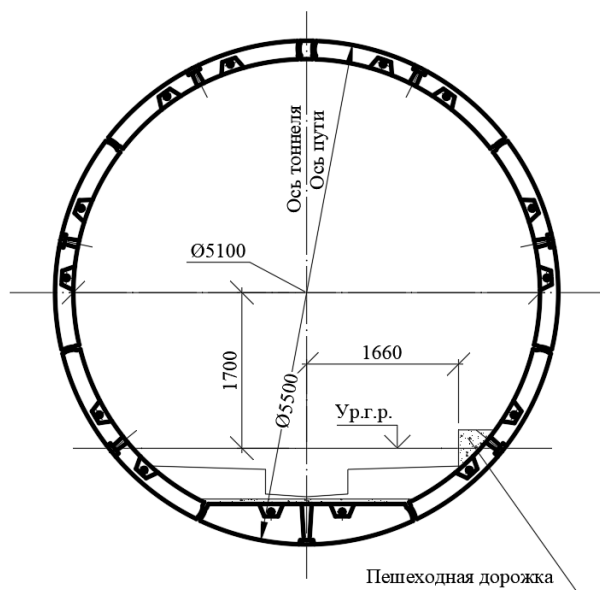


Рис. 1. Обделка тоннеля из железобетонных ребристых блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

Сплошная железобетонная обделка (рис.2) используется в несыпучих грунтах. Тубинги крепятся друг к другу болтами, а стыки между кольцами герметизируются с помощью резиновых прокладок, плотно прижимаемых друг к другу во время прижатия колец обделки домкратами щита.

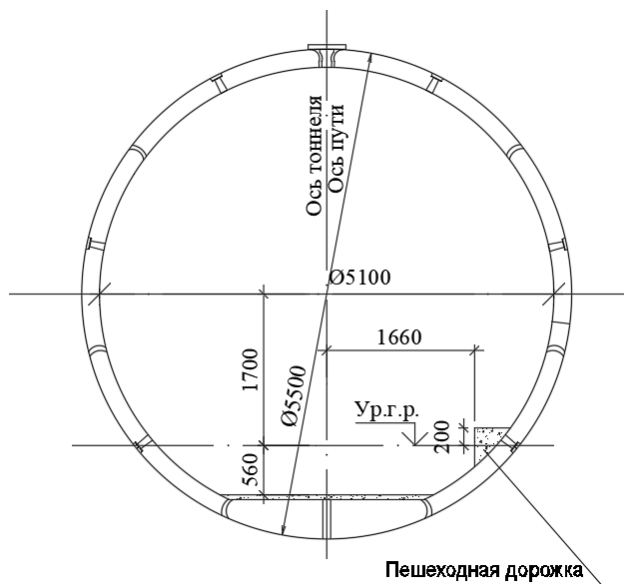


Рис. 2. Обделка тоннеля из железобетонных сплошных блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

Обделка из чугунных блоков (рис.3) используется в обводненных грунтах. Блоки крепятся друг к другу болтами, а стыки между кольцами заполняются быстросхватывающейся уплотняющей смесью и чеканятся свинцовой проволокой обеспечивая тем самым полную герметизацию тоннеля.

#### **Теплофизические характеристики обделки тоннелей и грунтов.**

Основными теплофизическими характеристиками материалов являются теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность. Теплопроводность – способность материала проводить тепло. Она зависит от влажности, температуры, пористости и структуры материала.

Структура обделки 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.

Плотность и структура материала обделки в процессе эксплуатации практически не изменяется. Изменение влажности зависит от параметров наружного воздуха, подаваемого в тоннель тоннельной вентиляцией.

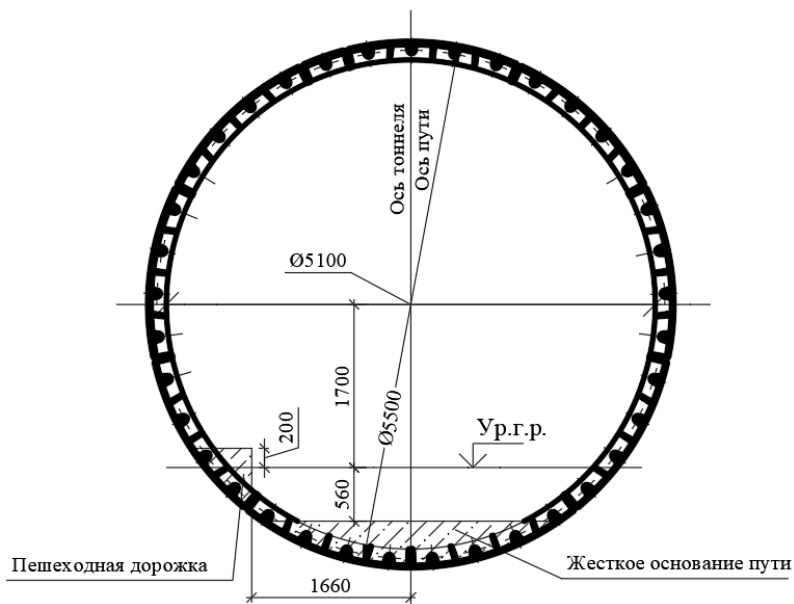


Рис. 3. Обделка тоннеля из чугунных блоков.  
Ур.г.р. – уровень головки контактного рельса.

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

Значение теплофизических характеристик материалов строительных конструкций обделки тоннелей при различных их температурных и влажностных состояниях можно определить по таблицам [5, с. 38–49].

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

Для решения данной задачи необходимо проводить экспериментальные исследования теплофизических свойств грунтов в г. Минске.

### Выводы

Так как метрополитен является подземным сооружением, важной задачей является обеспечение комфортного температурно-влажностного режима на станциях. Пассажирские платформы станций вентилируются с помощью тоннельной вентиляции. Воздух, забираемый с улицы, проходящий через тоннель и поступающий на станцию в холодный период года

должен иметь температуру +10 °С. Нагрев воздуха происходит за счет ассимиляции теплопоступлений в тоннель, в том числе от грунта. 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. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 568 с.
2. Эткин, С. М. Сооружение подземных выработок проходческими щитами / С. М. Эткин, В. М. Симоненко – М.: Недра, 1980. – 303 с.
3. Цейко, М. Г. Проходка тоннелей механизированными щитом «Алесья» / М. Г. Цейко; науч. рук. В. А. Ходяков // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений: материалы VII Международной студенческой конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (пред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 161–163.
4. Цейко, М. Г. Новые конструкции тоннелей метро. Проходка тоннелей щитовым методом / М. Г. Цейко; науч. рук. В. А. Ходяков // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Международной научно-технической конференции: материалы Международной научно-технической конференции / сост.: С. Н. Соболевская, Е. М. Жуковский. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 301–305.
5. СП 2.04.01-2020 Строительная теплотехника – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2021. – 76 с.

УДК: 502.174

### **Экологические предпосылки диверсификации энергии для городов Таджикистана**

Шарипова Н. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены актуальные экологические предпосылки диверсификации системы энергоснабжения городов Таджикистана, как важнейшей задачи обеспечения энергетической безопасности страны в контексте национальных программ правительства Республики Таджикистан. Использование экологически возобновляемых источников энергии, диверсификация и локализация систем энергоснабжения путем внедрения «зеленой энергетики» и реализации концепции «зеленый» город представляется лучшим подходом к формированию энергетических систем будущего.*



После промышленной революции мировое потребление энергии резко возросло, фактически в геометрической прогрессии, и эта тенденция роста потребления энергии ускоряется внутренними и внешними факторами, включая улучшение качества жизни, индустриализацией развивающихся стран и ростом численности населения, особенно в городах [1, с. 48]. На сегодняшний день более 50% населения мира проживает в городах, и ожидается, что к 2050 году эта цифра может вырасти до 70%. Эту тенденцию можно во многом объяснить экономическими и социальными причинами, поскольку города предлагают своим гражданам новые возможности для жизни, образования, безопасности. Однако поддержка этой деятельности требует значительных дополнительных ресурсов, что приводит как к локальному, так и к глобальному загрязнению окружающей среды. Современные города являются местами концентрации населения, производства и транспорта, они потребляют более 75% энергии, 60% запасов воды на планете. Несмотря на то, что города занимают менее 3% поверхности Земли, они причина 60% эмиссий парниковых газов [2].

Мировое сообщество сталкивается с серьезным энергетическим кризисом, особенно после 2021 года, из-за постпандемического восстановления экономики и сокращения производства возобновляемой энергии, вызванного климатом. Это привело к огромному давлению на мировой энергетический рынок, справиться с которым ученые предлагают при помощи новых технологических инноваций, служащих эффективным средством смягчения как энергетического, так и экологического давления. Многие страны, столкнувшись с риском и неопределенностью, присущими социальному и экономическому развитию, приняли стратегию диверсификации энергоснабжения в своей политике энергетической безопасности, чтобы контролировать риски и затраты на импорт энергии, чтобы гарантировать возможность получения достаточного количества энергии по доступному уровню цен. Диверсификация помогает энергетической системе реагировать на внешние изменения и потрясения, а также может снизить уязвимость одного источника энергии перед непредвиденными ситуациями.

Фактически, каждая энергетическая система, включая возобновляемые источники энергии и альтернативные виды топлива, оказывает свое уникальное негативное воздействие на окружающую среду. Доминирование одной энергетической системы неизбежно приводит к чрезмерной нагрузке и, в конечном итоге, к ослаблению определенного аспекта окружающей среды и может вызвать экологические проблемы, необратимый ущерб или даже катастрофу, если оказывать избыточные нагрузки слишком долго. Это неизбежно создает риск для окружающей среды и здоровья людей. Именно так обстоит дело с современными энергетическими системами в республике Таджикистан, основанными на ископаемом топливе. По-

настоящему устойчивое развитие в малых и больших городах Таджикистана может быть достигнуто за счет диверсификации и локализации энергетических источников и систем, тогда неблагоприятное воздействие каждой энергетической системы достаточно мало и находится в пределах допустимого воздействия на окружающую среду. Диверсификация и локализация энергии также обеспечат энергетическую безопасность страны, что является очень важным в нынешних реалиях.

Проведенный анализ литературных источников [3, с. 1145–1178; 4; 5; 6, с. 1114–1123; 7] выявил то, что энергетическая безопасность является часто обсуждаемым, но редко разрабатываемым компонентом экологической безопасности и устойчивости общества. Ее важность возросла благодаря исследованиям, но остаются вопросы относительно того, что именно представляет собой энергетическая безопасность на уровне региона по сравнению с глобальной и национальной безопасностью. В целом энергетическая безопасность воспринимается через многоступенчатую призму сокращения выбросов, снижения зависимости от ископаемых источников, диверсификации поставок энергии, обеспечения безопасности энергетических маршрутов, строительства резервуаров для сжиженного газа, модернизации линий электропередачи, а также экономического анализа улучшений городской инфраструктуры, которые приводят к снижению потребления энергии. Примером может служить использование интеллектуальной системы уличного освещения на светодиодах (LED) [8].

Диверсификация энергии является важнейшим средством обеспечения безопасности энергоснабжения. Увеличивая энергетическое разнообразие, энергия, полученная из чистых природных источников, способствует безопасности энергоснабжения [9, с. 733–741; 10, с. 1375–1387; 11]. Если одна энергетическая система будет доминировать в течение длительного периода времени, в данном случае это крупные и малые ГЭС на территории Таджикистана, это неизбежно создаст чрезмерную нагрузку на окружающую среду и ослабит ее, как это происходит в настоящее время. Если это происходит часто, это может привести к усталости окружающей среды, сбоям или даже катастрофе, которая может представлять риск не только для поставок, но также для здоровья человека и окружающей среды.

В отчете министерства энергетики и водных ресурсов республики Таджикистан указано: в целях освоения и использования возобновляемых источников энергии на территории Республики Таджикистан и повышения энергообеспечения населения отдаленных и высокогорных районов, повышение экономической и энергетической эффективности вводимых в работу малых электростанций и создание условий по оперативному обслуживанию существующих малых электростанций, их ремонту, а также возможному производству оборудования для ГЭС в Таджикистане, Прави-

тельством Республики Таджикистан принято Постановление № 795 от 30 декабря 2015 года [12] о «Программе освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020 годы». Согласно этой Программе, к 2020 году были построены 64 малых ГЭС общей установленной мощностью от 5 до 10000 кВт.

В Национальной стратегии развития Таджикистана до 2030 года в энергетической части определены основные индикаторы – **10/10/10/10-500**, что обозначает увеличения установленной мощности генерации до 10 ГВт, снижение технических и коммерческих потерь в сетях до 10%, увеличение экспорта электроэнергии до 10 млрд. кВт. час в год, диверсификация источников энергии на 10% и дополнительное получение более 500 млн. кВт. час в год за счет возобновляемых источников энергии и применения энергоэффективных технологий [13].

Таджикистан обладает огромными запасами гидроэнергетических ресурсов, которые оцениваются в 527 млрд. кВт.ч. в год [13]. Сегодня около 90% электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях. Тем не менее, правительство Республики Таджикистан работает над последующими планами развития энергетики в стране. Программы предусматривают увеличение к 2030 году доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем энергобалансе страны до 11 %. Из них 5 % будет составлять солнечная, 3% ветреная и 2,8 % иные возобновляемые источники. Эта задача уже потихоньку реализуется. В прошлом году в Хатлонской области была введена в строй первая фотоэлектрическая станция. В Нурабаде уже началось строительство первого ветрогенератора. Параллельно реализуются проекты по развитию гидроэнергетики, соответственно.

Таджикистан на сегодняшний день делает большие ставки на «зеленую энергетику». В данный правительственный сектор вложена немалая доля иностранных инвестиций [14]. Можно ожидать, что в дальнейшем возобновляемые источники энергии станут ключевым элементом энергосистемы страны. Это один из приоритетов политики диверсификации энергии. Однако, нельзя ограничиваться лишь «зеленой энергетикой». Поэтому на повестку поставлен вопрос эффективного использования других источников электроэнергии для удовлетворения нужд населения. соответственно, Республика Таджикистан не может полностью отказаться от гидроэлектрических (ГЭС) и тепловых электростанций (ТЭС). Сейчас они вырабатывают почти 97 % энергии в стране. К 2030 году планируется снизить этот показатель до 85 %. Тем не менее, в некоторых районах строятся новые гидроэлектрические и тепловые электростанции. Потому что в этом есть необходимость. Например, в прошлом году в Айнийском районе была введена в эксплуатацию «ГЭС Айни». ГЭС удовлетворяет потребность сотни домохозяйств и предприятий.

В 2018 году было проведено исследование [15] в трех областях республики. Тогда население и предприниматели жаловались на постоянные отключения электроэнергии. Это было проблемой номер один для них. Зимой во многих районах электричество подавалось не более чем на 6-8 часов в сутки. Осенью 2022 года был проведен повторный опрос. На сей раз население почти не упоминали об отключениях электричества. И это благодаря строительству большого количества крупных и малых электростанций. По данным Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, в скором планируется построить еще две крупные ГЭС в Шурабе (850 МВт) и Санабаде (200МВт). Эти инвестиционные проекты безусловно будут способствовать сокращению энергодефицита в стране.

Таким образом, в Таджикистане ведется последовательная работа по созданию, обновлению и развитию как традиционной (тепловые и гидроэлектростанции), так и альтернативной (солнечной, ветровой) электроэнергии [15]. Но реальные меры для перехода на альтернативные источники энергии предпринимаются только сейчас. Тем не менее Таджикистан стремительно идет по пути «озеленения» энергетики, т.к. разного уровня экологические проблемы, природно-климатические условия не оставляют нам другого выбора. Стремление Таджикистана к «зеленому росту» во благо будущих поколений вызывает стремление всевозможными тенденциями способствовать этому. Однако «зеленые технологии» стоят немалых денег. Достижение углеродной нейтральности и резкое сокращение количества токсичных выбросов в атмосферу обойдется Таджикистану в большие суммы инвестиций и внешних заимствований. Несмотря на это Таджикистан намерен к 2050 году довести долю возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе до 70 %.

Концепция энергоэффективного, «зеленого» города в условиях Таджикистана опирается на такие характеристики как: высокое качество экологических активов (воздух, вода, земля/почва, биоразнообразие), эффективное использование ресурсов (вода, энергия, земля и материалы), смягчение рисков и адаптация к угрозам, связанным с изменением климата [16, с. 93–100]. В «зеленом» городе углеродная нейтральность достигается за счет снижения использования горючего топлива, повышения энергоэффективности, сокращения количества отходов, а также реализации мер по поглощению углеродных выбросов. В этом плане диверсификация и локализация энергетических систем, как например, в финском городе Вуорес (Vuores) (рис.) являются лучшим подходом к формированию энергетических систем будущего. Данный экологически совместимый подход позволит обеспечить устойчивое развитие, а также энергетическую безопасность в республике Таджикистан, способствуя достижению энергетических целей правительства.



Рис. Пример диверсификации системы энергоснабжения в жилом районе Koukkuranta (530 жилых единиц) в г. Vuores, Финляндия

### Литература

1. Зорина, Т. Г. Формирование стратегии устойчивого энергетического развития / Т. Г. Зорина. – Минск: Мисанта, 2016. – 332 с.
2. Rethinking Urban Sprawl: Moving Towards Sustainable Cities [Электронный ресурс]. – OECD Publishing, Paris, 2018. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264189881-en>. – Дата доступа: 08.04.2024.
3. Zafar, M. W. From nonrenewable to renewable energy and its impact on economic growth: the role of research & development expenditures in Asia-Pacific Economic Cooperation countries / M. W. Zafar, M. Shahbaz, // Journal of Cleaner Production. – 2021. Vol. 350. – P. 1145–1178.
4. The International Energy Agency. Energy Security Refers to the Uninterrupted Availability of Energy Sources at an Affordable Price [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea.org/topics/energysecurity/>. – Дата доступа: 08.04.2024.
5. Boyle, R. Global trends in renewable energy investment [Электронный ресурс] / R. Boyle // Bloomberg New Energy Finance – 2019. – Режим доступа: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf>. – Дата доступа: 08.04.2024.
6. Gorb, O. Strengthening competitiveness of the national economy enhancing energy efficiency and diversifying energy supply sources / O. Gorb // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2021. – № 11 (5). – P. 1114–1123.

7. The Organization of the Petroleum Exporting Countries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.opec.org/opec\\_web/en/about\\_us/23.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/23.htm). – Дата доступа: 08.04.2024.
8. Renewable energy – powering a safer future [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org/ru/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>. – Дата доступа: 08.04.2024.
9. Bhattacharya, M. The effect of renewable energy consumption on economic growth / M. Bhattacharya, S. R. Paramati, N. Apergis, M. Ummalla // *Appl. Energy*. – 162 (2016). – P. 733–741.
10. Paramati, S. R. Dynamics of renewable energy consumption and economic activities across the agriculture, industry, and service sectors: evidence in the perspective of sustainable development / S. R. Paramati, N. Apergis, M. Ummalla // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 25 (2) (2018). – P. 1375–1387.
11. Apergis, N. Renewable energy consumption and growth in Eurasia / N. Apergis, J. E. Payne // *Energy Econ.* – 2010. – Vol. 32, № 6. – P. 1392–1397.
12. Программа освоения возобновляемых источников энергии и строительства малых гидроэлектростанций на 2016-2020 годы [Электронный ресурс]. Постановление № 795 от 30 декабря 2015 года // Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. – Режим доступа: <https://www.mewr.tj/>. – Дата доступа: 08.04.2024.
13. Национальная стратегия развития республики Таджикистан на период до 2030 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/National\\_Development\\_Strategy-2030.pdf](https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/National_Development_Strategy-2030.pdf). – Дата доступа: 08.04.2024.
14. Обзор энергетического сектора Таджикистана в 2022 году [Электронный ресурс] // *International Energy Agency*. – Режим доступа: [https://read.oecd-ilibrary.org/energy/tajikistan-2022\\_13412889.htm](https://read.oecd-ilibrary.org/energy/tajikistan-2022_13412889.htm). – Дата доступа: 24.05.2024.
15. Генеральный план развития энергетического сектора – заключительный отчет. Региональный проект по передаче электроэнергии – Улучшение операционной деятельности сектора. Грант АБР №: 0213-TAJ от февраля 2017 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/Plan\\_razv\\_enrgo\\_tom1.pdf](https://mewr.tj/wp-content/uploads/files/Plan_razv_enrgo_tom1.pdf). – Дата доступа: 08.04.2024.
16. Сысоева, В. А. Подходы к проектированию и нормативному регулированию зеленых городов / В. А. Сысоева // *Архитектура: сборник научных трудов*. – 2019. – Вып. 12. – С. 93–100.

УДК 621.6; 62.9; УДК 697.9; 621.638

**Обоснование создания дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 с целью обеспечения качества технического диагностирования газгольдеров**

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

*В статье представлены современные требования поддержания высокого уровня промышленной безопасности при дегазации газгольдеров в газовой отрасли Республики Беларусь. Обеспечение безопасного выполнения газоопасных работ, а также необходимость подготовки внутренней поверхности газгольдеров для технического диагностирования и ремонта требует внедрения в газоснабжающих организациях новых энергоэффективных и экологических производственных процессов и оборудования. Описаны функциональные назначения и достоинства разработанного дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450.*

Как известно, длительная эксплуатация оборудования, применяемого в газовой отрасли, приводит к деградации металла, при этом повышается предел текучести, снижаются показатели пластичности. Деградация металла, например, газгольдеров, при длительной эксплуатации, неудовлетворительном техническом состоянии увеличивает вероятность частичного или полного разрушения конструкций, в связи с чем, особую актуальность приобретает необходимость решения вопросов обеспечения надежности эксплуатации газгольдеров за счет повышения качества технического диагностирования. При этом, с увеличением срока службы технологического оборудования сокращаются промежутки его межпериодного обслуживания.

Надежность резервуаров определяется, в первую очередь, свойством его конструкции выполнять функции приема, хранения и отбора из него нефти и нефтепродуктов при заданных технических параметрах. Оценка уровня надежности и долговечности газгольдеров и его элементов проводится по установленным параметрам конструкции, которые определяются технической документацией. Определенными критериями, характеризующими эксплуатационную надежность газгольдеров, являются:

— работоспособность газгольдера – техническое состояние, при котором емкость хранения СУГ способна выполнять свои функции без отклонений от параметров сосуда работающего под давлением, установленных согласно техдокументации. Для поддержания его работоспособности

необходимо организовывать и выполнять в установленные сроки профилактику, раннюю диагностику дефектов, техническое освидетельствование, а также при необходимости и текущие и капитальные ремонты;

— безотказность работы газгольдера – свойство газгольдера и его элементов сохранять работоспособность без вынужденных перерывов в работе. Вероятность безотказной работы служит количественным показателем надежности (критерий прочности, устойчивости и выносливости);

— долговечность газгольдера и его элементов – свойство конструкции сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Показателем долговечности может служить ресурс или срок службы.

Количественная и качественная оценка технического состояния газгольдеров и устранение выявленных дефектов повышает их надежность при эксплуатации. Обоснованную оценку можно получить только на основании комплексной проверки, включающей в себя дефектоскопию сварных соединений, проверку качества металла, контроль толщины стенок отдельных элементов, геометрической формы и др.

Выявление и оценка степени опасности дефектов с научной точки зрения остаются достаточно сложной задачей, требующей многочисленных исследований в первую очередь внутренней поверхности газгольдера.

При этом, регламентирующие нормативно-технические документации [1; 2] по методам и средствам неразрушающего контроля учитывающие развитие существующих дефектов не имеют широкого распространения в области дефектоскопии в силу сложности исполнения и высоких экономических затрат проведения контроля. Тем самым задача, обнаружения развивающихся дефектов, является актуальной как с научных, так и с технических позиций. Зачастую обеспечение безопасной эксплуатации опасных производственных объектов, на которых используются газгольдеры, остается недостаточной, и основными сдерживающими факторами являются низкий уровень применения методов, выявляющих развивающиеся типы дефектов, а также качественная дегазация и подготовка металлической поверхности к дефектоскопии.

Таким образом, в целях обеспечения безопасного выполнения работ на объектах газоснабжения, необходимо периодически проводить техническое диагностирование и освидетельствование технологического оборудования с применением средств дегазации. В связи с этим особое значение приобретает повышение эффективности дегазации данного оборудования до начала проведения работ, с целью обеспечения безопасного выполнения газоопасных работ и возможности применения диагностических приборов, выполненных в невзрывобезопасном исполнении. Дегазационная подготовка оборудования в настоящее время является обязательной и проводится с



оформлением наряда-допуска и применением специализированного оборудования и технологий дегазации.

При этом в основу цели исследования положен поиск и разработка конструкции наиболее эффективного технологического оборудования и способа дегазации, обеспечивающей минимизацию затрат энергоресурсов на этот процесс, с возможностью снижения вредных выбросов в окружающую среду [3], так как проведение дегазации связано со значительным выделением различных химических газообразных веществ, содержащихся в остатках газгольдеров.

Внедрение современных энергоэффективных и экологичных технологий в связке с новым технологическим оборудованием обеспечат поддержание высокого уровня промышленной безопасности на объектах газораспределительной системы.

Авторами выполнен анализ современных технологий и оборудования, применяемых для дегазации и поддержания высокого уровня промышленной безопасности в газовой отрасли и разработано дегазационно-вентиляционное устройство ДВУ-ФС-1/450, вид которого и конструктивные особенности представлены на рис.

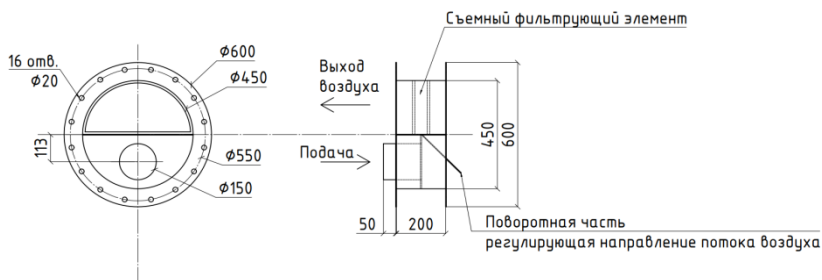


Рис. Схема дегазационно-вентиляционного устройства

Основные принципы, отраженные в разработанной конструкции, с учетом особенностей применения и критериев качества дегазации обозначены в следующем. В процессе дегазации газгольдера методом принудительной вентиляции используются приводные устройства – вентиляторы, оборудованные электромотором. Последний обязательно должен иметь взрывозащищенный корпус. Для подачи атмосферного воздуха в сосуд монтируются трубопроводы, причем их конструкция выполнена из искробезопасных материалов – брезент или бельтинг и ПВХ материал.

Особенностью дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 для дегазации газгольдера является:

– для подачи воздуха используются специальные крышки люка **газгольдера**, на которых устанавливается ДВУ-ФС-1/450 с воздухопроводами, данная конструкция обеспечивает герметичность блока прохождения воздухопровода и технологического процесса дегазации;

– атмосферный воздух подают на скорости различных скоростях начиная с 2 м/с, при этом максимальный напор зависит от концентрации паров в газгольдере;

– в ходе предварительных исследований определено, что на скорости от 1 м/с и ниже дегазация газгольдера должна запрещаться, ввиду скопления большого объёма взрывоопасных веществ с повышенной плотностью в системе отвода дегазационного устройства.

### **Выводы**

Для повышения уровня эффективности и экологичности работ по дегазации, появилась необходимость более детального изучения вопросов, связанных с изучением тепло-массообменных и вентиляционных процессов в зоне ведения дегазационных работ. Детальное изучение данных процессов распределения тепловой, вентиляционной и газовой динамики при применении различных технологических процессов и оборудования, позволило определить наиболее современные и эффективные пути научно оправданных технологий дегазации.

### **Литература**

1. О промышленной безопасности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2016 г. № 354-З: в ред. от 10 дек. 2020 г. № 66-З : в ред. от 28 мая 2021 г. № 114-З : с изм. и доп. от 28 дек. 2023 г. № 324-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.

2. Об утверждении правил по обеспечению промышленной безопасности при добыче нефти и газа [Электронный ресурс] : постановление министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 22 нояб. 2013 г. № 55: в ред. от 16 марта 2015 г. № 9 : с изм. и доп. от 29 дек. 2017 г. № 55 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

3. Burlutskii, E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling / E. Burlutskii // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019 – Vol. 62. – P. 294–301.

## Коррозия трубопроводов

Пехота А. Н., Хрусталева Б. М., Пристромова К. С.  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

*Описаны основные методы защиты трубопровода от коррозии. Проведен анализ актуальных зарубежных исследований влияния коррозии на поверхность стальных трубопроводов.*

Трубопроводы являются неотъемлемой частью инфраструктуры промышленных предприятий и играют ключевую роль в транспортировке различных сред. Срок службы трубопровода определяется скоростью коррозии. Разрушение вследствие коррозионного износа инженерных сетей влечет за собой финансовые потери и представляет угрозу экологии, безопасности труда, ухудшает качество транспортируемого продукта. Опасность развития коррозии трубопроводов состоит в уменьшении прочности, потери объема материала, ухудшении эффективности, возможности аварий, затратах на ремонт и замену. Также коррозионному поражению подвержены ответственные элементы систем: регулирующие и запорные устройства.

Существуют следующие способы защиты трубопроводов от коррозии:

- пассивный (использование особых методов укладки магистральной, нанесение защитных покрытий);
- активный (электрохимическая защита трубопроводов от коррозии);
- уменьшение агрессивности среды.

*Методы пассивной защиты трубопроводов*

Пассивная защита трубопроводов от коррозии – популярный метод, который применяется для подземных магистралей.

Существует три разновидности такой защиты:

- особый способ укладки. Защита подземных трубопроводов от коррозии производится на стадии монтажа системы. Между почвой и металлической поверхностью трубы оставляется воздушный зазор, который препятствует воздействию грунтовых вод, солей и щелочей, которые находятся в земле. Для большей эффективности используют дополнительные методы защиты;
- нанесение антикоррозийных покрытий. Внешняя поверхность труб окрашивается составами, которые не разрушаются от воздействия почвенных солей и щелочей. Яркий пример – грунтовка труб и последующая их

покраска алкидными эмалями или нанесение мастики на металлическую поверхность;

– обработка специальными химическими составами. Трубопровод покрывают тонким слоем фосфатов, которые образуют защитную пленку на поверхности изделий.

#### *Методы активной защиты трубопроводов*

Активная защита трубопроводов от коррозии – это комплекс методов, в основе которых используется электрический ток и электрохимические реакции ионообменного типа:

– электродренажная защита трубопроводов от коррозии. Это комплекс мероприятий, который позволяет бороться с блуждающими токами – установка дренажной защиты, изоляция фланцев и установка электроэкранов;

– анодная защита от коррозии трубопроводов. Принцип действия основан на использовании магниевых анодов, которые под действием электрических токов выделяют ионы магния, замедляя процессы разрушения металла;

– катодная защита трубопроводов от коррозии. Метод основан на явлении катодной поляризации металлов под действием постоянного тока. Объект воздействия превращается в катод с низким потенциалом, что исключает вероятность возникновения коррозии.

Предыдущие исследования коррозии переменного тока изучали эффекты различных влияющих факторов. Однако наблюдается отсутствие всесторонних и систематических исследований, которые могли бы обеспечить целостное понимание механизма коррозии переменного тока, систематически рассматривая все потенциальные влияющие факторы. Отсутствие такого исследования создает проблемы при объединении результатов прошлых исследований, поскольку часто входные переменные определяются по-разному и/или выходные значения измеряются по-разному. Таким образом, простое обобщение коллективных знаний о коррозии переменного тока может привести к вводящим в заблуждение выводам [1].

#### *Уменьшение агрессивности среды*

В нефтегазопроводах при добыче углеводородов на внутреннюю поверхность магистральной трубы оказывает сильное разрушающее воздействие вода и агрессивные химические примеси. Для уменьшения активности среды используется ингибиторная защита от коррозии трубопроводов. Эффект достигается благодаря введению в агрессивную среду веществ-ингибиторов, которые вступают в реакцию с молекулами примесей и блокируют их разрушающее воздействие на внутреннюю поверхность трубопроводов. Этот способ отличается высокой эффективностью, простотой использования и низкими затратами.

В ходе проведения исследования [2] изучалась способность ингибиторов 2-меркаптобензимидазол (2-МБИ), 2-амино-5-этил-1,3,4-тиодиазол (2-АЕТД) контролировать коррозию в присутствии и в отсутствие уксусной кислоты.

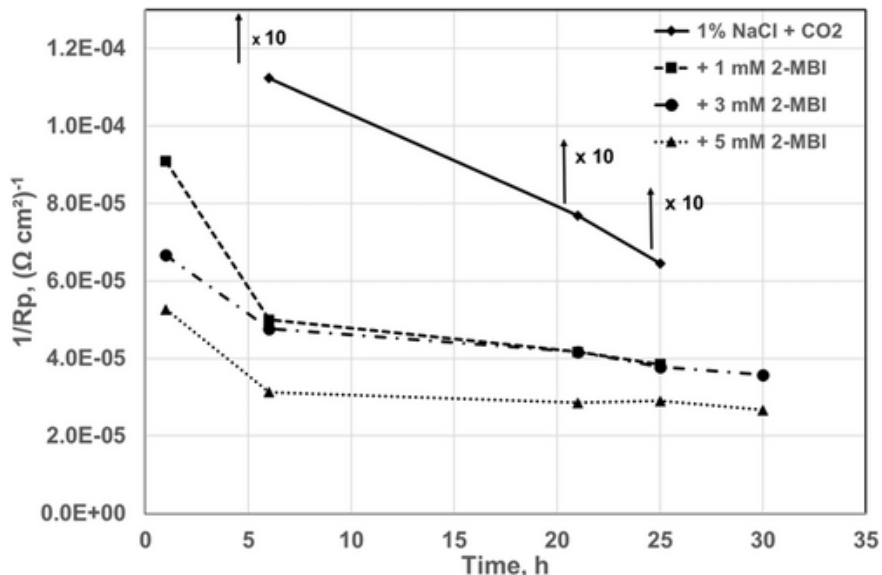


Рис.1 Изменение скорости коррозии  $1/R_p$  со временем нахождения углеродистой стали в паровой фазе (поверхностная коррозия при  $60^{\circ}\text{C}$ ), показывающее влияние 2-меркаптобензимидазола (2-МБИ)

Хорошо известный как эффективный ингибитор для углеродистой стали в сильных кислотах 2-МБИ подтвердил свою исключительно высокую эффективность в насыщенном хлориде натрия, даже в присутствии уксусной кислоты с эффективностью около 95 % при достаточно высоких концентрациях.

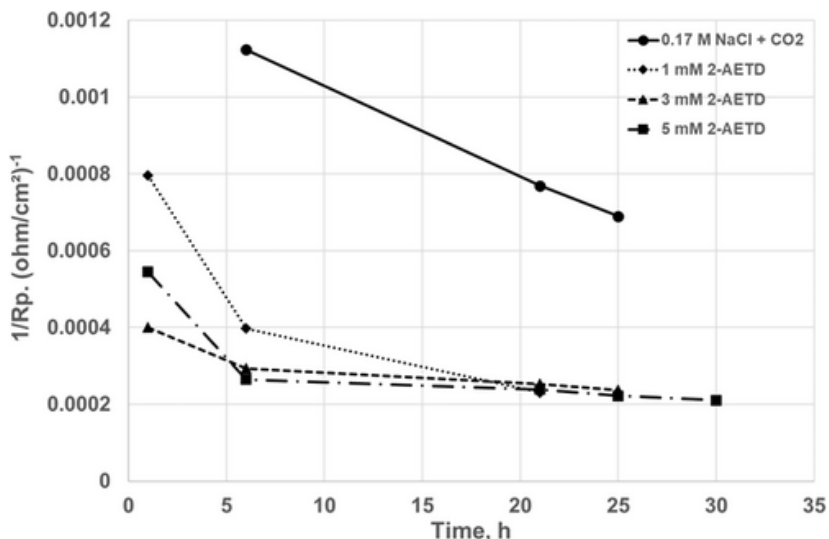


Рис. 2 Изменение скорости коррозии  $1/R_p$  со временем нахождения углеродистой стали в паровой фазе (поверхностная коррозия при  $60^\circ\text{C}$ ), показывающее влияние 2-амино-5-этил-1,3,4-тиодиазола (2-AETD)

Было обнаружено, что 2-AETD, который, как сообщается, является отличным ингибитором для алюминия и углеродистой стали в сильных кислотах, обеспечивает значительное (60–80 %) ингибирование коррозии в растворах хлорида натрия, насыщенных  $\text{CO}_2$ , но менее эффективен в присутствии уксусной кислоты.

Агрессивные среды бывают разными в зависимости от территории, на которой расположен промысел, поэтому универсальные и стандартные подходы здесь неуместны. Учитываются особенности каждого маршрута, по которому будет проходить трубопровод, чтобы предложить наиболее подходящую для данных условий антикоррозийную защиту, а высокие технологии помогают не только наносить изоляцию на трубы любых типоразмеров, но и отслеживать качество выполняемых работ на каждом этапе.

### Литература

1. Farahani, E. M. [et al.] // Corros. 2024, 75, 290–314. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/maco.202313955>.
2. Ajayi? F. O. [et al.] // Mater. Corros. 2023, 74, 1208–1216. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/maco.202313773>.

**Особенности расчета системы вентиляции в доильно-молочном комплексе**

Ливанский Д. Г., Шумак А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основании проведенного анализа получено, что система вентиляции в помещениях содержания крупного рогатого скота требует тщательной подготовки и анализа всех факторов, влияющих на жизнедеятельность животных.*

Обеспечение благоприятного микроклимата для здоровья и продуктивности животных, а также для сохранения строительных материалов и конструкций зданий животноводческих комплексов осуществляется системами вентиляции. В животноводческих помещениях применяют, как правило, искусственную вентиляцию с естественным, механическим либо комбинированным побуждением движения воздуха [1, с. 60].

Крупный рогатый скот при помощи доильных аппаратов доят в специальном помещении – в молочно-доильном блоке, где происходит сбор и хранение молока. Для лучшей сохранности полезных свойств готовой молочной продукции нужен определенный (специальный) уровень системы вентиляции в помещении, да и здании в целом. Контролировать это естественным путем практически невозможно. По этой причине проектируют систему вентиляции молочно-доильного отделения, которая включает: разгонные вентиляторы, а также приточные и вытяжные шахты, основное предназначение которых наполнение стойла свежим уличным воздухом и удаление загрязненного воздуха.

Необходимый воздухообмен зависит от массы животных, продуктивности скота, содержащихся в стойле, сезона года, а также выделяющихся разного рода вредных веществ. Определяющим факторами выступают минимальный объем воздуха, приходящийся на 100 кг живой массы животного и максимально допустимая скорость движения воздуха [1, с. 60].

Очевидно, что условия содержания молодняка и взрослой особи кардинально отличаются температурой воздуха и влажностью воздуха в помещении, которые зависят от многих факторов, таких как:

- период года (зима, лето);
- назначение помещения (доильный блок, стойло, содержание телят);
- массы и возраста содержащихся животных;

Взрослые животные, масса которых колеблется от 200 до 600 кг, а иногда до 850 кг, выделяют количество теплоты в размере 2,3 Вт/кг живой массы, что составляет порядка 400–1200 Вт, а иногда и до 1400 Вт. Тепловыделения молодняка существенно меньше, соответственно, им нужна температура повыше.

Существуют три температуры, которые удовлетворяют условиям содержания КРС: нижняя критическая, верхняя критическая и оптимальная температуры. При преодолении нижнего и верхнего пределов наступает риск падежа скота.

Правильно организованная система вентиляции в коровнике играет ключевую роль в обеспечении комфортных условий для животных. Сохранение оптимального уровня воздухообмена необходимо для поддержания здоровья скота и повышения его продуктивности. Недостаточная циркуляция воздуха может привести к образованию вредных концентраций газов, пыли, и влаги, что может вызвать развитие инфекционных заболеваний.

Поддержание оптимального температурного режима в помещениях для содержания коров и телят очень важно для обеспечения оптимальных условий жизнедеятельности и развития скота. Факторы, такие как температура, влажность, свет и вентиляция, играют основополагающую роль в создании оптимальных условий для жизнедеятельности скота. Спроектированная и смонтированная система вентиляции помогает поддерживать постоянный уровень влажности, удалять избыток тепла и влаги, а также обеспечить поступление свежего воздуха.

Учитывая важность воздухообмена и микроклимата для здоровья животных, необходимо регулярно проводить проверку и обслуживание системы вентиляции в коровниках, чтобы обеспечить ее эффективную работу. Только так можно обеспечить оптимальные условия содержания скота и добиться высокой продуктивности животных. Вентиляция должна выполнять следующие функции:

- Поддерживать оптимальную температуру в помещениях содержания животных;
- Выводить из помещения загрязненный вредностями воздух.

В коровниках применяются следующие вентиляционные схемы: естественная, принудительная (механическая) и смешанная.

При содержании небольшого количества коров и других животных на небольших фермах, естественная вентиляция применяется для обеспечения необходимых условий в помещениях. В данном случае происходит обмен воздуха благодаря разнице давлений внутри и снаружи здания. Чтобы обеспечить поступление свежего воздуха в помещение, используются специальные проемы, расположенные в боковых стенах. Отработанный



воздух направляется вверх и выведется из помещения через светоаэрационный конёк или пассивные вентиляционные шахты.

Подобный тип вентиляции не отличается надежностью и эффективностью и имеет следующие недостатки:

- Качество воздухообмена зависит от погодных условий и поры года (зима, лето, дождь, снег, солнце);

- Трудность поддержания нормативного температурного режима и относительной влажности.

- Возможность появления застойных зон- свежий воздух не вытесняет отработанный по причине слабой интенсивности естественного воздухообмена;

- Отсутствие автоматизации, что влечет за собой увеличение влияния человеческого фактора

Механическая вентиляция, или принудительная вентиляция, широко используется на средних и крупных фермах в различных климатических условиях. При таком способе обеспечения воздухообмена воздух принудительно выводится через активные вытяжные шахты, установленные в крыше здания, или через стеновые вытяжные вентиляторы, размещенные в стенах.

Работа вытяжных вентиляторов создает в помещении определенное разрежение, что способствует равномерному поступлению свежего воздуха через окна или приточные клапаны, установленные в боковых стенах коровника.

Преимущества механической вентиляции:

- При наличии специального оборудования автоматически поддерживает заданный температурный режим и влажность.

- Отсутствие возможности появления застойных зон в пространстве.

- Автоматизированный режим работы.

Совмещенная вентиляция является отличным способом обеспечить правильный воздухообмен в коровниках, особенно в условиях сезонных колебаний температуры. Комбинирование различных методов вентиляции позволяет эффективно контролировать микроклимат в помещениях, обеспечивая оптимальные условия (температура, подвижность воздуха, относительная влажность воздуха) для животных.

Использование потоков воздуха через оконные проемы, вытяжек через световые люки и вентиляторов для ускорения воздуха создает сложную систему вентиляции, которая может адаптироваться к различным погодным условиям и потребностям помещения. Такой подход помогает оптимизировать энергопотребление, переключаясь между разными способами вентиляции в зависимости от текущих потребностей.

Совмещенная вентиляция подходит для различных типов ферм и помещений, обеспечивая эффективное регулирование микроклимата при значительных сезонных изменениях температуры. Этот метод вентиляции улучшает условия содержания животных, принесет экономию энергии и уменьшит операционные расходы. При выборе схемы вентиляции в помещении для содержания КРС необходимо учитывать следующие факторы:

- климат региона;
- численность и расположение поголовья;
- расположение и размер помещения;
- конструктивные особенности здания;
- высота этажа.

Общие нормы температурных условий и воздухообмена, которые нужно соблюдать:

– Нормативная температура для содержания коров (взрослых особей) должна составлять 10–12 градусов Цельсия, что обеспечивает оптимальные условия содержания животных.

– Объем поступающего воздуха на 1 кг живой массы животного должен составлять 0,8–1,2 м<sup>3</sup>/ч – это минимальный необходимый показатель для нормальной жизнедеятельности взрослого животного.

Расчет необходимой производительности вентиляции может вестись по интенсивности обмена воздуха (кратности) или по количеству поголовья скота.

Самый простой способ расчета – по кратности воздухообмена. Не является точным способом, но является часто используемым на практике. Кратность воздухообмена обычно составляет 4-5 объемов.

Способ расчета по количеству поголовья учитывает влаго- и тепловыделения, поступления углекислого газа и иных вредных веществ от общего поголовья скота. Для этого составляется тепловоздушный баланс и на основе его выбирается наибольший воздухообмен, который необходимо обеспечить.

Влаговыделения происходят как с мокрых поверхностей, так и от самих животных. Поверхность становится влажной в результате жизнедеятельности животных.

Тепловыделения происходят от самой особи и зависят от пола и размера животного. Несомненно, они также зависят от породы животных, так как бывают породы, как мясные, так и молочные.

Поступления углекислого газа зависят от пола, размера и физической активности крупного рогатого скота: при перемещении животного выделяется в разы выше углекислого газа, чем при стоячем положении.

Перемещение животного происходит в переходной галерее, в которой коровы перемещаются из кормового зала в доильно-молочный блок, где

происходит непосредственное доение молока из вымени коровы специальными аппаратами.

Агрессивным вредным веществом являются пары аммиака, выделяющиеся из фекалий животных. В большинстве случаев они и являются основополагающей составляющей воздухообмена. Аммиака пары пагубно влияют на материал воздуховодов, что в будущем может вызвать непосредственное их разрушение. По этой причине в агрессивных средах воздуховоды производят из нержавеющей стали, что влечет за собой существенное удорожание всей системы, в общем и целом.

### **Оборудование, используемое при организации вентиляции**

Светоаэрационный конек – представляет собой просвет в кровле, в котором имеются открывающиеся световые проемы (открываются в теплый период).

Обеспечивает:

1. Естественное освещение – оконные проемы, включающие светоаэрационный конек;
2. Равномерное распределение свежего приточного воздуха по всему объему помещения;
3. Предотвращение перегрева животных в жару.
4. Является источником теплопоступлений через остекление в теплый период.

Разгонные вентиляторы можно использовать в любое время года, будь то зима или лето, осень или весна, с любым типом вентиляции, будь то естественная или механическая. Они могут быть подвесными или потолочными для разгона застоявшегося воздуха внутри самого помещения. Отлично распределяют тепло в холодное время года, а летом эффективно охлаждают животных.

Разгонный панельный вентилятор предназначен для извлечения паров аммиака из воздуха. Производит вертикальное движение воздуха от пола, благодаря чему пары аммиака становятся более легкими и менее сконцентрированными в одном месте.

### **Литература**

1. Комплексные нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения существующих животноводческих объектов по производству молока, говядины и свинины: КНТП - 1 - 2020 / И. В. Брыло [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск: РУП НПЦ Беларуси по животноводству, 2021. – 121 с.

## **Конструкция для регулирования расхода газообразной среды через проход и ответвление в тройнике воздуховода вентиляционной сети**

Ливанский Д. Г., Мацукевич К. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье рассматривается вопрос об эффективности применения тройников для регулирования и распределения потоков воздуха. С помощью методов математического моделирования скоростных полей проводится анализ работы тройника и устройств для повышения эффективности распределения потока воздуха. Рассмотрены особенности распределения воздуха на ответвление тройника при разных конфигурациях регулирующего органа.*

В современных вентиляционных системах для распределения воздушных потоков используются сложные сети воздухопроводов, в которых ключевую роль играют тройники – элементы, позволяющие разделять или совмещать потоки газообразной среды (воздуха) [1, с. 24]. Эффективность работы таких систем напрямую зависит от правильного распределения потоков через ответвления и магистрали, особенно в случаях, когда требуется изменять объёмный расход воздуха в различных направлениях. В действующих вентиляционных системах регулирование потоков осуществляется с помощью стандартных дроссельных заслонок, клапанов или аналогичных регулирующих устройств. Однако такие конструкции не всегда обеспечивают достаточную гибкость и точность управления потоками, что может приводить к неравномерному распределению воздуха, снижению общей эффективности системы и перерасходу энергии на поддержание нужных параметров воздушного потока.

Одна из наиболее распространённых проблем, с которой сталкиваются инженеры при проектировании вентиляционных систем, заключается в том, что при распределении воздуха через тройники часть потока может быть недостаточно или избыточно распределена между ответвлениями. Это может привести к тому, что на некоторых участках системы создаётся избыточное давление, а на других – недостаток воздуха, что негативно сказывается на микроклимате помещений и на работе системы в целом.

Необходимость разработки новых конструкций для регулирования расхода газообразной среды через тройники обусловлена следующими факторами:

1. Повышение эффективности вентиляционных систем. Современные вентиляционные системы должны обеспечивать оптимальное распределение

воздуха с минимальными потерями энергии. Однако существующие регулирующие устройства часто не обладают достаточной точностью и гибкостью для достижения этих целей. Разработка новой конструкции, которая позволит более точно контролировать расход воздуха в тройниках, может значительно улучшить общую эффективность вентиляционных систем.

2. Универсальность конструкции. Тройники являются стандартным элементом в вентиляционных сетях, и любая конструкция для регулирования расхода газа должна быть легко интегрируема в уже существующие системы. Исследование, направленное на разработку универсального решения, применимого в различных условиях и для разных типов вентиляционных сетей, позволит решить проблему без необходимости значительных изменений в конструкции воздухопроводов.

3. Энергосбережение. Недостаточно эффективные вентиляционные системы ведут к перерасходу энергии, так как для поддержания требуемого воздухообмена приходится увеличивать мощность вентиляционного оборудования. Оптимизация расхода воздуха через тройники с использованием более точных регулирующих устройств позволит снизить энергопотребление систем вентиляции.

4. Гибкость и адаптивность системы. В зданиях и сооружениях с переменными условиями эксплуатации (например, торговые центры, офисные здания, промышленные объекты) требования к воздухообмену могут меняться в зависимости от времени суток или использования отдельных помещений. Это требует наличия устройств, которые могут оперативно и точно регулировать потоки воздуха. Текущие решения не всегда обеспечивают необходимую гибкость, что создаёт потребность в более современных регулирующих конструкциях.

Таким образом, исследование и разработка новой конструкции для регулирования расхода газа через проход и ответвление в тройнике воздухопроводов вентиляционных сетей актуальны в контексте повышения эффективности, энергосбережения и надёжности систем вентиляции.

В данном исследовании в качестве объекта исследования был выбран равноразмерный тройник квадратного сечения  $100 \times 100$  мм, длиной прохода и ответвления равной 1000 мм (рис. 1). Материал воздуховода – оцинкованная сталь. Конструктивные варианты исследуемого регулирующего органа внутри тройника приведены в табл. 1. Регулирующий орган представляет собой изогнутую пластину с радиусом 90 мм. Рассматриваемый поток: несжимаемый однофазный газообразный турбулентный поток.

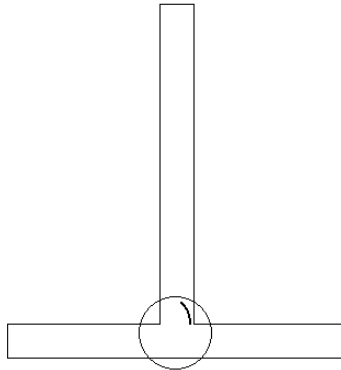


Рис. 1. Расчетная схема равноразмерного тройника квадратного сечения  $100 \times 100$  мм, длиной прохода и ответвления равной 1000 мм.

Таблица 1

Конструктивные варианты исследуемого регулирующего органа  
внутри тройника

Конструктивные варианты					
A1	A2	A3	A4	A5	A6
R=90мм					
$\alpha=0^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=75^\circ$

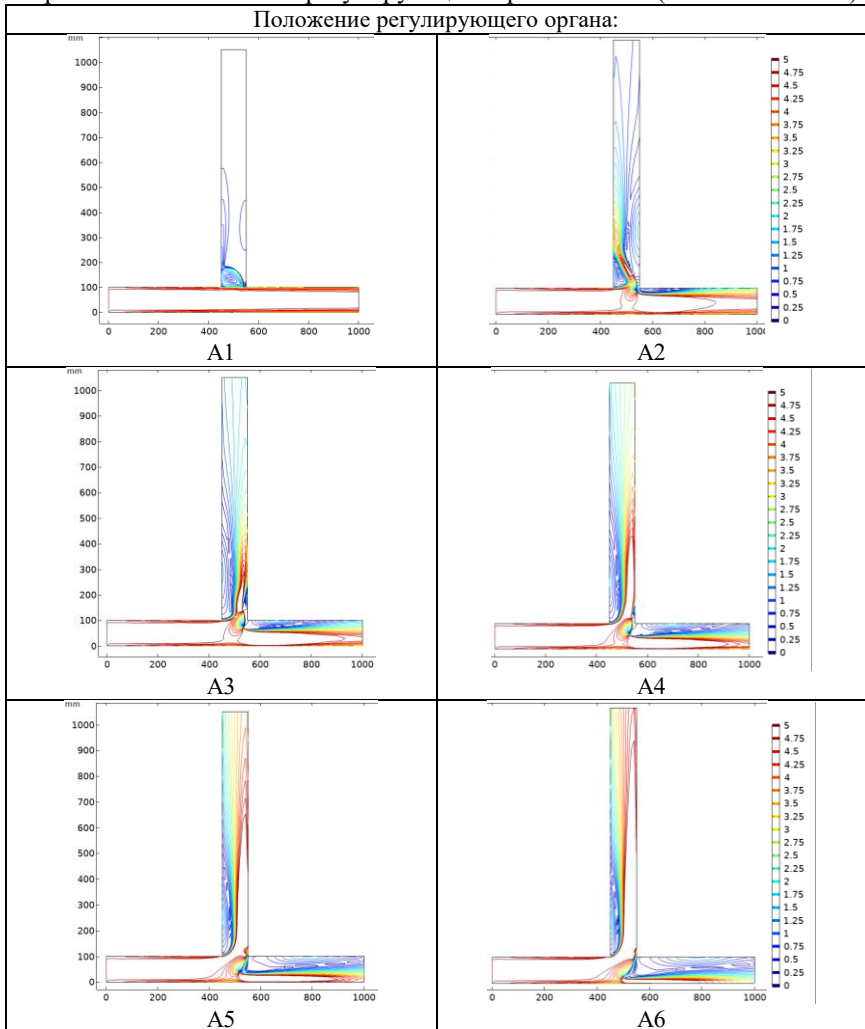
В табл. 2 приведены результаты математического моделирования движения воздушного потока через тройник при различных вариантах положения регулирующего органа [2, с. 226–228].

Для оценки эффективности рассматриваемой конструкции регулирующего органа для регулирования расхода газообразной среды через проход и ответвление в тройнике воздухопровода вентиляционной сети необходимо разработать и провести дальнейшее комплексное исследование таких параметров, как точность регулирования, аэродинамическое сопротивление, распределение потоков и энергетическая эффективность.

На основе полученных данных из теоретических расчетов, моделирования можно сделать вывод о целесообразности поиска новых конструктивных решений вентиляционного тройника с возможностью регулирования соотношения расходов воздуха через проход и ответвление.

Таблица 2

Распределение потока воздуха в тройнике на проход и ответвление при различном положении регулирующего органа А1-А6 (согласно табл. 1)



### Литература

1. Каталог оборудования ВЕЗА. Клапаны общепромышленного и специального назначения.

2. Ливанский, Д. Г. Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка = Local Heating System to Improve Comfort of Spectators in the Stands of Indoor Ice Skating Rink / Д. Г. Ливанский // Наука и техника. – 2024. – № 3. – С. 225–234.

3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс] : диссертация ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Д. Г. Ливанский; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020.

УДК 628.88+697.35

### **Формирование микроклимата при радиаторном отоплении**

Ливанский Д. Г., Голуб Е. В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*В данной статье рассматривается вопрос об эффективности применения радиатора в качестве отопительного прибора в типовом жилом помещении. С помощью методов математического моделирования температурных и скоростных полей проводится анализ эффективности работы радиатора с целью создания комфортных условий внутри помещения. Рассмотрены особенности распределения параметров микроклимата внутри помещения.*

Цель статьи – определить особенности формирования микроклимата при радиаторном отоплении. Выделить достоинства и недостатки радиаторного отопления в жилом помещении. Оценить степень влияния размеров окна и габаритов прибора на формирование микроклимата в помещении исходя из анализа полученных данных.

Для исследования работы радиаторного отопления в жилом помещении и особенностей формирования в нем температурных и скоростных полей была выбрана жилая комната с габаритными размерами 3×3×5 м (рис. 1).

Внутри данного помещения по центру наружной стены под окном (с размерами 1,8×1,8×0,4 м) установлен радиатор (1×0,65×0,12 м). Помещение имеет одну наружную стену с окном. Предполагается, что по бокам и над помещением располагаются аналогичные жилые помещения с расчетной температурой воздуха внутри равной + 18 °С, а под помещением располагается подвал с температурой + 5 °С.



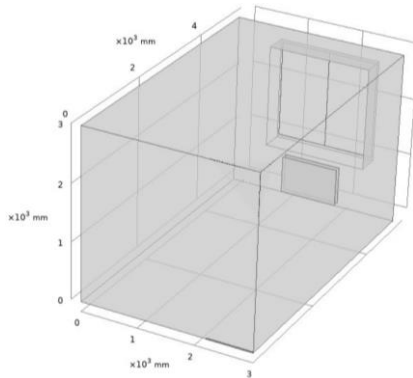


Рис. 2. Расчетная схема жилого помещения с радиатором

Расчетная температура наружного воздуха для исследования принята – 24 °С. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных и внутренних ограждающих конструкций принято в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Указанные особенности жилого помещения обуславливают необходимость использования математического моделирования физических процессов тепло- и массообмена путем решения трехмерных дифференциальных уравнений. Их решение проводилось на базе универсальной программной системы анализа – Ansys.

Перенос теплоты в воздушном пространстве помещений описывается уравнением [1, с. 226–228]

$$\rho_i c_i \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{w} \nabla^2 T \right)$$

Уравнение движения:

$$\rho_B \frac{d\vec{w}}{d\tau} = \vec{\rho}_e g - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{w}$$

Уравнение сохранения массы (неразрывности) в элементарном объеме  $dx \cdot dy \cdot dz$  воздушного пространства при  $j_v = 0$ :

$$\frac{\partial \rho_B}{\partial \tau} + \nabla (\rho_B \vec{w}) = 0$$

Уравнение радиационного теплового потока [2, с. 5]:

$$\nabla \cdot (I(r, s) s) + (a + \sigma_s) I(r, s) = a \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(r, s') \Phi(s \cdot s') d\Omega',$$

Более подробный анализ уравнений можно найти в разделе теории программы Ansys.

Граничные условия для системы вентиляции помещения задаются на основании нормативных [1, с. 228] данных об величине инфильтрирующегося наружного воздуха и расчетной его температуры в холодный период года.

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

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

Распределение температуры воздуха в центральном продольном сечении представлено на рис. 2.

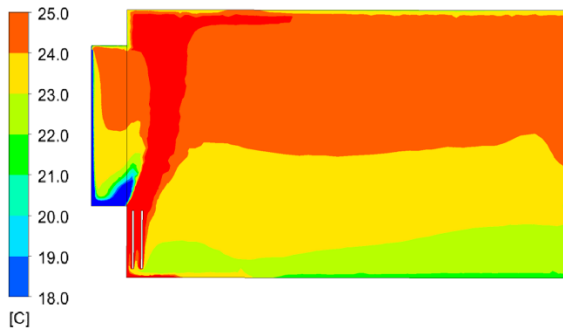


Рис. 3. Распределение температуры в центральном продольном сечении

Оно показывает увеличение температуры по высоте помещения от пола к потолку. Изменение температуры по высоте составляет приблизительно  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ . В левой части рис. 2 можно увидеть зону синего цвета – холодный воздух инфильтрирующийся через неплотности оконного заполнения, и зону красного цвета – тёплый воздух, поднимающийся от радиатора отоп-

ления и препятствующий распространению холодного воздуха вглубь помещения.

Приведенный на рис. 3 график отображает изменение температуры по высоте в центре в геометрическом центре помещения.

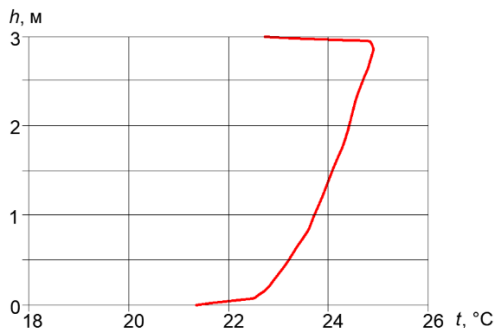


Рис. 3. График зависимости температуры от высоты помещения в геометрическом центре помещения

Как видно из рис. 3, для принятых граничных условий сформированный тепловой режим обеспечивает некоторый перегрев воздуха относительно оптимальных значений температур согласно ГОСТ 30494. Но при этом значения температур в обслуживаемой зоне помещения находятся в пределах допустимых значений. Однако 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, как, например, при напольном отоплении.

На рис. 4 видно, расположение зоны повышенных скоростей, формируемой над отопительным прибором, которая подобно воздушной тепловой завесе создаёт барьер для поступления холодного воздуха со стороны окна.

Подвижность воздуха в помещении находится в пределах оптимальных значений, кроме зон над отопительным прибором, оконного проёма и 0,1 метра от пола и потолка, что допускается ГОСТ 30494.

На рис. 5 видно, что значения скорости воздуха по высоте в геометрическом центре помещения не превышают оптимальных значений.

Резкие скачки сверху и снизу графика объясняются особенностями течения воздуха в непосредственной близости к поверхностям пола и потолка, однако параметры в этих зонах не нормируются.

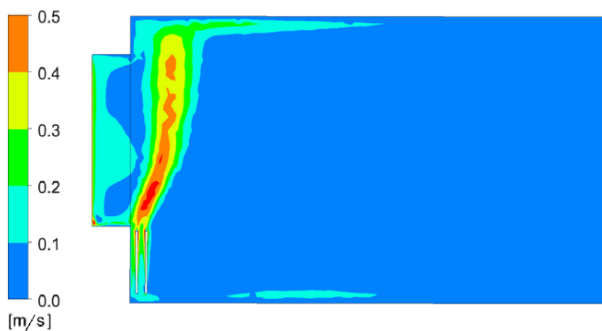


Рис. 4. Распределение скорости воздуха в центральном продольном сечении

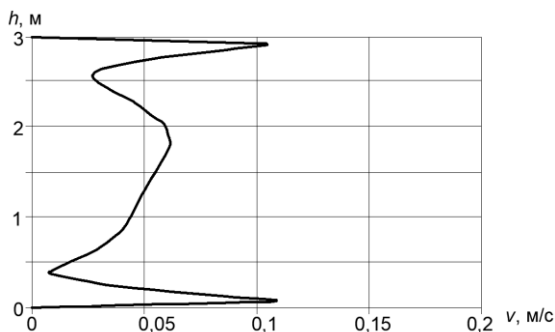


Рис. 5. График зависимости скорости воздуха от высоты помещения в геометрическом центре помещения

На рис. 6 представлена трёхмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения.

Стоит отметить, что часть воздуха не проходит над отопительным прибором и не подхватывается горячим восходящим потоком вопреки предыдущим наблюдениям. Поток, проходящий мимо отопительного прибора, расстилается по поверхности пола, в то время как восходящий поток от радиатора (конвектора) поднимается к потолку. Этим можно объяснить противоречие эталонному для комфорта человека распределению температуры по высоте помещения, которое упоминалось в статье ранее.

На рис. 7 представлено распределение температуры по сечению на расстоянии 0,12 м от поверхности наружной стены.

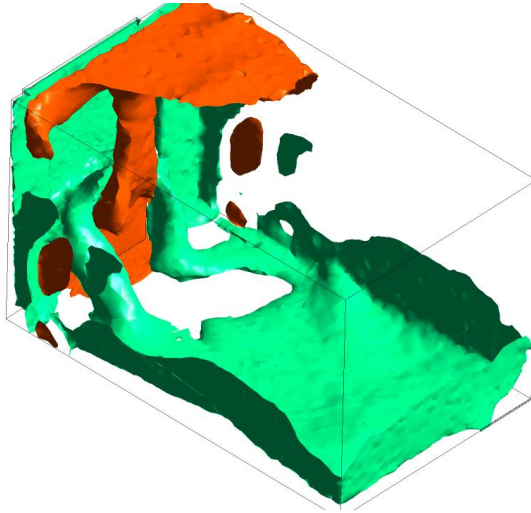


Рис. 6. Трёхмерная визуализация изоповерхностей воздушных потоков внутри помещения

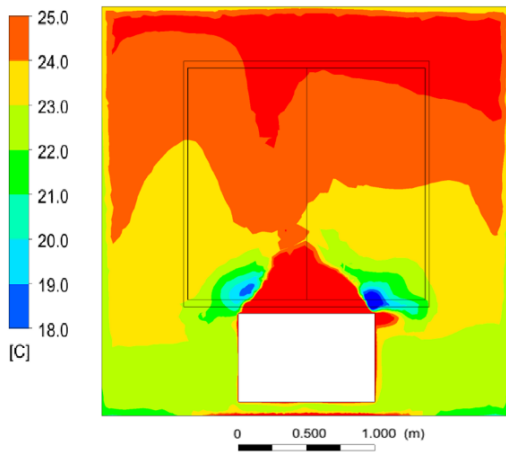


Рис. 7. Распределение температуры по сечению на расстоянии 0,12 м от поверхности наружной стены

Явно видно, что тёплый восходящий поток воздуха с двух сторон отсечён потоками холодного воздуха и меньше по ширине, чем отопительный прибор. Можно сделать оценочный вывод, ширина восходящего потока тёплого воздуха на  $\approx 25\%$  меньше, чем фактическая ширина прибора. Данное обстоятельство приводит к образованию в помещении зон дискомфорта параметров.

### **Выводы**

1. Радиаторное отопление создаёт в рассматриваемом помещении микроклимат, в котором параметры воздуха соответствуют допустимым параметрам, нормируемым в ГОСТ 30494. Следовательно, оно выполняет свои основные задачи. Однако с точки зрения обеспечения наиболее комфортных параметров микроклимата для человека радиаторное отопление имеет свои недостатки.

2. Моделирование трёхмерных температурных и скоростных полей позволяет рассмотреть созданную модель с разных сторон и обнаружить, на первый взгляд, неочевидные недостатки радиаторного отопления.

3. Зоны пониженного комфорта по краям окна в помещении формируются из-за того, что поток тёплого воздуха, восходящий от отопительного прибора, не перекрывает всю ширину окна. Для устранения этих зон ширина радиатора должна быть больше, чем ширина окна.

### **Литература**

1. Ливанский, Д. Г. Локальная система отопления для повышения комфорта зрителей на трибунах крытого ледового катка = Local Heating System to Improve Comfort of Spectators in the Stands of Indoor Ice Skating Rink / Д. Г. Ливанский // Наука и техника. – 2024. – № 3. – С. 225–234.

2. Денисихина, Д. М. Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов / Д. М. Денисихина // Науковедение. – 2014. – № 3 (22).

3. Ливанский, Д. Г. Температурно-влажностный режим ледовых площадок многофункциональных сооружений [Электронный ресурс] : диссертация ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Д. Г. Ливанский ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020.

## **Использование современного программного обеспечения при подготовке специалистов по Отоплению и Вентиляции**

Бобко А. Н, Гриб С. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В современном мире технологии строительства сделали огромный скачок. Уже сейчас проектирование выполняется при помощи BIM-технологий, которые значительно упрощают расчеты, помогают визуально и практически найти ошибки, а также сократить затраты времени.*

Расчет и проектирование систем Отопления и Вентиляции выполняется в соответствии с нормативными документами и включает в себя:

1. Теплотехнический расчет зданий и сооружений; Расчёт воздухообмена;
2. Определение трассировки и принципиальной схемы систем ОВ;
3. Гидравлический и Аэродинамический расчёт систем ОВ;
4. Подбор оборудования систем ОВ.
5. Формирование комплекта проектной документации.

а также многие другие не менее важные аспекты проектирования

Для всего выше перечисленного разработан и активно используется комплекс программ, таких как Audytor OZC, Audytor SET, Autodesk Revit.

Что же это такое и что дает нам использование данных программ?

### **Audytor OZC**

**Audytor OZC**- программа предназначена для расчета теплотерь зданий. Программа позволяет выполнять расчет теплотерь отдельных помещений в доме или же всего здания [1].

В базе программы заложены нормативные документы, РФ, Казахстана, и СНиП действующие в СССР, которые берут данные о скорости ветра и температуры наружного воздуха

Для ввода конструкции здания в графическом режиме потребуется значительно меньше времени, чем для ввода информации в таблицы.

Программа включает в себя ряд особенностей:

1. Детальный расчет, который в отличие от расчетов, выполняемых при помощи таблиц, более точно определяет геометрические формы конструкций. Что это значит? Программа дает возможность выполнять авто-

матический расчет объема помещений, даже помещения со сложной формой, например, расположенных на чердаке;

2. Программа анализирует все человеческие ошибки, которые впоследствии необходимо исключить, и предоставляет их в виде четко сформулированного отчета;

3. Удобство внесения корректировок и изменений;

4. Присутствует возможность расчета температурных полей и точки конденсации ограждающих конструкций.

5. Главные преимущества программы заключаются в ее повышенной функциональности. В том числе, функцией автоматического размещения строительных конструкций, таких как покрытия и перекрытия, и области зон помещений, которые несут в себе информацию о площадях, объемах, температурах и нагрузке помещений, это значит, что программа автоматически определяет зону внутри помещения, любой формы и размещает ее в области курсора, что значительно экономит время и нет необходимости делать это вручную.

6. Так же при необходимости учета теплопередачи между строительными конструкциями существует отдельная функция, которая дает возможность задать процент нагрузки из смежных помещений.

Итоги расчетов и возможность из вывода в эксель, пример модели.

### **Audytor SET**

**Audytor SET** - это самый продвинутый набор программного обеспечения для проектирования систем водоснабжения, отопления и холодоснабжения, оптимизированный для масштабных проектов [2].

В программе учтены требования для расчета климатических данных в соответствии с новой редакцией СП 131.13330.2018 «Строительная климатология».

В базу программы заложены сразу три модуля для наших специалистов, которые возможно рассчитывать сразу в одном проекте либо же отдельно:

модуль СО - расчет систем конвекционного и напольного отопления;

модуль Н2О - расчет систем водоснабжения;

модуль СС - расчет систем холодоснабжения;

Программа Audytor позволяет импортировать рисунки из файлов, сохраненных во многих популярных форматах. Для технических рисунков наиболее распространенными являются форматы DWG и DXF. Однако, на практике подавляющее большинство технической документации сохраняется в файлах PDF, несмотря на то, что этот формат является общим форматом, а не форматом для технических рисунков. Поэтому, обновленная



версия программы Audytor SET поддерживает импорт строительных подоснов, сохраненных в формате PDF.

В обновленной программе появилась возможность автоматического рисования напольного отопления.

1. Самым главным преимуществом, которое ускоряет и упрощает работу, является взаимодействие программ с каталогами производителей арматуры, приборов, трубопроводов. Систематически выходят обновления программ, а с ним и обновляются каталоги внутри программного обеспечения.

2. Простота и быстрота расчетов: нет необходимости вручную подбирать арматуру, ее настройку, диаметры или распределять нагрузку между отопительными приборами, все это выполняется автоматически, что значительно снижает трудозатраты на выполнение расчета.

3. Во время ввода данных программа проверяет правильность задаваемых данных. Это позволяет значительно ограничить количество ошибок. Во время расчетов программа выполняет полный анализ правильности данных. В итоге проверки данных и результатов расчета программа выдает список обнаруженных ошибок, в котором находится информация о типе ошибки и месте ее появления. Богатая диагностика ошибок позволяет проектировщику оценить качество выполненного проекта. Программа оснащена механизмом быстрого поиска места, в котором появилась ошибка (автоматический поиск таблицы, строки, столбца с ошибочными данными, а также выделение ошибки на развернутой плоской схеме).

### **Autodesk Revit**

**Autodesk REVIT** -система автоматизированного проектирования, с которой работают инженеры-проектировщики, дизайнеры, архитекторы и представители смежных профессий. ПО позволяет команде специалистов одновременно работать над одним объектом, задействуя технологию информационного моделирования зданий (BIM) [3].

Вся необходимая техническая документация, передаваемая заказчику, может быть выполнена именно в Autodesk REVIT MEP:

- а) Планы этажей зданий (по необходимости – разрезы, фрагменты) с системами ОВ;
- б) Аксонометрические схемы;
- в) Спецификация основного оборудования, по необходимости.

#### **Преимущества:**

1. Одним из главных плюсов является связь информационной модели здания с рабочей документацией, то есть, изменив что-либо в модели, оно изменится и в документации. Экономится много времени, всё что нужно – проверить данные и исправить ошибки, если они будут.

2. ПО позволяет создавать трехмерные информационные модели зданий и сооружений, которые проектировщик может визуализировать. Графическое отображение смоделированного объекта, представляет собой отображение в высоком разрешении, сделанное с помощью построенной 3D модели объекта.

3D объекты позволяют тщательно разглядеть и оценить форму объекта, степень выразительности его геометрии, сочетание фактуры и цвета материала. При этом возможно внести какие-либо требующиеся коррективы, не дожидаясь этапа строительства, тем самым экономя временные, трудовые, а также денежные затраты.

Такой подход актуален для тех, кто представляет проекты заказчиком: в большинстве случаев, наглядное изображение может сказать больше, чем стопка чертежей и спецификаций.

3. Совместная работа программ Audytor с программой Autodesk Revit, благодаря которой можно переносить данные, а именно: планы этажей в Autodesk Revit сохраняем в формате DWG, далее подгружаем в программу Audytor OZC, а затем, основываясь на чертежах DWG, выполняем расчет.

4. Интеллектуальные объекты: Revit использует интеллектуальные объекты, которые содержат не только геометрические данные, но и информацию о своих свойствах и параметрах. Это позволяет автоматизировать процесс проектирования и управления изменениями.

5. 3D моделирование: Revit предоставляет возможность создавать 3D модели зданий, что позволяет лучше визуализировать проект и улучшить понимание его конструкции.

6. Автоматизация процессов: Revit позволяет автоматизировать многие процессы проектирования, такие как создание чертежей, расчеты материалов и т.д., что увеличивает эффективность работы.

7. Совместная работа: Revit облегчает совместную работу над проектом благодаря возможности одновременного доступа к модели для нескольких пользователей.

8. Улучшенная документация: Revit автоматически обновляет чертежи и спецификации при внесении изменений в модель, что упрощает подготовку документации.

9. Большое сообщество пользователей: Revit имеет широкое сообщество пользователей, что обеспечивает доступ к обучающим материалам, форумам поддержки и дополнительным ресурсам.

10. Совместимость с BIM: Revit является ключевым инструментом для реализации концепции BIM (Building Information Modeling), что позволяет создавать цифровые двойники зданий для более эффективного управления проектом на всех его этапах.

11. Повышение производительности: Все вышеперечисленные особенности Revit позволяют повысить производительность проектирования и строительства зданий, сократить сроки выполнения работ и улучшить качество проекта.

#### **Минусы:**

1. Платный доступ. Программа не является бесплатной — лицензионная версия предоставляется на коммерческой основе;
2. Основным минусом программного обеспечения является фактор человеческой лени: нежелание осваивать новые возможности
3. В Revit можно создать наглядные модели и подробные проекты с чертежами и визуализацией изделий и материалов.

В целом, Revit является мощным инструментом для создания современных и информационно насыщенных BIM-моделей зданий, способствующих повышению эффективности проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

#### **Вывод**

Данный набор ПО позволяет решать такие инженерные задачи как:

1. Снижение затрат и проектных ошибок
2. Осуществление более быстрого процесса подбора требуемого оборудования
3. Выполнение точного построения инженерных систем: исключение наложение смежных связей, ошибочное количество оборудования, что позволяет более точно рассчитать длины и расход материалов, арматуры. За счет автоматизации процесса исключаются человеческие ошибки в составлении спецификации и ведомости объема работ, так как это все происходит в автоматическом режиме.

#### **Литература**

1. Audytor OZC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://by.sankom.net/programs/audytor-ozc>. – Дата доступа: 20.10.2024.
2. Audytor SET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://by.sankom.net/programs/audytor-set>. – Дата доступа: 20.10.2024.
3. Методические указания по созданию проектов в Revit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://muratovbim.pro/manual/>. – Дата доступа: 20.10.2024.

**Результаты натурных исследований тепловых потоков  
новых конвекторов витебского завода сантехзаготовок  
с разработкой рекомендаций по их усовершенствованию**

Чушель Н. В., Шубич В. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье приведены результаты определения величин тепловых потоков новых конвекторов витебского завода сантехзаготовок и рекомендаций по их усовершенствованию.*

В современных условиях повышение энергоэффективности становится важной задачей для жилищного и промышленного секторов. Конвекторы, как элементы отопительных систем, играют ключевую роль в поддержании комфортной температуры с минимальными затратами ресурсов. Усовершенствование таких приборов позволяет не только сократить энергопотребление, но и снизить воздействие на окружающую среду. Оптимизация отопительных приборов имеет большое значение, так как эффективное использование энергоресурсов позволяет уменьшить финансовые расходы и выбросы углекислого газа. Таким образом, результаты данного исследования имеют практическое значение для разработки энергосберегающих решений в сфере отопления.

Объектом исследования стал отопительный прибор конвективного типа. Предметом исследования являлся тепловой поток, создаваемый конвектором при различных параметрах его работы: расхода и температуры теплоносителя, конструктивных габаритных размеров.

Цель работы – определение теплотехнических характеристик новых конвекторов и разработка предложений по их усовершенствованию.

Результаты проведенных исследований были использованы Витебским заводом сантехзаготовок при дальнейшей работе по усовершенствованию конвекторов и повышению общей эффективности работы приборов.

За исследование было выбрано два образца конвектора отопительного водяного.

Характеристики образца № 1: наружные размеры 265×600×90 мм (В×Ш×Г); теплообменник со стальными пластинами 150×85мм с шагом 6 мм; трубы водогазопроводные 27×2,8 мм; расстояние между присоединительными патрубками 80 мм; проходной.

Характеристики образца № 2: наружные размеры 495×895×90 мм (В×Ш×Г); теплообменник со стальными пластинами 310×85 мм с шагом

6 мм; трубы водогазопроводные 27×2,8 мм; расстояние между присоединительными патрубками 240 мм; концевой.

**Методика проведения испытаний по температуре и расходу теплоносителя.** Тепловые испытания проводились в изотермической камере [1, с. 8], которая представляет собой помещение, температура воздуха в которой должна поддерживаться в пределах  $(20 \pm 1,5)$  °С, испытательного стенда отопительных приборов испытательной лаборатории НИИЛ СТИСЗ при следующих условиях:

- разность между средней температурой воды в приборе и расчётной температурой воздуха в помещении от 20 °С до 60 °С,
- массовый расход воды через отопительный прибор от 100 кг/ч до 360 кг/ч,
- нормальное атмосферное давление 1013,3 гПа (760 мм рт. ст.),
- движение воды в отопительном приборе по схеме «сверху-вниз».

Температура воздуха измерялась в двух точках на центральной вертикальной оси камеры на расстоянии 0,05 м и 1,5 м от пола. Погрешность измерения температуры воздуха 0,1°С.

Температура воды измерялась в точках согласно схеме испытательного стенда на рис. Максимальная погрешность измерения температуры воды не превышает 0,05°С.

Для измерения расхода воды использовался ультразвуковой расходомер Ultrasonic Heat Meter 2-го класса точности.

Испытуемый отопительный прибор располагается на стене камеры таким образом, чтобы исключалась возможность образования воздушных пробок в измерительном контуре. Расстояние от пола до низа прибора  $(100 \pm 5)$  мм [1, с. 7].

Для определения номинального теплового потока отопительного прибора проводят не менее трех последовательных испытаний при постоянном расходе воды при температурном напоре от 35°С до 75°С. Номинальный тепловой поток  $Q_0$ : тепловой поток, определяемый при нормальных условиях:

- разности между средней температурой воды в приборе и расчетной температурой воздуха в помещении  $\Theta_0 = 70^\circ\text{C}$ ;
- расход воды через отопительный прибор  $M_0 = 0,1$  кг/с (360 кг/ч);
- нормальном атмосферном давлении  $B = 1013,3$  ГПа (760 мм.рт.ст.);
- движение воды в отопительном приборе по схеме «сверху-вниз».

Температурный напор, °С, составляет разность между среднеарифметической температурой теплоносителя в отопительном приборе и температурой воздуха в помещении. Диапазон температурного напора разбивают на равные интервалы.

Измерения проводят в стационарном режиме, как для измерительного отопительного контура, так и для испытательной камеры. Параметры следует фиксировать через равные промежутки времени с помощью автоматической системы. Режим считают стационарным, когда в течение 30 мин результаты не менее чем 12 последовательных измерений имеют отклонения от среднего значения, не превышающие  $0.1^{\circ}\text{C}$  для температуры воды и воздуха,  $\pm 1\%$  – для расхода воды.

Температура воздуха в камере должна поддерживаться в пределах  $(20 \pm 1,5)^{\circ}\text{C}$ .

Для установления зависимости теплового потока от расхода воды испытания проводят при значениях расхода в диапазоне от 0.01 до 0.15 кг/с.

**Описание испытательного стенда.** Испытательный стенд для определения номинального теплового потока отопительного прибора изображен на рис. [1, с. 4]

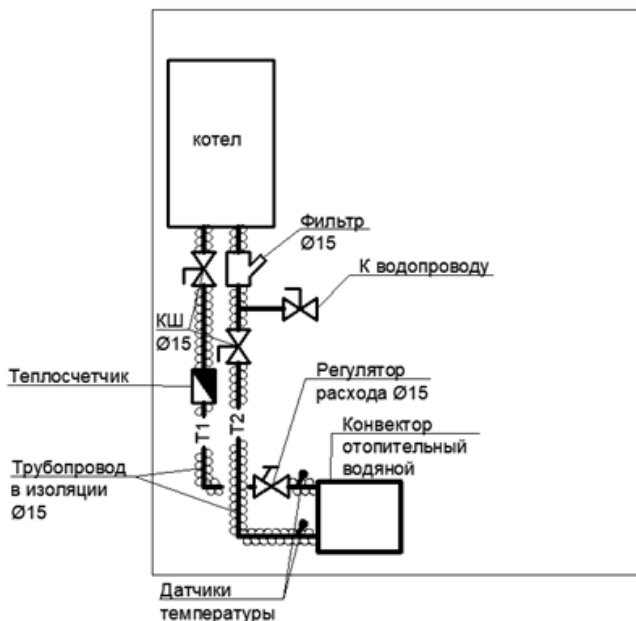


Рис. Схема испытательного стенда для определения номинального теплового потока отопительного прибора – конвектора

На схеме изображен конвектор отопительный водяной подключенный с помощью трубопроводов к электрическому водяному котлу. Схема подключения отопительного прибора – «сверху-вниз». На подающей подводке

к отопительному прибору установлен ультразвуковой теплосчетчик типа Ultrasonic Heat Meter 2-го класса точности со встроенным датчиком температуры для измерения соответственно циркуляционного расхода и температуры теплоносителя на входе в отопительный прибор. На обратной подводке к отопительному прибору установлен датчик температуры теплоносителя, выходящего из отопительного прибора.

Нагрев теплоносителя осуществляется в электрическом котле. Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется посредством работы циркуляционного насоса. Температурное расширение теплоносителя при нагреве компенсируется закрытым расширительным баком. Удаление воздуха из элементов отопительного стенда осуществляется через автоматический воздухоотводчик установленный в верхней точке котла.

Все трубопроводы теплоизолированы для обеспечения минимальных тепловых потерь. Датчики температуры для измерения температуры воды на входе и выходе в испытуемый отопительный прибор установлены на подводках на расстоянии не более 0,3 м [1, с. 6].

Результаты тепловых испытаний по определению номинального теплового потока конвекторов отопительных водяных образцов № 1 и № 2 следующие: среднее значение номинального теплового потока образца № 1 с кожухом – 463,1 Вт, образца № 1 без кожуха – 447,1 Вт. Для образца № 2 среднее значение номинального теплового потока с кожухом – 706,9 Вт, а с кожухом и плотным прилеганием к стене – 687,8 Вт. Результаты сопоставления измеренных значений номинального теплового потока конвекторов по каждому образцу показывают отклонение по тепловым характеристикам находятся в пределах от минус 4 % до плюс 5 %.

**Рекомендации.** Для увеличения тепловой эффективности прибора предлагаем выполнить следующие мероприятия.

1. Дополнительно установить задний кожух отопительного прибора – с тыльной стороны оребрения, что позволит существенно сократить непроезводительные теплопотери через наружную стену и увеличить теплосъем с отопительного прибора.

2. Максимально увеличить площадь отверстий в верхней панели для прохода нагретого воздуха. Это позволит увеличить теплосъем с отопительного прибора.

### Литература

1. ГОСТ 53583-2009. Приборы отопительные. Методы испытаний. – введ. 01.06.2010. – Москва. Стандартинформ, 2019. – 12 с.

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



**Исследования процесса осаждения взвешенных веществ  
в тонкослойных отстойниках**

Алладустов У. Б.<sup>1</sup>, Холов Ф. М.<sup>1</sup>, Ануфриев В. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самаркандский государственный архитектурно  
Строительный университет

Самарканд, Республика Узбекистан,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Рассмотрены процессы осаждения грубодисперсных и скоагулированных примесей природных и сточных вод в тонкослойном отстойнике. Приведены результаты экспериментальные исследования процесса осаждения примесей в тонкослойном отстойнике, в которых получены данные, что минимальная степень осветления наблюдается в элементах, установленных вертикально. По мере уменьшения угла наклона тонкослойного элемента до 60° эффективность отстаивания постепенно увеличивается, а далее изменяется незначительно.*

Грубодисперсные примеси выделяют из природных и сточных вод чаще всего отстаиванием, флотацией и фильтрованием. Выбор методов осветления воды зависит от дисперсности частиц, физико-химических свойств и концентрации примесей, расхода обрабатываемых вод, требуемой степени осветления и т. д.

Наиболее распространенными и простыми установками предварительной очистки суспензий являются отстойники, где основная масса взвешенных веществ выделяется из воды гравитационным осаждением [1; 2].

Поэтому в технике очистки природных и сточных вод большое внимание уделяется отстойникам, так как от их эффективности и производительности зависит работа очистной станции.

Процесс осаждения взвеси в сооружениях для осветления воды зависит от ряда факторов, и его исследование представляет собой сложную задачу. На характер осаждения частиц влияют их размер и форма, наличие и режим движения осветляемой воды, вязкость, изменяющаяся с температурой. Встречаемые в практике мутные воды всегда представляют собой полидисперсную систему, т. е. содержат частицы различных размеров, а также различных форм. Наконец, весьма часто приходится иметь дело с осаждением агрегативно неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаждения меняют свою структуру и размеры. Все это крайне затрудняет

ет математическое выражение законов осаждения взвеси и получение точных методов расчета отстойников.

Согласно теории Хазена эффективность отстаивания в идеальных отстойниках является функцией поверхности отстаивания, скорости оседания частиц и расхода жидкости, но не зависит от глубины осадителя. То есть для определенной взвеси производительность отстойника зависит только от эффективной площади осаждения  $A_{ef}$ . В традиционных отстойниках показатель  $A_{ef}$  определяется действительной поверхностью осадителя  $A_{ef} = A$ . В тонкослойных отстойниках поток жидкости разделяется параллельными полками или пластинами на несколько слоев. В ряде случаев, когда эти полки параллельны горизонтальной плоскости,  $A_{ef}$  приблизительно в  $n$  раз больше действительной поверхности отстойника, где  $n$  – количество горизонтальных полок. Но при такой конструкции существует трудность удаления выпавшего осадка с поверхности полок. Необходима либо установка специальных устройств, либо прерывание процесса отстаивания и смывание осадка. При наклонном расположении пластин или полок осадок может сползть самопроизвольно. Угол наклона при этом должен быть не менее  $45^\circ$ . Эффективная площадь осаждения в тонкослойных отстойниках с наклонными пластинами, которая определяется суммой площадей проекций каждой пластины на горизонтальную плоскость, несколько меньше, чем с горизонтальными:

$$A_{ef} = n \cdot A \cdot \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонтали;  $n$  – количество пластин.

В пластинчатых отстойниках осадить можно только те частицы, которые за время  $t_v$  пребывания жидкости между пластинами достигают их поверхности

$$t_v = \frac{l}{v},$$

где  $l$  – активная длина пластины, м;  $v$  – средняя скорость потока между двумя пластинами, м/с.

Разделение высоты потока жесткими перегородками (параллельными его движению), превращает безнапорный поток со свободной поверхностью в напорный. Поэтому для расчета тонкослойных отстойников М. В. Демура рекомендует использовать максимальное значение скорости, а не среднее [3].

Максимальное расстояние  $h_s$ , которое требуется преодолеть частице, находящейся между двумя пластинами, чтобы достигнуть поверхности пластины определяется по формуле

$$h_s = \frac{h_0}{\cos \alpha},$$

где  $h_0$  – расстояние между пластинами по нормали, м;  $\alpha$  – угол наклона пластин.

Частица со скоростью осаждения равной гидравлической крупности  $u_s$  проходит это расстояние за время

$$t_s = \frac{h_0}{\cos \alpha \cdot u_s}.$$

где  $u_s$  – гидравлическая крупность, м/с.

Условие для осаждения частиц выражается в виде

$$\begin{aligned} t_s &\leq t_v, \\ \frac{l}{v} &\leq \frac{h_0}{\cos \alpha \cdot u_s}, \\ u_s &= \frac{h_0 v}{l \cos \alpha}. \end{aligned} \tag{1}$$

Формула (1) определяет минимальный размер частиц (гидравлическую крупность), которые могут быть осаждены в тонкослойном отстойнике. Причем необходимо учитывать, что  $l$  – это только активная длина пластины, где преобладает ламинарное движение потока. Расчет полной длины пластин имеется в работе Демуры [3]. Общая длина пластин  $L$  определяется суммой длин трех участков пластины

$$L = l_1 + l_2 + l,$$

где  $l_1$  – длина участка, на котором поток переходит из турбулентного режима в ламинарный, м;  $l_2$  – длина участка, на который сносится выпавший осадок, м;  $l$  – активная длина, м.

Основные условия эффективного осаждения взвеси в отстойниках – ламинарность и равномерность течения, которые определяются соответственно критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{Q}{2 \cdot (h_o + B) \cdot \nu}$$

и критерием Фруда

$$Fr = \frac{2 \cdot Q^2 \cdot (h_o + B)}{Q \cdot B^3 \cdot h_o^3},$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости, Па·с;  $B$  – ширина пластины, м;  $Q$  – объемный расход суспензии через канал, м<sup>3</sup>/с;

Традиционные горизонтальные отстойники работают обычно в пределах чисел Рейнольдса  $Re = 1000–2500$ .

В тонкослойных отстойниках можно достигнуть скоростей потока значительно больших, чем в обыкновенных отстойниках, при одновременном сохранении ламинарности в канале. Исследования показали, что в диапазоне чисел Рейнольдса от 500 до 2000 сохраняются оптимальные условия для седиментации взвеси.

Экспериментальные исследования процесса осаждения взвеси на тонкослойном отстойнике проводились на лабораторной установке. Эффективность осветления воды на тонкослойном отстойнике вычисляли как разность концентрации взвешенных веществ в исходной (коагулированной) и осветленной воды, отнесенной к первоначальной концентрации. В процессе проведения исследований постоянно фиксировалось качество исходной и очищенной воды по основными физико-химическими показателями (взвешенные вещества, мутность, щелочность, рН), а также по технологическому параметру (доза растворимого алюминия, продолжительность отстаивания и расход воды).

В целях получения достоверной информации проведены опыты по отстаиванию воды при различных скоростях потока и углах наклона тонкослойного элемента.

Экспериментальные исследования процесса тонкослойного осветления воды показали (рис. 1–3), что необходимый эффект осветления обеспечивается при скорости движения воды в тонкослойных элементах 5 м/ч при дозе алюминия 10 мг/л и 7 м/ч при дозе алюминия 15 мг/л. При возрастании средней линейной скорости от 1,0 до 8,0 мм/с степень осветления снижается от 70 % до 3 % при концентрации взвешенных веществ 974 мг/л и от 81 % до 32 % при концентрации взвешенных веществ 1750 мг/л [4; 5].

В целях получения дополнительной информации по режиму осветления проведены опыты по отстаиванию воды при различных скоростях потока и углах наклона тонкослойного элемента в отстойнике. В результате, которых получена, что минимальная степень осветления наблюдается в элементе, установленном вертикально. По мере уменьшения угла наклона

тонкослойного элемента до  $60^\circ$  эффективность отстаивания постепенно увеличивается, а далее изменяется незначительно [4].

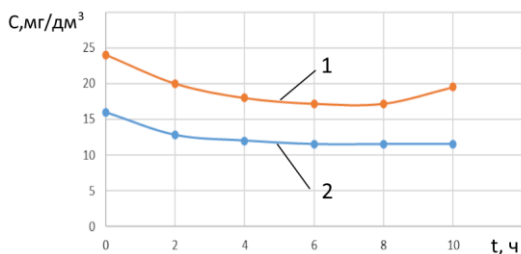


Рис. 1. Изменение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде: концентрация взвешенных веществ в исходной воде  $C_{исх} = 900-1200$  мг/л; доза коагулянта  $G_{Al} = 10$  мг/л; 1 –  $v = 7$  м/ч; 2 –  $v = 5$  м/ч

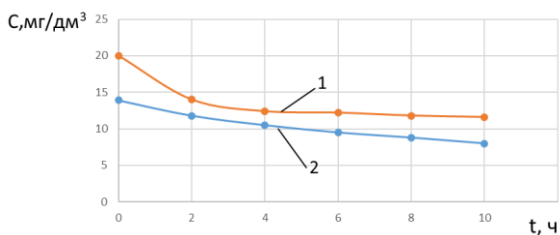


Рис. 2. Изменение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде: концентрация взвешенных веществ в исходной воде  $C_{исх} = 900-1200$  мг/л; доза коагулянта  $G_{Al} = 15$  мг/л; 1 –  $v = 7$  м/ч; 2 –  $v = 5$  м/ч

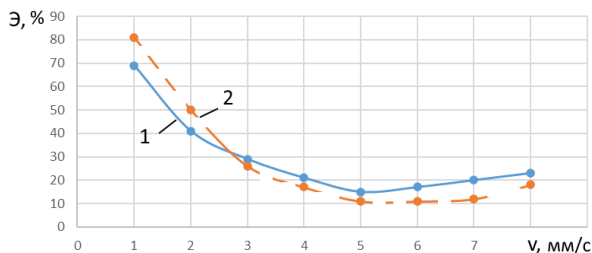


Рис. 3. Эффективность удаления взвешенных веществ в зависимости от скорости движения воды в отстойнике при концентрации взвешенных веществ в исходной воде:

1 –  $C_{исх} = 974$  мг/л; 2 –  $C_{исх} = 1750$  мг/л

В результате рассмотрения процесса осаждения взвеси в тонкослойном отстойнике отмечены, что одной из задач в области водоподготовки является интенсификация работы отстойных сооружений. Решение её может быть достигнуто путём использования метода тонкослойного отстаивания.

Значительные преимущества, достигаемые при отстаивании в тонкослойной отстойниках, позволяет с успехом применять такие сооружения для очистки жидкостей в самых разнообразных условиях.

### Литература

1. Бабаев, И. С. Технология и оборудование для очистки высокомутных природных вод: автореферат дис...докт. техн. наук / И. С. Бабаев, М., 1986. – 48 с.

2. Ганбаров, Э. С. Технология очистки природных и сточных вод на установке «Плот-фильтр» / Э. С. Ганбаров. – Баку: Асар, 1999. – 104 с.

3. Демура, М. В. Проектирование тонкослойных отстойников / М. В. Демура. – Киев: Будівельник, 1981. – 52 с.

4. Алладустов, У. Б. Теоретическая сущность процесса тонкослойного осветления воды/ У. Б. Алладустов // Проблемы и решения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций: материалы Междун. науч.-практ. конф., Самарканд, 21 мая 2020. –Самарканд, 2020. – СамГА-СИ, ч. 1– С. 138–141.

5. Алладустов, У. Б. Очистки высокомутных вод электрокоагуляцией с последующим тонкослойным осветлением / У. Б. Алладустов, Ф. М. Холов. – Лондон: LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 123 с.

УДК 628.354

### **Обработка осадка сточных вод на биоинженерных сооружениях**

Ануфриев В. Н.<sup>1</sup>, Волкова Г. А.<sup>2</sup> Алферчик В. В.<sup>1</sup>, Семикашева Э. Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены особенности функционирования сооружений для обработки осадка сточных вод в условиях, близких к естественным. Грунтово-растительные иловые площадки предназначены для обработки осадка и имеют определенные особенности, а эффективность обработки в них достигается за счет сочетания физических и биохимических процессов. При подаче осадка твердые примеси удерживаются на поверхности фильтрующей загрузки секции площадки, а жидкость фильтруется*

*через загрузку, далее собирается дренажными трубопроводами и направляется обратно на очистные сооружения. Для эксплуатации площадок не требуется регулярного удаления подсушенного осадка, и новый объем осадка подается поверх старого слоя осадка.*

В Республике Беларусь по данным на 2020 г. для очистки сточных вод используется 2741 очистное сооружение, в том числе 319 сооружений с биологической очисткой в искусственных условиях и 1752 полей фильтрации суммарной площадью 3677 га [1]. Сброс сточных вод в окружающую среду за 2022 г. составлял 1245 млн. м<sup>3</sup>, при этом образование осадка сточных вод оценивается порядка 1% от количества сточных вод. При этом затраты на обработку осадка достигают 40-50% от суммарных затрат на эксплуатацию очистных сооружений [2]. В ближайшем будущем прогнозируется увеличение объемов таких отходов вследствие строительства новых очистных сооружений и повышения степени очистки сточных вод на существующих сооружениях.

Основное количество осадка сточных вод образуется в первичных (сырой осадок) и вторичных отстойниках (избыточный ил), которые относятся к распространенным видам отходов и требуют поиска решений по их обработке и утилизации.

Технологии обработки осадка сточных вод весьма разнообразны. В Беларуси можно выделить два основных направления в практике обработки осадка:

- максимальное уменьшение объемов осадка за счет уменьшения влажности и стабилизация содержащихся в нем органических веществ с последующим складированием или захоронением;
- использование веществ осадков для получения новых товарных продуктов и энергии.

Весьма распространенной практикой является размещение осадка на иловых площадках, предназначенных для уплотнения и подсушки осадков, которые превращаются в объекты долговременного хранения этих отходов. Существуют нормативные ограничения по использованию иловых площадок для очистных сооружений с производительностью более 25 000 м<sup>3</sup>/сут, однако размещение осадка на иловых площадках весьма распространено также на крупных и средних очистных сооружениях. Недостатки традиционных иловых площадок общеизвестны – негативное воздействие на атмосферный воздух, подземные воды, почвы.

Организация обработки осадка сточных вод высокотехнологически методами требует значительных финансовых вложений и использования сложного оборудования, реагентов, вспомогательных материалов. Капитальные вложения на сооружения с механическим обезвоживанием осадка с использованием ленточных фильтр-прессов варьируются в пре-

делах 100–350 тысяч Евро в зависимости от производительности оборудования. При сжигании осадка стоимость инвестиций уже достигает уровня 25–45 миллионов Евро.

В качестве альтернативного способа обработки осадка для небольших и средних очистных сооружений сточных вод может рассматриваться применение иловых площадок с подсадками влаголюбивых растений. Грунтово-растительные площадки, предназначенные для обработки осадка, имеют определенные особенности устройства и эксплуатации. В зарубежной литературе такие сооружения обозначаются как STRB (Sludge Treatment Reed Bed) – площадки с тростником для обработки осадка сточных вод [3].

Эффективность обработки осадка в грунтово-растительных площадках достигается за счет сочетания физических и биохимических процессов. При подаче осадка твердые примеси удерживаются на поверхности фильтрующей загрузки секции площадки, а жидкость фильтруется через загрузку, далее собирается дренажными трубопроводами и направляется обратно на очистные сооружения. Естественный рост корней растений создает поры и условия для дренажа слоя осадка и загрузки площадки. При эксплуатации площадок не требуется регулярного удаления подсушенного осадка, при этом новый объем осадка подается поверх старого слоя осадка.



Рис. Вид грунтово-растительной иловой площадки в первый год эксплуатации



Основная задача таких сооружений – обеспечить устойчивую систему обработки избыточного ила. Расчет размеров грунтово-растительных площадок определяется исходя из суточного прироста избыточного ила, образующегося на очистных сооружениях, и поверхностная нагрузка по сухому веществу осадка на 1 м<sup>2</sup> составляет в пределах от 30 до 60 кг/год. При этом отсутствует необходимость в регулярном удалении обезвоженного ила, поскольку сооружения рассчитаны на постоянный прием суточного объема избыточного ила в течение 6–15 лет.

Режим эксплуатации грунтово-растительных площадок для обработки осадка включает периоды подачи исходного осадка и периоды резерва, когда подача осадка отсутствует. Для обеспечения баланса между периодами подачи исходного осадка и периодами резерва количество секций площадки принимают от восьми и более.

Как правило, продолжительность эксплуатации грунтово-растительных иловых площадок составляет около 30 лет. За этот период работы грунтово-растительные иловые площадки включают два-три эксплуатационных цикла по 10–15 лет. Эксплуатационный цикл состоит из четырех этапов:

- ввод в эксплуатацию;
- нормальная эксплуатация;
- опорожнение и окончательное удаление накопленного ила;
- восстановление системы.

Продолжительность этапа ввода в эксплуатацию составляет от года до двух лет, после строительства или реконструкции. В течение этого периода происходит разрастание оставшихся растений или посадка саженцев с достижением требуемой плотности зарослей. При этом осуществляется подача исходного осадка с определенным расходом, который должен обеспечить поступление биогенных веществ для развития растений.

В течение срока эксплуатации различные секции площадки выводят из работы на реконструкцию в разные годы для того, чтобы избежать одновременного опорожнения всех секций площадки и вывести из строя очистные сооружения. Наряду с чередованием периодов подачи исходного осадка и периодов состояния резерва, принимается режим эксплуатации с наличием рабочих секций и секций, находящихся в стадии реконструкции и ввода в эксплуатацию.

Эксплуатация грунтово-растительных площадок в нормальном режиме начинается после достижения требуемой плотности посадок растений. Подача исходного осадка на рабочие секции производится в течение 3–8 суток, после чего секция переводится в резерв с продолжительностью от 40 до 50 суток.

После 10–15 лет эксплуатации секция выводится на реконструкцию (регенерацию), при которой удаляют слой обезвоженного осадка из секции. Если при удалении осадка повреждены посадки растений, секции дополняют новыми саженцами. При высадке растений в секции грунтово-растительных иловых площадок [4]:

- посадку растений проводят весной;
- тростник высаживают в виде корневищ или саженцев;
- посадка корневищ более эффективна, если она производится в конце мая – июне, а корневища имеют один или два побега высотой от 10 до 60 см, при плотности растений 4–6 корневищ на 1 м<sup>2</sup>;
- саженцы тростника выращиваются из семян в контейнерах, и лучше всего высаживать их в конце мая – июне, когда у них уже появляются корневища.

Саженцы высаживать легче, чем куски корневища, и они быстрее растут в первый сезон; плотность посадки принимают: 4–8 саженцев на 1 м<sup>2</sup>.

Исходный осадок на площадку подают с влажностью 96,0 %–99,3 %. После 10 лет эксплуатации слой обезвоженного осадка достигает приблизительно высоты 1,2–1,5 м и характеризуется влажностью 60–70 %.

Грунтово-растительные иловые площадки представляют собой прямоугольную выемку, в которой размещается фильтрационная загрузка, система дренажа и система распределения осадка по площади секции. Грунтово-растительные иловые площадки оснащают гидроизоляционными материалами для предотвращения фильтрации в грунт.

Котлован для площадки и откосы облицовывают гидроизоляционными материалами для предотвращения фильтрации в грунт, котлован заполняют двумя видами загрузки: два слоя гравия разной крупности и верхний слой песка. Боковые откосы обычно выполняются из бетона. Устраивается надводный борт высотой 1,5–1,6 м для накопления осадка, глубина котлована устраивается в пределах 1,7–1,8 м. Высота самого слоя загрузки варьируется в пределах 10–25 см в зависимости от местных условий.

Преимуществами грунтово-растительных иловых площадок являются:

- эффективное снижение объема осадка, при получении содержания сухого вещества 30–40 % при завершении процесса обезвоживания и минерализации;
- отсутствие потребности в реагентах для обработки осадка;
- низкое энергопотребление, электроэнергия используется только на подачу осадка и возвращаемого фильтрата обратно на очистные сооружения;
- обработка осадка происходит в аэробных условиях, не создаются проблемы с запахами.

## Литература

1. Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. Постановление совета министров Республики Беларусь 22 февраля 2022 г. № 91.

2. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический буклет. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск 2023. – 36 с.

3. Wetland Technology. Practical Information on the Design and Application of Treatment Wetlands / G. Langergraber [and others]. – London: IWA Publishing, 2019. – 190 s.

4. Рекомендации по проектированию, устройству и эксплуатации песчано-гравийных фильтров очистных сооружений сточных вод. Р 4.01.188-2022, Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель», Минск, 2022. – 79 с.

УДК 628.169:628.168:54-058

### Анализ состава и перспективы переработки попутных нефтяных и пластовых вод

Атаева Б. Х.<sup>1</sup>, Атаев Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Туркменский государственный

архитектурно-строительный институт,

<sup>2</sup>Институт химии академии наук Туркменистана

Ашгабат, Туркменистан

*Попутные воды обладают высоким содержанием солей, что является одной из основных причин коррозии буровых установок. Поэтому попутные воды стараются использовать в самом процессе нефтедобычи, например, в качестве базы для приготовления буровых растворов, а также для поддержания давления в пластах. В научной статье описаны анализы состава и перспективы переработки попутных нефтяных и пластовых вод. Приведены примеры исследования мирового опыта с целью необходимости определения целесообразности количества полезных компонентов, подлежащих извлечению из подземных вод Туркменистана, в зависимости от состояния техники и гидрогеологических условий.*

Нефтяная отрасль в Туркменистане является одной из ведущих. За последнее время добыча нефти в стране увеличивается с каждым годом. Пластовые воды являются постоянным спутником нефти. Увеличение добычи нефти приводит к неизбежному увеличению добываемой попутной и

пластовой воды (ПДВ), количество которой по отношению к самой нефти может достигать 90 %, а порой и 95 % [1].

Уже долгое время ПДВ считается одним из серьезных источников загрязнения окружающей среды и обводненных территорий, так как содержит в себе значительное количество токсичных элементов, таких как стронций, бор, бром, йод, рубидий и других микрокомпонентов, а также остатков нефтепродуктов и химических реагентов, которые используются в процессе нефтедобычи.

Кроме того, утилизация ПДВ является большой проблемой в нефтедобывающем деле. Во-первых, попутные воды обладают высоким содержанием, что является одной из основных причин коррозии буровых установок. Во-вторых, современные предприятия стремятся к ZLD-технологии (технологии нулевого сброса), а именно стараются по максимуму вернуть в цикл все технологические потоки. Именно поэтому попутные воды стараются использовать в самом процессе нефтедобычи, например, в качестве базы для приготовления буровых растворов, а также для поддержания давления в пластах.

С другой стороны, попутно добываемые воды обладают высокой минерализацией и могут служить источником ценных компонентов.

Помимо стандартных компонентов, таких как магний, кальций, натрий в ПДВ присутствуют и достаточно редкие компоненты как цезий, стронций, рубидий, йод, бром и другие, которые имеют перспективы в промышленности.

Вопрос о полном химическом и физико-химическом анализе попутно добываемых вод является весьма актуальным в нефтяной отрасли. Большинство источников приводят в основном поэлементный состав. Такие данные, возможно, будут интересны в случае очистки и утилизации пдв, но не в выделении из нее конкретных компонентов, где важны исследования возможных форм существования солей в «нефтяной воде» и других соединений. Например, важно учитывать, что стронций, кальций, литий, натрий очень сложно выделить из водных растворов в следствии сильного электроотрицательного характера. А объем производства этих компонентов гораздо меньше, чем потребность промышленности в них [3; 4].

В качестве «классических» методов очистки ПДВ в основном применяют, отстаивание, флотацию, коагуляцию, адсорбцию.

Отстаивание является традиционным методом очистки попутно добываемых вод, которое в свою очередь можно подразделить на реагентное (с применением флокулянтов) и безреагентное [2].

Последнее обычно в нефтепромышленности не применяется. Данный метод является наиболее дешевым и простым в исполнении. В то же время он достаточно громоздкий недостаточно эффективный для современного

производства. Более того, как самостоятельный метод переработки ПДВ, оно не решает поставленную задачу по выделению из воды компонентов.

В зарубежной практике часто применяют флотацию в качестве методов очистки ПДВ. Она хорошо справляется с удалением остаточных нефтепродуктов и взвесей. В качестве примера показаны технологические схемы очистки попутных нефтяных вод с использованием индукционного газового флотатора и с гидроциклонами [5; 6].

Эффективность флотационной очистки не позволяет получить воду качества, соответствующего нормам ПДК. Помимо того, все компоненты, в том числе и ценные, удаляются в виде шлама.

Для интенсификации отстаивания и флотации применяют коагуляцию. Она проста и доступна.

Повысить эффективность можно, используя в качестве коагулянта сернокислого алюминия.

Применяя коагуляцию вместе предварительным отстаиванием, можно добиться достаточно чистой технической воды.

Адсорбционные методы очистки обычно применяют для удаления органических примесей, ароматических нитросоединений. Несравненным преимуществом данного метода в его способности очищать стоки с достаточно низкими концентрациями примесей. В качестве сорбентов в основном используют глину, силикогель, активированный уголь, реже золу, опилки.

Фильтрация также является распространенным достаточно методом очистки ПДВ. В качестве фильтрующего элемента применяется песок, полимерные волокна. Были попытки заменить загрузочный материал на диатомит. Качество очистки было значительно выше, но вместе с тем увеличились расходы на исходный материал и время про фильтрации. Хорошо показали себя пористые наполнители (кварцевые фильтры с направлением фильтрации сверху вниз).

В связи с повышением требований к качеству переработки ПДВ необходимо внедрение современных методов. Мембранная технология достаточно давно используется в промышленной водоподготовке.

В основном для очистки воды и выделения из нее компонентов применяют баромембранные методы разделения, а именно, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и обратный осмос.

1. Обратный осмос (ОО) является наиболее эффективным методом обессоливания воды. Но, в случае переработки ПДВ, его нельзя считать оптимальным, так как не выполняется задача выделения отдельных компонентов. Более того, ПДВ имеет высокое общее солесодержание. Следовательно, для очистки ее обратный осмос необходимы высокие рабочие давления, создание которых требуют больших затрат.

2. Наночистка (НФ) с точки зрения выделения компонентов является более эффективным методом переработки ПДВ, чем обратный осмос. С помощью НФ выделяют двухвалентные ионы, такие как магний, кальций, стронций. Недостатком такого метода в нефтепромышленной области является отсутствие на мембранном рынке керамических наночисточных мембран. Полимерные мембраны получили большую популярность в основном из-за относительно невысоких цен, простоты изготовления и удобства эксплуатации. Но, несмотря на все положительные аспекты, у них есть значительный недостаток: они обладают низкой температурной и химической стойкостью.

Даже пройдя все стадии предварительной очистки, попутная вода не перестает иметь в своем составе следы нефти, которая в течение нескольких часов работы мембранной установки успевает осесть на мембране, тем самым загубив весь процесс.

3. Ультрачистка (УФ) имеет преимущество в данном вопросе, так как мембраны для этого процесса могут изготавливаться как из полимерных, так и неорганических материалов (например, керамики), а керамика в процессе переработки ПДВ является на данный момент оптимальным материалом. Несмотря на свою дороговизну, керамика практически лишена всех недостатков полимерных аналогов: устойчива к высоким температурам и окислителям. Эти качества значительно упрощают процесс регенерации мембраны, и увеличивают срок ее службы.

Совмещением технологических процессов можно добиться не только высокого качества очищенной воды, но и выделения в качестве продуктов отдельных ценных компонентов. Например, при очистке ПДВ методом УФ можно ввести специальные реагенты, образующие комплексы с различными ионами. Такой метод называется реагентной УФ.

Зная физико-химические свойства каждого компонента ПДВ, можно добиться фракционирования исходных веществ ПДВ.

На основании анализа литературных данных был разработан следующий план эксперимента:

1. Проанализировав возможные составы ПДВ месторождений нефти, выбрать модельные растворы, имитирующие особенности физико-химического взаимодействия в системе.

2. Провести физико-химический анализ компонентного состава ПДВ. Выявить существование возможных форм соединений, солей. Изучить факторы, влияющие на состав в целом и на каждый компонент в отдельности. Подобрать вещества, селективно связывающие отдельные компоненты.

3. Выявить оптимальные параметры проведения эксперимента.

4. Определить эффективность процессов УФ, НФ, обратного осмоса в задачах очистки и фракционирования ПДВ.

5. Предложить возможные варианты технологических схем, с использованием мембранных методов.

### Литература

1. Валовский, К. В. Новые технологии по повышению рентабельности высокообводненных скважин, оборудованных УЭЦН / К. В. Валовский, Г. Ю. Басос, В. М. Валовский, А. Р. Рахманов, Р. Н. Ахмадиев // Георесурсы. – 2012. – №3(45).

2. Ланина, Т. Д. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов: монография / Т. Д. Ланина, В. И. Литвиненко, Б. Г. Варфоломеев. – Ухта: УГТУ, 2006. – 172 с.

3. Виноград, Н. А. Современное производство йода из гидроминерального сырья в странах СНГ / Н. А. Виноград // Вестник СПбГУ. – 2003. – № 3(23). – С. 104–107.

4. Ланина, Т. Д. Интенсификация процесса выделения магния из пластовых вод месторождений углеводородного сырья / Т. Д. Ланина, О. А. Карманова, Е. С. Комиссарова // Известия Коми научного центра УРО РАН. – 2010. – № 2(2). – С. 70–72.

5. Мубарак А. Обзор используемого оборудования и химикатов при очистке воды, используемой в нефтяной промышленности / П. Михалюк., В. Эванс // Международная Каспийская выставка и конференция по нефти и газу: материалы Междунар. конф. – Баку, 1994. – С. 44.

6. Михалюк П. О последних достижениях в области очистки подтоварной воды для ее дальнейшего использования в системах нагнетания или сброса в окружающую среду / П. О. Михалюк, А. Мубарак // Англо-казахский семинар по нефти, газу и нефтехимическим продуктам: материалы Междунар. конф. – Алма-Ата, 1994. – С. 26.

УДК 628.31

### **Сравнительный анализ подходов к классификации очистных сооружений сточных вод населенных пунктов в Республике Беларусь и Российской Федерации**

Ахмадиева Ю. И.<sup>1</sup>, Дубенок С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты анализа подходов к классификации очистных сооружений сточных вод населенных пунктов Республики Беларусь и Рос-*

*сийской Федерации. Сформулированы общие признаки и различия в применяемых классификациях и требованиях к качеству очистки сточных вод. Представлено распределение очистных сооружений сточных вод Республики Беларусь в соответствии с существующими классификациями.*

Очистные сооружения сточных вод населенных пунктов (далее – ОССВНП) при исторически сложившейся схеме канализования населенных пунктов, когда производственные сточные воды подлежат совместному отведению и очистке с хозяйственно-бытовыми сточными водами населенного пункта, являются основными «поставщиками» загрязняющих веществ в окружающую среду.

В мировой практике основные требования в части нормирования допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод ОССВНП зависят напрямую от их производительности: чем выше производительность очистных сооружений, тем более жесткие требования установлены к очистке сточных вод. При этом подходы к классификации ОССВНП по производительности отличаются в разных странах, соответственно к ОССВНП одной производительности в разных странах могут предъявляться различные требования к качеству очищаемых сточных вод.

Для сопоставления требований к качеству очищаемых сточных вод, сбрасываемых с ОССВНП биологической очистки в искусственных условиях в поверхностные водные объекты, проведен анализ подходов к классификации ОССВНП в Республике Беларусь и Российской Федерации.

В Республике Беларусь действует государственный стандарт СТБ 17.06.02-03-2015 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод» (далее – СТБ 17.06.02-03-2015) [1], который устанавливает классификацию очистных сооружений сточных вод с учетом их назначения, процессов, используемых при очистке сточных вод и обработке осадка сточных вод, видов очищаемых сточных вод, уровня централизации системы очистки сточных вод объекта канализования, а также производительности очистных сооружений сточных вод.

СТБ 17.06.02-03-2015 подразделяет ОССВНП на три группы в зависимости от производительности, оцениваемой массе органических веществ (кг БПК<sub>5</sub>/сут), содержащихся в сточных водах, поступающих на ОССВНП, а также по эквиваленту населения (далее – ЭН), определяемому в соответствии с СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» (далее – СН 4.01.02-2019) [2]:

- малой производительности – менее 600 кг/сут (менее 10000 ЭН);
- средней производительности – от 600 до 6000 кг/сут (от 10000 до 100000 ЭН);



– большой производительности – более 6000 кг/сут (более 100000 ЭН).

В зависимости от производительности, оцениваемой по расходу очищаемых сточных вод, ОССВНП подразделяются на шесть групп:

- А – более 280000 м<sup>3</sup>/сут;
- Б – от 100000 до 280000 м<sup>3</sup>/сут;
- В – от 50000 до 100000 м<sup>3</sup>/сут;
- Г – от 5000 до 50000 м<sup>3</sup>/сут;
- Д – от 200 до 5000 м<sup>3</sup>/сут;
- Е – менее 200 м<sup>3</sup>/сут.

Необходимо отметить, что нормирование сбросов сточных вод с ОССВНП также основано на классификации этих очистных сооружений по производительности, выраженной через ЭН, что закреплено в постановлении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» (далее – постановление № 16) [3].

В соответствии с приложением 1 к инструкции о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод, утвержденной постановлением № 16, ОССВНП в зависимости от ЭН подразделяются на пять групп:

- до 500 человек (до 30 кг/сут);
- 501-2000 человек (от 30 до 120 кг/сут);
- 2001-10000 человек (от 120 до 600 кг/сут);
- 10001-100000 человек (от 600 до 100000 кг/сут);
- более 100001 человека (более 6000 кг/сут).

Для каждой из пяти групп установлены прямые допустимые значения показателей и концентрации загрязняющих веществ при осуществлении сброса загрязняющих веществ с ОССВНП в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод. Таким образом, в соответствии с существующим в республике подходом к установлению нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод ОССВНП по ХПК<sub>Cr</sub>, БПК<sub>5</sub>, взвешенным веществам, аммоний-иону, азоту общему и фосфору общему, учитывается только ЭН (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения).

В Российской Федерации в настоящее время действует информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» [4], содержащий классификацию очистных сооружений централизованных систем водоотведения, поселений или городских округов, предназначенных для очистки

смешанных (городских) сточных вод (далее – ОС ЦСВ) по диапазонам мощности (табл. 1).

Данная классификация разработана с использованием классификации типов поселений по Градостроительному кодексу Российской Федерации [6] от их численности и принята как основа для установления Правительством Российской Федерации технологических показателей наилучших доступных технологий (далее – НДТ) в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов.

Следует отметить, что в действующей редакции постановления Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 года № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов» [7] вместо расхода сточных вод (столбец 2, табл. 1) принят объем сброса сточных вод в водный объект. При этом наименование категорий ОС ЦСВ и соответствующий им диапазон объема сброса сточных вод в водный объект (расхода сточных вод) соответствует ИТС 10–2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» [4].

Таблица 1

Классификация ОС ЦСВ по диапазонам мощности

Наименование диапазона мощности ОС ЦСВ	Расход поступающих сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	Нагрузка по БПК <sub>5</sub> на ОС ЦСВ со сточными водами, поступающими из населенного пункта, кг/сут	Условная численность, в единицах эквивалентной численности жителей, определяемой в соответствии с [5]
Сверхмалые	10–100	3–30	50–500
Малые	100–1000	30–300	500–5 тыс
Небольшие	1–4 тыс	300–1200	5–20 тыс
Средние	4–10 тыс	1200–3000	20–50 тыс
Большие	10–40 тыс	3–12 тыс	50–200 тыс
Крупные	40–200 тыс	12–60 тыс	200 тыс.–1 млн
Крупнейшие	200–600 тыс	60–180 тыс	1–3 млн
Сверхкрупные	свыше 600 тыс	более 180 тыс	более 3 млн

Технологические показатели НДТ представляют собой среднегодовые значения концентрации загрязняющих веществ в смешанных (городских) сточных водах, сбрасываемых в водные объекты и устанавливаются для

ОС ЦСВ с учетом их категории в зависимости от объема сброса сточных вод в водные объекты, а также категории водных объектов или их частей, в которые осуществляется сброс сточных вод.

В свою очередь категории водных объектов или их частей, в которые осуществляется сброс сточных вод, для целей установления технологических показателей НДТ определяются Правилами отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей НДТ в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов (далее Правила) [8]. В соответствии с Правилами [8] определены четыре категории водных объектов, а также критерии отнесения водных объектов или их частей к той или иной категории.

Отнесение водных объектов или их частей к той или иной категории осуществляет Федеральное агентство водных ресурсов. Сведения о присвоении водному объекту или его части категории предоставляется Федеральным агентством водных ресурсов в порядке предоставления государственной услуги по предоставлению сведений из государственного водного реестра.

Перечень технологических показателей НДТ для ОС ЦСВ включает в себя: взвешенные вещества, ХПК, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов, фосфор фосфатов. Значения технологических показателей НДТ в зависимости от категории ОС ЦСВ по мощности и категории водного объекта – приемника сточных вод установлены в Приложении 2к [7].

Таким образом, изучив подходы к классификации ОССВНП, а также требованиям к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых с ОССВНП в водные объекты, в Республике Беларусь и Российской Федерации можно выделить следующие общие признаки и отличия.

К общим признакам относятся:

- классификация ОССВНП по производительности, оцениваемой по расходу очищаемых сточных вод;
- классификация ОССВНП по массе органических веществ, содержащихся в сточных водах, поступающих на ОССВНП, а также по ЭН;
- классификации ОССВНП заложены в основу нормирования загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в водные объекты.

При этом существует ряд отличий:

- по количеству групп ОССВНП для каждой из рассматриваемых классификаций и, соответственно, по диапазону значений расхода очищаемых сточных вод и массе органических веществ, поступающих на ОССВНП;
- классификацией ОССВНП, заложенной в основу нормирования в Республике Беларусь, является классификация ОССВНП по массе органических веществ (ЭН), в то время как в Российской Федерации технологи-

ческое нормирование на основе НДТ основано на классификации ОССВНП по производительности, оцениваемой по расходу очищаемых сточных вод;

– перечень загрязняющих веществ (технологических показателей НДТ), по которым доводятся прямые нормы (требования к качеству очищенных сточных вод), в Российской Федерации шире;

– при нормировании загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, в Республике Беларусь не используется категорирование водных объектов-приемников сточных вод.

Таким образом, наличие общих фундаментальных подходов к классификации ОССВНП и требованиям к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых с ОССВНП в водные объекты, позволяет сопоставить распределение ОССВНП Республики Беларусь с использованием различных классификаций (табл. 2).

Таблица 2

Распределение ОССВНП Республики Беларусь с применением существующих классификаций

Классификация, применяемая в Республике Беларусь		Классификация, применяемая в Российской Федерации		
ЭН (масса органических веществ, поступающих на очистные сооружения)	Количество ОССВНП, единиц	Объем сброса сточных вод в водный объект, м <sup>3</sup> /сут	Нагрузка по БПК <sub>5</sub> на ОС ЦСВ	Количество ОССВНП, единиц
до 500 человек (до 30 кг/сут)	39	Сверхмалые (10–100)	3–30 кг/сут	29
501–2000 человек (от 30 до 120 кг/сут)	24	Малые (101–1000)	30–300 кг/сут	39
2001–10000 человек (от 120 до 600 кг/сут)	29	Небольшие (1001–4000)	300–1200 кг/сут	45
10001–100000 человек (от 600 до 6000 кг/сут)	53	Средние (4001–10000)	1200–3000 кг/сут	22
более 100001 человека (более 6000 кг/сут)	20	Большие (10001–40000)	3–12 тыс кг/сут	18
–	–	Крупные (40001–200000)	12–60 тыс кг/сут	9
–	–	Крупнейшие (200001–600000)	60–180 тыс кг/сут	2
–	–	Сверхкрупные (свыше 600000)	более 180 тыс кг/сут	1

Сопоставительный анализ данных табл. 2 указывает, что основная доля ОССВНП Республики Беларусь (53 ед.) в соответствии с национальной классификацией, относится к группе с ЭН 10001-100000 человек (от 600 до 6000 кг/сут). Следует отметить, что для данной группы ОССВНП в соответствии с постановлением № 16, при нормировании используется полный перечень загрязняющих веществ, включающий азот общий и фосфор общий. При этом при применении классификации Российской Федерации эти же 53 ОССВНП были бы распределены в 4 группы.

Таким образом, применение действующего в Российской Федерации категорирования ОССВНП по объему сброса сточных вод в водный объект позволяет более дифференцированно подходить к классификации ОССВНП, что является преимуществом при выборе технологии очистки сточных вод в качестве наилучших доступных технических методов.

Учитывая полученные результаты анализа, а также положительный опыт перехода Российской Федерации на технологическое нормирование ОС ЦСВ на основе НДТ, целесообразно рассмотреть вопрос совершенствования существующей в Республике Беларусь системы нормирования сбросов сточных вод в части внедрения категорирования ОССВНП по объему сброса сточных вод в водные объекты и водных объектов–приемников сточных вод.

### Литература

1. СТБ 17.06.02–03–2015. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод. – Введ. 2015–05–25. – М.: Госстандарт, 2015. – 27 с.
2. СН 4.01.02–2019. Канализация. Наружные сети и сооружения вод. – Введ. 2019–10–31. – М.: Минстройархитектуры, 2020. – 85 с.
3. О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 26 мая 2017 г., № 16 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
4. ИТС 10–2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. – Введ. 2019–12–12. – М.: Росстандарт РФ, 2019. – 434 с.
5. СП 32.13330.2018. СНИП 2.04.03–85 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 2018–12–25. – М.: Минстрой России, 2018. – 113 с.
6. Градостроительный кодекс Российской Федерации: [принят Государственной думой 22 декабря 2004 г.]; офиц. текст: по состоянию на 1 апр. 2024 г. / М-во юстиции Рос. Федерации. – М.: ГУ – издательство

«Юридическая литература» Администрации Президента РФ, 2004. – 74 с.

7. Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов: постановление Правительства Российской Федерации, 15 сентября 2020 г., № 1430 // ГАРАНТ. Информационно-правовой портал / ООО «НПП «ГАРАНТ-СЕРВИС». – Москва, 2024.

8. Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов: постановление Правительства Российской Федерации, 26 октября 2019 г., № 1379 // ГАРАНТ. Информационно-правовой портал / ООО «НПП «ГАРАНТ-СЕРВИС». – Москва, 2024.

УДК 631.3

**К вопросу повышения эффективности водоподъемного оборудования в технологических процессах подачи и подготовки воды применением синхронного привода на постоянных магнитах**

Башко Ю. А.<sup>1</sup>, Козорез А. С.<sup>2</sup>, Лихтар С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства

НАН Республики Беларусь»,

<sup>2</sup>ОАО «Завод Промбурвод»

Минск, Республика Беларусь

*В статье приведен анализ эффективности применения скважинных электронасосных агрегатов в технологических процессах подачи и подготовки воды с приводом посредством погружных синхронных электродвигателей на постоянных магнитах и асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, представлены направления повышения эффективности водоподъемного оборудования в технологических процессах водоснабжения применением синхронного привода с частотным регулированием и результаты их реализации в процессе подконтрольной эксплуатации в условиях ВКХ Республики Беларусь.*

Подземные водоносные горизонты Республики Беларусь обладают значительным запасом подземных вод. В настоящее время на территории Беларуси разведаны и утверждены балансовые запасы пресных подземных вод в количестве 6,35 млн куб. м/сут по категориям А + В + С1 (или

2317,75 млн куб. м/год) на 609 месторождениях пресных подземных вод, из них на 605 месторождениях – для хозяйственно-питьевых нужд, четырех месторождениях – для технических целей [1]. Они являются главным источником водоснабжения городов и населенных пунктов в Республике Беларусь. Однако, при обилии количества подземных вод они не все отвечают требованиям, предъявляемым к воде питьевого качества. Поэтому основными задачами определенными Программным документом [2] являются обеспечение потребителей водоснабжением питьевого качества и централизованными системами водоснабжения.

Для решения поставленных задач необходимо с 2021 по 2025 годы осуществить ряд технико-технологических мероприятий:

- строительство около 800 станций обезжелезивания воды;
- переподключение более 100 населенных пунктов к существующим централизованным системам водоснабжения с водой питьевого качества, перевод г. Минска на 100% водоснабжение из артезианских скважин;
- строительство около 300 водозаборных скважин, иные мероприятия, направленные на обеспечение потребителей водоснабжением питьевого качества;

При этом повышение надежности систем водоснабжения должно позволить ежегодно сокращать необоснованные потери и неучтенные расходы воды в целях достижения их значения не более 12 процентов.

В Республике Беларусь технологические схемы водоснабжения для городов охарактеризованы централизованными водозаборами, где технологический процесс определен системами подъема воды из водозаборных скважин и подачи в общий водовод водозабора и обозначен технологическим оборудованием в составе группы параллельно работающих погружных центробежных электронасосных агрегатов.

Для небольших населенных пунктов и автономных объектов (санатории, базы отдыха, кемпинги и пр.) характерны следующие технологические схемы водоснабжения [3]:

- вода из скважины подается непосредственно в водопроводную сеть;
- вода из скважины поступает в промежуточный резервуар, откуда насосной станцией 2-го подъема подается в сеть;
- вода из скважины подается в водонапорную башню, и далее в водопроводную сеть.

Анализ технологических схем водоснабжения показывает, что качественные показатели питьевой воды определяются не только качеством воды в подземных источниках, но и используемыми технологиями подъёма и подачи из артезианских скважин, водоподготовки, а также качеством и надежностью обеспечения параметров технологического процесса

насосным и технологическим оборудованием водозаборов, станций водоподготовки и инженерных сетей.

Эксплуатационная надежность систем водоснабжения определяется правильным подбором и техническими возможностями насосного оборудования, а также систем их привода и управления, обеспечивающих оптимальные характеристики и параметры работы насосного агрегата в соответствии с изменяющейся характеристикой сети.

Кроме того, согласованная работа на сеть является основой энергоэффективного использования насосного оборудования, т. е. рабочая точка должна находиться в рабочем диапазоне характеристики насоса. Рабочая точка определяется характеристиками насоса и системы, в которой установлен насос. Выполнение этого требования позволяет эксплуатировать насосы с высокой эффективностью и надежностью.

Практически это возможно при постоянстве потребления из сети, если бы разбор воды был постоянный, не существовало пиковых нагрузок.

Однако практика показывает, что суточный график потребления воды от минимума до максимума может колебаться в пределах 4-х раз. Так, например, в поселке с суточным потреблением 380 м<sup>3</sup> воды, расход в ночное время составляет от 6 до 14 м<sup>3</sup>/ч, в час пик – от 16 до 25 м<sup>3</sup>/ч. Как правило, существуют колебания разбора воды в зависимости от дня недели, времени года.

Исследования показывают, что в действительности очень часто насосное оборудование эксплуатируется за пределами рабочей области, точки 2 и 3 рис. 1, из-за изменения суточного водопотребления.

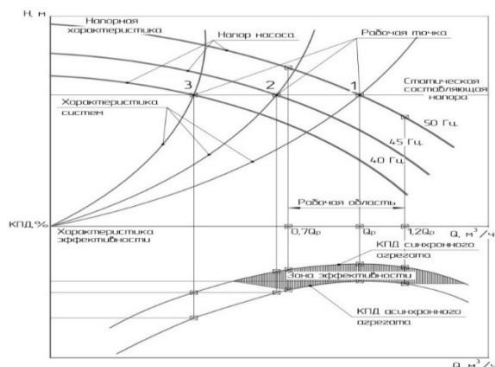


Рис. 1. Напорно-расходная характеристика погружного электронасосного агрегата с синхронным и асинхронным приводом и характеристика системы при изменении частоты питания с применением частотного преобразователя



Основой эффективного использования насосного оборудования является согласованная работа на сеть, т.е. рабочая точка 1 (рис. 1) должна находиться в рабочей области характеристики насоса. Рабочая точка 1 определяется пересечением характеристик насоса и системы, в которой установлен насос. Рабочая область ограничивается по минимальной подаче  $0,7 Q_p$  и максимальной  $1,2 Q_p$ . Выполнение этого требования позволяет эксплуатировать насосы с высокой эффективностью и надежностью.

На рис. 1 представлены характеристики эффективности работы насоса с асинхронным и синхронным электродвигателями, напорные характеристики насоса и характеристики системы с применением частотного преобразователя. Характеристика сети показывает зависимость её гидравлического сопротивления от расхода воды.

Основным фактором, вынуждающим применять частотные преобразователи на скважинных электронасосных агрегатах с приводом от асинхронных электродвигателей, это их эксплуатация с переразмеренным насосом с большим запасом по подаче и напору, или так называемое несоответствие агрегата системе водоснабжения.

Вторым фактором применения частотных преобразователей потребители пытаются оправдать вышеупомянутое отсутствие накопительных резервуаров и водонапорных баков, или их дорогой стоимостью. Но в данном случае разбор воды очень неравномерен, кроме неэффективного применения насосного оборудования в соответствии с графиком, необходимо организовать принудительное охлаждение электродвигателя, что в условиях скважины сделать невозможно. Поэтому при работе на сеть невозможно использовать частотный преобразователь без промежуточной накопительной емкости или гидроаккумулятора соответствующего объема.

Также необходимо помнить, что при наличии статической составляющей в напорной характеристике системы водоснабжения, применение частотного регулирования не повышает экономическую эффективность использования скважинных насосов, а лишь позволяет уменьшить объемы и соответственно габариты промежуточных емкостей, а также снизить риск появления гидравлических ударов, снизить пусковые токи, избежать избыточного давления в системе.

Все эти недостатки снимаются при применении синхронного электродвигателя на постоянных магнитах. При этом для запуска и управления синхронного двигателя с ротором на постоянных магнитах обязательно требуется применение частотного преобразователя, который кроме запуска осуществляет комплексную защиту двигателя и насоса, обеспечивая долговечность и надежность работы системы подачи воды.

Опыт подконтрольной эксплуатации показал, что система управления с частотным преобразователем может выполнять целый ряд сервисных функций:

- контроль работы группы параллельно работающих насосов;
- автоматическая остановка насоса при отсутствии расхода (спящий режим);
- автоматическое обнаружение порывов водопровода и сокращение потерь воды из-за утечек (2–7 %);
- автоматический переход в ночной режим (пониженное давление) или в режим выходных или праздничных дней и т. д.

Из графика (рис. 1) можно выделить зону эффективности работы насосного оборудования водозаборных скважин с синхронным двигателем на постоянных магнитах. Эта зона эффективности показывает, что один электронасосный агрегат с синхронным двигателем дает возможность перекрытия ряда типоразмеров по подаче и напору электронасосных агрегатов с асинхронным двигателем.

Проведенные испытания электронасосного агрегата СПА 4-8-100 нро с синхронным двигателем подтвердили снижение типоразмерного ряда по напору и подаче эксплуатируемых электронасосных агрегатов. Данный агрегат перекрывает рабочую область 42 агрегатов различных типоразмеров и модификаций с асинхронным приводом, представленных на рис. 2.

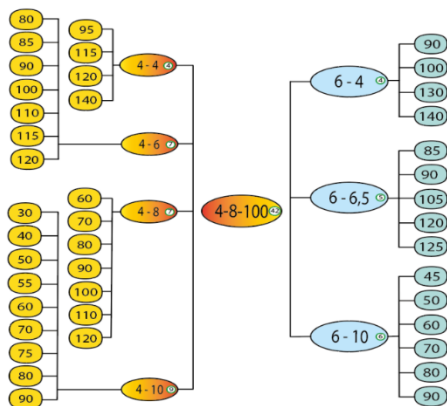


Рис. 2. Схема замены электронасосных агрегатов с асинхронным приводом на один агрегат с синхронным приводом

Это даёт колоссальное преимущество водоснабжающим организациям в плане снижения резервного складского запаса по насосам и снижения отвлечения денежных средств на эти цели.

Кроме того, частотное регулирование электронасосного агрегата с синхронным приводом позволяет исключить частые пуски агрегата, свойственные системам с малоёмкостными баками. Мягкий пуск электронасосного агрегата и регулируемое время ускорения и замедления исключают гидроудары в магистрали и захват песка из скважины. Регулирование скорости вращения рабочего колеса насоса позволяет обеспечивать поддержание заданного давления при изменении расхода даже в прямоточных системах водоснабжения. При этом исключается необходимость применения регулирующей задвижки и, следовательно, избыточных энергетических затрат на дросселирование.

В конечном итоге, результаты исследований эффективности в процессе подконтрольной эксплуатации и внедрения насосных агрегатов с синхронным приводом для подъема воды из артезианских скважин в системах питьевого водоснабжения Республики Беларусь показали, что управление и регулирование частоты электронасосных агрегатов с синхронным приводом и преобразователем частотным в сравнении с асинхронным приводом позволяет получать [4, с. 109]:

- высокий КПД и экономию энергии в зависимости от реального водопотребления;
- сокращение удельных затрат и снижение себестоимости подачи питьевой воды из водозаборных скважин;
- срок окупаемости инвестиций, вложенных в замену агрегатов электронасосных с асинхронными электродвигателями на высокоэффективные системы подачи воды, окупятся в течение полутора – двух лет;
- снижения около 10 % удельного расхода электроэнергии на выполнение технологического процесса подъема воды из водозаборных скважин;
- повышение долговечности водоподъемного и водопроводного оборудования за счет стабилизации давления и исключения гидравлических ударов.

Принимая во внимание все конструктивные особенности синхронного привода, требования к непрерывности выполнения им технологического процесса, насосные агрегаты с синхронным приводом следует рекомендовать к применению:

- для всех систем водоснабжения с частотно-регулируемым управлением насосными агрегатами без применения водонапорной башни, где подача воды обеспечивается изменением скорости рабочего колеса насоса в зависимости от реального водопотребления, т.е. электроэнергия фактически затрачивается для обеспечения напора и подачи воды. Такое снижение

частоты вращения насосов, при неизменных параметрах сети приводит к снижению на 5–40 % энергопотребления системы;

– для комбинированных систем водоснабжения, используя постоянный запас воды в водонапорной башне при возникновении пиковых нагрузок в системе водоснабжения. Использование дополнительных резервуаров для работы во время пиковых нагрузок снижает на 10–20 % энергопотребления системы;

– для систем подъема воды из водозаборных скважин на водозаборе в составе группы параллельно работающих агрегатов. Регулирование путем изменения количества параллельно работающих насосов дает снижение на 10–30 % энергопотребления системы.

В конечном итоге применение в рассмотренных технологиях водоснабжения агрегата с синхронным приводом кроме экономии электроэнергии однозначно позволяет [4, с. 111] снизить капитальные затраты на сооружение системы водоснабжения и повысить долговечность водоподъемного и водопроводного оборудования за счет стабилизации давления и исключения гидравлических ударов.

### Литература

1. Водные ресурсы в Республике Беларусь 2023. Национальное агентство инвестиций и приватизации Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.by/view>. – Дата доступа: 12.03.2024.

2. Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 50) [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/>. – Дата доступа: 12.03.2024.

3. Опыт разработки и эксплуатации автоматизированных безнапорных станций обезжелезивания серии «Кристалл-Б» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polymercon.com/press-centr/publications/117>. – Дата доступа: 15.03.2024.

4. Козорез, А. С. Скважинные электронасосные агрегаты с синхронными электродвигателями на постоянных магнитах / А. С. Козорез, В. О. Китиков, Ю. А. Башко. – Минск: Беларус. наука, 2023. – 163 с.

## Совершенствование платы за сброс сточных вод

Волошина А. А.<sup>1</sup>, Колобаев А. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УП «Минскводоканал»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Действующая система взимания платы за отведение сточных вод в природные водные объекты имеет следующие существенные недостатки: 1) не учитывается масса сброса загрязняющих веществ, которая может быть превышена даже при условии, что концентрации загрязняющих веществ находятся в пределах нормы, т.е. ниже максимально допустимых; 2) отсутствуют понижающие коэффициенты (или другие налоговые льготы) для предприятий, которые сбрасывают свои сточные воды с концентрациями загрязняющих веществ значительно меньшими, чем допустимые; 3) при определении размера возмещения вреда за сверхнормативное загрязнение не учитываются погрешности регистрируемых исходных данных о концентрациях загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах. Для устранения этих недостатков предлагается установить повышающие и понижающие коэффициенты к ставкам экологического налога в зависимости от соотношений между фактическими и допустимыми концентрациями загрязняющих веществ в сточных водах с учетом их объемов.*

На современном этапе развития общества экономика природопользования в качестве механизма воздействия государством на субъекты экономики представлена экологическим налогом. Экологический налог – это плата субъектов хозяйствования за вредное воздействие на окружающую среду, которое они оказывают при осуществлении хозяйственной деятельности. Этот налог призван стимулировать сокращение вредного антропогенного воздействия на окружающую среду. Одним из примеров такого воздействия является сброс сточных вод в поверхностные водные объекты. **Плата за сброс сточных вод** во всех странах мира трактуется как плата за загрязнение и предназначена для экономического давления на водопользователей, побуждая последних применять безотходные и малоотходные технологии, осуществлять глубокую очистку сточных вод и другие мероприятия по охране природных водных объектов. Кроме экологического налога предусматривается также и возмещение вреда, причиненного водному объекту за сверхнормативное загрязнение вследствие превышения нормативов качества сбрасываемых сточных вод.

В большинстве стран Европейского Союза плата за сброс сточных вод устанавливается в зависимости от массы загрязняющих веществ, которые содержатся в сбрасываемых сточных водах. При этом выбор перечня загрязняющих веществ производится территориальными органами управления в зависимости от экологической ситуации в том или ином водном объекте.

Предусматривается также бассейново-территориальная дифференциация ставок платы за сброс загрязняющих веществ в целях снижения загрязненности в верхних частях речного бассейна с перераспределением платежей в пользу территорий, расположенных в нижних частях бассейна. Как правило, информационную платежную базу составляют сведения о массе загрязняющих веществ за один день максимального сброса.

В мировой практике имеет место два основных, принципиально различных, методических подхода к взиманию платы за сброс сточных вод. В большинстве стран мира плата устанавливается в зависимости от количества (массы) загрязняющих веществ, содержащихся в сбрасываемых сточных водах. В других странах плата устанавливается пропорционально объему сточных вод в зависимости от категории их качества (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика платежей за отведение сточных вод в отдельных странах мира

Ставки платежей	Страна	Платежная база
за единицу загрязнения	Бельгия, Литва, Франция	загрязняющие вещества
	Голландия	загрязняющие вещества, способность водотока к самоочищению
	Польша	6 загрязняющих веществ
	Россия	загрязняющие вещества и экологический статус водного объекта
за сверх нормативное загрязнение	Болгария	27 загрязняющих веществ
	Южная Корея, Чешская республика	загрязняющие вещества
за единицу загрязнения с учетом токсичности	Венгрия	32 загрязняющего вещества
	Румыния	20 загрязняющих веществ
	Словакия	5 загрязняющих веществ
	Словения	ХПК и тяжелые металлы

Каждый из этих методических подходов имеет свои достоинства и недостатки.

Первый подход (плата за массу загрязняющих веществ) представляется более обоснованным, поскольку в нем реализуется общепризнанный принцип «загрязнитель платит». Основной недостаток этого подхода - недостаточно обоснованный механизм взимания платы за одновременный сброс нескольких загрязняющих веществ, комбинации которых могут как увеличивать, так и снижать отрицательное воздействие на природные водные объекты.

При втором методическом подходе принцип «загрязнитель платит» в основном реализуется не в экологическом налоге, а в возмещении вреда за сверхнормативное загрязнение. Сбрасывающие сточные воды предприятия не имеют никакого экономического стимула очищать свои сточные воды лучше установленных нормативов. В Республике Беларусь эти нормативы, т. е. предельно-допустимые сбросы (ПДС) и допустимые концентрации (ДК) устанавливаются в разрешениях на специальное водопользование (РСВ) или в комплексных природоохранных разрешениях (КПР), которые выдаются Минским городским и областными комитетами Минприроды соответственно на три и на пять лет. За превышение установленных разрешениями объемов сброса без превышения ДК ставки экологического налога до 2012 г. увеличивались в 15 раз. В настоящее время это правило отменено. При превышении ДК взималась и продолжает взиматься плата в размере вреда, причиненного водной среде.

Европейский Союз (ЕС) имеет одни из самых высоких в мире экологических стандартов, которые были разработаны в течение десятилетий. Экологическая политика помогает экономике ЕС стать более экологически чистой, защищает природные ресурсы Европы, а также защищает здоровье и благополучие людей, живущих в ЕС.

Водопользователи, осуществляющие сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, должны иметь разрешения (лицензии) на сбросы загрязняющих веществ в водные объекты.

В случае отсутствия у водопользователя оформленного в установленном порядке разрешения на сброс загрязняющих веществ, вся масса загрязняющих веществ учитывается как сверхлимитная. Аналогичное требование предусмотрено и законодательством Республики Беларусь.

Существующая в Республике Беларусь практика расчета экологического налога [1] основывается на ставках налога за единицу объем сточных вод при отсутствии превышения фактических концентраций, содержащихся в них загрязняющих веществ над допустимыми концентрациями (ДК), установленными в разрешениях на специальное водопользование. В случае превышения ДК возмещается вред, причиненный водной среде вслед-

ствии загрязнения сточными водами и величина этого вреда определяется в зависимости от сверхнормативного количества (массы) загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах [2].

Действующие с января 2024 г. ставки экологического налога за сбросы сточных вод представлены в табл. 2.

К ставкам экологического налога, указанным в табл. 2, применяются следующие понижающие коэффициенты:

1) за сброс сточных вод для владельцев коммунальной и ведомственной канализации (сброс от населения), для рыбоводных организаций и прудовых хозяйств (сброс с прудов) – 0,006; к сбросу сточных вод владельцами коммунальной и ведомственной канализации (сброс от населения) относятся сброс сточных вод от населения, проживающего в жилых домах, а также сброс сточных вод от объектов здравоохранения, туризма, физической культуры и спорта, социального обеспечения, образования, культуры и искусства, обеспечивающих социально-бытовые нужды населения;

Таблица 2

Ставки экологического налога за сброс сточных вод

Объект обложения экологическим налогом	Ставка экологического налога, руб.	
	Приложение 8 к [1]	Приложение 8 к [1]
Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты, за 1 куб. м:		
в водотоки	0,16	0,17
водоемы	0,18	0,19
Сброс сточных вод в окружающую среду после очистки на сооружениях биологической очистки в естественных условиях (на полях фильтрации, полях подземной фильтрации, в фильтрующих траншеях, песчано-гравийных фильтрах), а также через земляные накопители, за 1 куб. м	0,18	0,19
Сброс сточных вод в недра, за 1 куб. м	9,79	10,52



2) за сброс сточных вод в водные объекты теплоэлектростанциями, использующими в работе: не возобновляемые источники энергии, охлаждение конденсаторов турбин которых осуществляется по прямоточной схеме, – 0,5; возобновляемые источники энергии, охлаждение конденсаторов турбин которых осуществляется по прямоточной схеме, – 0,2.

При получении экологического сертификата предприятие получает дополнительный бонус в виде понижающего коэффициента  $K_{э.с.} = 0,9$  на срок до трех лет.

Налоговым периодом является календарный квартал. Сумма экологического налога исчисляется как произведение налоговой базы и налоговой ставки. Сумма экологического налога также может исчисляться, исходя из установленных годовых объемов сбросов сточных вод, указанных в РСВ или в КИР.

Исчисленная сумма экологического налога за сброс сточных вод уменьшается плательщикам ежеквартально (в размере не более исчисленной суммы экологического налога за сброс сточных вод в указанный период) на сумму освоенных капитальных вложений (за исключением капитальных вложений, финансируемых из бюджета) в строительство и (или) реконструкцию сооружений, установок и (или) устройств, предназначенных для удаления из сточных вод загрязняющих веществ, обработки осадка и выпуска очищенных сточных вод в водные объекты. Плательщики ежеквартально представляют в налоговые органы налоговую декларацию (расчет) не позднее 20-го числа месяца, следующего за истекшим налоговым периодом. Суммы экологического налога за сбросы сточных вод включаются организациями и индивидуальными предпринимателями в затраты по производству и реализации товаров (работ, услуг), имущественных прав, учитываемые при налогообложении. Суммы платы за сверхнормативное загрязнение на себестоимость услуг канализации не относятся, а выплачиваются из прибыли предприятия.

С 1 января 2012 г. отменены:

– 15-кратный коэффициент, применяемый к ставке налога при сбросе сточных вод с превышением лимитов (допустимых объемов сброса);

– коэффициент 1,5, применяемый за сброс сточных вод в окружающую среду при отсутствии водоизмерительных приборов, аппаратуры и устройств.

Однако полная отмена повышающего коэффициента при превышении допустимых объемов сброса представляется необоснованной, так как при отведении сточных вод с превышением их объема, но с фактической концентрацией равной допустимой, требования в области охраны водной среды нарушаются, так как превышает установленная водопользователю величина допустимого сброса (массы сброса загрязняющих веществ). В

этом случае правомерность повышающего коэффициента к ставке налога за 1 м<sup>3</sup> очевидна. Вопрос только в количественном значении коэффициента.

К другим недостаткам действующей системы взимания платы за отведение сточных вод в природные водные объекты относятся:

- отсутствуют понижающие коэффициенты (или другие налоговые льготы) для предприятий, которые сбрасывают свои сточные воды с концентрациями загрязняющих веществ значительно меньшими, чем допустимые;

- даже при незначительном превышении нормированной концентрации загрязняющего вещества при определении величины вреда не предусматривается учет погрешности регистрируемых исходных данных о концентрациях загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что Республика Беларусь нуждается в совершенствовании методики расчета величины платы за отведение сточных вод как без превышения, так и при превышении лимита *объемов* их сброса. С этой целью предлагается:

1. Законодательно требовать возмещения вреда, причиненного водному объекту вследствие сверхнормативного загрязнения не только при превышении допустимых концентраций, но и в случае превышении нормативов допустимых сбросов (допустимой массы загрязняющих веществ) при фактических концентрациях, не превышающих допустимые; альтернативой этому предложению может быть установление повышающих коэффициентов к ставке экологического налога в зависимости от степени превышения фактической массы сброса загрязняющих веществ к максимально допустимой массе. При этом величины повышающих коэффициентов логично определять из условия, чтобы сумма дополнительного налога не превышала размера возмещения вреда.

2. К базовой ставке платы (установленной новой редакцией Налогового кодекса Республики Беларусь [1; 2] (с учетом утверждаемых в рабочем порядке дополнений и изменений) ввести повышающие и понижающие коэффициенты (их можно назвать «поправочные коэффициенты»);

3. Значения поправочных коэффициентов определять в зависимости от соотношения фактической и допустимой массы загрязняющих веществ;

4. При определении коэффициентов учитывать не только максимальное превышение (из всех зарегистрированных), но и превышения по другим нормируемым загрязняющим веществам (в случае их наличия);

Величины повышающих коэффициентов должны определяться из условия, чтобы сумма дополнительного налога не превышала размера возмещения вреда, вычисленного согласно [1; 2].

4) Предусмотреть следующие понижающие коэффициенты при расчете возмещения вреда за сверхнормативное загрязнение:

– **равным нулю**, если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую (установленную в РСВ) не больше, чем на минимальную допустимую ошибку определения (согласно /3/), так как нет оснований считать, что в действительности имело место нарушение водного законодательства, и ущерб не определяется;

– **равным 0,5**, если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую не больше, чем на среднюю допустимую ошибку определения, так как вероятность того, что имело место нарушение водного законодательства близка к 50 %;

– **равным 0,75**, если фактическая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую не больше, чем на максимальную допустимую ошибку определения, так как вероятность того, что имело место нарушение водного законодательства находится в пределах от 50 до 100%.

Конкретные значения поправочных коэффициентов по пп. 2–3 планируется обосновать на основе обобщения и анализа данных о фактических концентрациях загрязняющих веществ в сточных водах типовых предприятий (Минскводоканал, Жодиноводоканал, Мозырский нефтеперерабатывающий завод и пр.),

Предлагаемые повышающие и понижающие коэффициенты будут стимулировать предприятия не только сбрасывать свои сточные воды в пределах допустимых объемов, но и понижать содержание загрязняющих веществ в сточных водах до минимального (по технологическим возможностям) уровня, внедряя наилучшие доступные технологии очистки сточных вод.

### Литература

1. Налоговый кодекс Республики Беларусь в редакции Закона Республики Беларусь от 29.12.2020 г. № 72-3. Минск. Энергопресс, 2020. – 832 с.

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11.04.2022г. №219 «О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и порядке его исчисления»

3. Реестр ТНПА и МВИ в области охраны окружающей среды по разделу «Вода (сточная, поверхностная, подземная)». По состоянию на 01.06.2022 г.

**Ультраструйные технология обработки жидкости  
и диспергирования суспензий**

Галиновский А. Л., Терентьева З. С., Чжо Мью Хтет  
Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана  
Москва, Российская Федерация

*На протяжении последних 20 лет на кафедре СМ12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся работы по инновационному применению известной технологии гидроабразивного резания материалов. Ультраструя жидкости рассматривается не только как специфический режущий инструмент, но и как материал, который сам может быть подвергнут обработке. Высокоскоростной удар ультраструи о преграду приводит к изменениям в структуре жидкости, например, ее стерилизации, причем этот процесс проходит при температуре, не превышающей 70°C. Наличие в ультраструе жидкости различных добавок, например, наносодержащих суспензий, позволяет диспергировать имеющиеся в ней агломераты. Удар ультраструи об условно мягкие мишени, например, серебро или медь, позволяет получать суспензии с этими элементами. Технология ультраструйной обработки жидкофазных сред имеет преимущества в сравнении с другими методами, например, ультразвуковой стерилизацией.*

Инновационно-значимую перспективу внедрения и использования в различных отраслях машиностроения имеет ультраструйная технология, как практически не изученный метод целенаправленного изменения потребительских свойств жидкости, подвергнутой комбинированному высокоэнергетическому воздействию в процессе ультраструйной обработки (УСО). Обобщенную формулировку понятия «ультраструйные технологии» можно записать как совокупность методов и средств создания и реализации таких параметров высокоэнергетической компактной струи жидкости, которые при ее взаимодействии с окружающей средой, например, при ударно-динамическом торможении о твердотельную мишень, способны привести к фиксируемым целенаправленным изменениям в обрабатываемом материале и/или в самой жидкости.

Используя технологическую инверсию понятий: режущий инструмент - обрабатываемый материал в МГТУ им. Н.Э. Баумана было показано, что сверхскоростную струю жидкости можно рассматривать не только как режущий инструмент при гидрорезании материалов, но и как специфиче-

ский обрабатываемый материал – гидротехнологическую среду, подвергаемую ультразвуковой активации.

Физико-техническую основу УСО составляет сжатие обрабатываемой жидкости до сверхвысоких давлений (до 150–600 МПа), продавливание ее через специально профилированное сопло малого диаметра (0,1–0,2 мм), удар и дальнейшее торможение сформированной сверхзвуковой (~800 м/с) компактной ультразвуковой жидкости о преграду (мишень) из эрозионно-стойкого материала, выступающего в роли своеобразного инструмента. Это приводит к изменению свойств различных гидротехнологических сред (ГТС), т. е. к их активации. В качестве обрабатываемой ГТС, могут быть использованы любые жидкофазные среды: вода, растворы, эмульсии, пищевые жидкости, производственные гидроотходы, природные энергоносители (нефть) и т. д. Причем обрабатываемые ГТС могут одновременно насыщаться материалами мишени в процессе их эрозионного разрушения, что позволит создавать суспензии с требуемыми (управляемыми) свойствами. При этом технологическое обеспечение УСО во многом аналогично технической базе гидроэрозии листовых материалов.

Если факторы воздействия на твердотельную мишень (заготовку) высокоскоростной или абразивно-жидкостной струи достаточно изучены, то исследования свойств самой жидкости при действии факторов УСО носят весьма фрагментарный характер. Это объясняется новизной постановки задачи по изучению свойств жидкостей после комплексного энергетически экстремального ультразвукового воздействия на них, в частности ее стерилизации. Тем не менее, результаты проведенных исследований и их анализ показывают, что при УСО жидкости на них оказывают влияние следующие физико-энергетические факторы, способные привести к изменению исходных свойств - активации:

1. Квазистатическое всестороннее сжатие в диапазоне рабочих давлений от 100 до 500 МПа, а в перспективе до 700-1000 МПа, способное инициировать сложную цепочку межмолекулярных и молекулярных взаимодействий, включая макроизменения свойств самой жидкости. Отличительная черта этого энергетически квазистационарного этапа УСО состоит в том, что при указанных давлениях жидкость вполне ощутимо проявляет аномальное для нее свойство сжимаемости, что необходимо учитывать при расчете скорости и температуры ультразвуковой струи, формируемой в специально профилированном сопле.

2. Истечение обрабатываемой ГТС через профилированное сопло малого диаметра. В результате этого имеет место резкое нестационарное ускорение жидкости, ее взаимодействие со стенками сопла. Данный процесс характеризуется весьма интенсивными сдвиговыми деформациями в жидкости, генерированием в пограничном слое акустического и электромаг-

нитного излучения, разогревом жидкости в следствии процессов внешнего и внутреннего трения.

3. Свободное, нестесненное движение жидкости на выходе из сопла. Этот этап ультразвукового технологического воздействия характеризуется: определенным понижением температуры струи из-за расширения сжатой жидкости, небольшими тормозными перегрузками из-за трения гидроструи о воздух (газ) и незначительным газонасыщением жидкостей из-за малого промежутка времени свободного движения струи (~1 мс) и ее частичным диспергированием.

4. Удар и торможение высокоскоростной ультразвуки о мишень. При этом происходят сверхинтенсивные механо-физические ударные явления неравновесно-динамического типа. В частности, возникают сверхмощные колебательные и волновые процессы акустической и электромагнитной природы в широком диапазоне частот. Имеют место вторичные эффекты спреобразования. При этом реализуется переход исходной кинетической энергии ультразвуки в другие виды энергии, в первую очередь тепловую, химическую и поверхностную, что также приводит к увеличению эффекта активации обработанной жидкости.

5. Свободное движение распыленной струи жидкости характеризуется изменением температуры из-за процессов остывания микрокапель, трения капель о воздух (газ) и частичного испарения жидкости. При этом происходит ее интенсивное газонасыщение в спреобразном состоянии. Необходимо также отметить, что помимо вышерассмотренных факторов, на степень активации обрабатываемой ГТС оказывает влияние характер перепада давлений в сопле, дисперсность распыленной жидкости, темп (динамика) цикла: разгон-торможение струи, уровень газонасыщения жидкости, наличие в ней микрочастиц сопла и в особенности материала мишени, а также явление экзоэлектронной эмиссии в зоне ультразвукового взаимодействия.

Помимо обработки самой жидкости (воды) в результате реализации этапов 1-5 перспективным является модификация суспензий, имеющих в своем составе функциональные нанодобавки, которые, в конечном итоге, обеспечивают новые эксплуатационно-технологические свойства материалов. Опыт применения наносодержащих суспензий связан с получением строительных и композиционных материалов, красок и чернил, смазок и масел, гелей и тонких пленок и др., обладающих новыми характеристиками и свойствами. Как правило, одним из этапов технологического процесса производства таких суспензий является их диспергирование, необходимость которого продиктована снижением размера агломератов частиц. Размер частиц влияет на эксплуатационные свойства суспензий или изделий, изготовленных на их основе. На сегодняшний день основным мето-

дом диспергирования суспензий является ультразвуковой метод. Однако у данной технологии есть ряд существенных недостатков, прежде всего это энергоёмкость процесса, высокая длительность обработки, повышение температуры обрабатываемой среды и др. Ее применение зачастую не удовлетворяет предъявляемым требованиям к обработанным этим способом суспензий и ограничивает области практического применения. Данный обрабатываемый материал в результате комплексного воздействия, прежде всего в результате ударно-динамических процессов, изменяет свои свойства, а имеющейся в ней агломераты наночастиц разрушаются, т.е. происходит процесс ультразвукового диспергирования (УД) наносодержащей суспензий.

На основе результатов теоретических исследований и их экспериментальной проверки было доказано, что размер частиц в составе суспензий после УД зависит от вида наноматериала (графен, углеродные нанотрубки, бемит) и находится в диапазоне 1–0,01 мкм, что в 2–8 раз меньше, чем аналогичный размер частиц, полученный после ультразвуковой обработки.

### **Литература**

1. Чжо Мью Хтет. Разработка метода гидроэрозионного насыщения жидкостей микрочастицами материалов мишеней с использованием ультразвуку / Чжо Мью Хтет [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 3(720). – С. 3–14.
2. Чжо Мью Хтет. К вопросу эффективности различных методов диспергирования наносодержащих суспензий / Чжо Мью Хтет [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – № 11. – С. 2–7.

УДК 628.544

### **Перспективы использования отходов станции обезжелезивания**

Горелая О. Н.

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь

*Значимым направлением управления водными ресурсами является поиск эффективных и внедрение доступных технологий по вовлечению в хозяйственный оборот однажды использованных ресурсов.*

Питьевое водоснабжение Республики Беларусь практически полностью обеспечивается из подземных источников. Особенностью подземных водных ресурсов нашего региона является наличие в воде железа в концентрациях (чаще всего двухвалентное в растворенном виде), превышающих

допустимый уровень, установленный СанПиН на уровне 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Как следствие, основным направлением очистки воды от железа является использование станций обезжелезивания в различных вариациях: от упрощенной аэрации до фильтрования на фильтрах с различными загрузками. После очистки воды для хозяйственно-питьевых и производственных целей на станциях очистки образуются значительные объемы осадков очистки промывных вод станций обезжелезивания [1, 2].

При исследовании химического состава отходов промывки фильтров обезжелезивания Гомельского водозабора «Ипуть» установлено, что содержание железа не превышает 55,4 %. При этом в качестве примесных ионов в значительно меньших количествах могут содержаться кремний и алюминий, за счет попадания глинистых частиц и частиц песка в водозаборную скважину из водоносного горизонта, а также ионы кальция и некоторые другие [3–5].

Важным природоохранным направлением является обработка отходов перед их помещением в окружающую среду, так называемые контрольные технологии. Либо в качестве альтернативы можно рассмотреть возможность использования отходов в качестве нового продукта в ином модифицированном виде в хозяйственной деятельности.

В результате анализа литературы выявлено, что информация по ряду направлений использования данных отходов присутствует в нескольких направлениях: преимущественно это производство строительных материалов различного назначения, также производство минеральных удобрений, получение водоземлюльсионной пасты, получение вяжущего и др. Есть ряд исследований, посвященный получению сорбентов и коагулянтов [6–11], например, для очистки водных сред от нефтепродуктов [12; 13]

Шламы водоподготовки используют как без обработки, так и обработанных: методом экструзии, гранулированием в жидкой среде и методом окатывания на тарельчатом грануляторе, таблетирование с добавлением различных связующих жидкостей и т. д.

Из анализа отечественных и зарубежных наработок, было решено продолжить поиск новых эффективных вариантов использования отходов станций водоподготовки. В результате сформировалось предложение использовать отходы станций обезжелезивания для получения сорбционных магнитных материалов [3–5].

Для получения наноразмерных материалов готовились растворы прекурсора железа кислотным выщелачиванием [14; 15]. Для синтеза материалов использовался метод экзотермического горения в растворах. Преимуществами данного метода являются следующие особенности: время подготовительных процедур и синтеза, энергозатраты, масштабируемость – достаточно невелики.



В [3–5] отмечено, что для синтеза использовалось четыре различных восстановителя (глицин, мочеви́на, лимонная кислота и гексаметилентетраамин) при различных температурах синтеза (300–700 °С, шаг 100 °С). Полученные данные свидетельствуют о том, что наилучшие значения получены для образцов, где для синтеза использовалось стехиометрическое количество восстановителя ( $f = 1$ ) в сравнении с результатами для образцов, где количество восстановителя было в 3 раза больше стехиометрического ( $f = 3$ ). То есть установлено, что избыток восстановителя практически не дает более высоких показателей полной статической обменной емкости. Сорбционные свойства полученных материалов было решено оценивать по нефтеемкости по отношению к отработанным маслам. Получаемые магнитные сорбенты обладают хорошей нефтеемкостью – до 7,65 г/г.

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

- отходы станций обезжелезивания являются перспективным объектом для переработки, преимущественно за счет высокого содержания железа;
- наличие железа дает возможность получения материалов с высокой удельной поверхностью и обладающих магнитными свойствами;
- полученные материалы из отходов станций обезжелезивания [16–18] обладают хорошими сорбционными свойствами: удельная поверхность (более 150 м<sup>2</sup>/г – сопоставима с суммарной площадью поверхности пористых адсорбентов); нефтеемкость достигает значения 7,65 г/г; наличие магнитных свойств по сравнению с обыкновенными сорбентами позволит извлекать сорбент из водных сред посредством наведенного магнитного поля, что позволит снизить негативное влияние на гидросферу [19].

### Литература

1. Романовский, В. И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – №2(68). – С. 66–69.
2. Клебеко, П. А. Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Молодежь в науке – 2016: материалов XIII Междунар. науч. конф. / Национальная академия наук Беларуси Совет молодых ученых, Минск, 2017. – С. 347.
3. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. С. 61–64.

4. Горелая, О. Н. Влияние дозы гексаметилентетрамин на свойства сорбента для очистки водных сред от нефтепродуктов // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 22 марта, 2021 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Е. Ф. Кудиной. – С. 24–26.

5. Горелая, О. Н. Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.

6. Пропольский, Д. Э. Эффективность обезжелезивания подземных вод с использованием модифицированных каталитических материалов / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Технологія-2019: матеріали XXII Міжнар.наук.-техн. конф., 26–27 квіт. 2019 р., м. Северодонецк: в 2 ч. – Северодонецк: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2019. – Ч. 1 – С. 85–86.

7. Пропольский, Д. Э. Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 47–50.

8. Клебеко, П. А. Обезжелезивание подземных вод модифицированным огнеупорным шамотом / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – №4. – С. 103–111.

9. Клебеко, П. А. Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 65–67.

10. Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты-эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 7, – с. 24–29.

11. 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.

12. Грузинова, В. Л. Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2. – С. 62–65.

13. Романовский, В. И. Оценка экономической эффективности применения промышленных отходов в технологии очистки сточных вод локомотивных депо от нефтепродуктов / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова //

Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства: материалы II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр., 2013 / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.

14. Куличик, Д. М. Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

15. Осинин М. С. Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

16. Romanovski, V. I. Purification of washing waters of iron removal stations. Proceedings of BSTU / V. I. Romanovski, N. A. Andreeva // Chemistry and technology of inorganic substances. – 2012. – № 3. – С. 62–65.

17. Yushchenko, V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Environmental Technology. – 2023. – С. 1–8.

18. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Т. 22. – С. 100943.

19. Gurgenidze D., Romanovski V. The Pharmaceutical Pollution of Water Resources Using the Example of the Kura River (Tbilisi, Georgia) / D. Gurgenidze, V. Romanovski // Water. – 2023. – Т. 15. – № 14. – С. 2574.

УДК 504.062

### **Формирование водного баланса предприятия по производству сыров при использовании различных технологий переработки молочной сыворотки**

Захарко П. Н.<sup>1</sup>, Дубенок С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В процессе производства сыров образуется побочный продукт – молочная сыворотка, использование которой без соответствующей переработки затруднено. При переработке сыворотки в результате ее*

концентрирования и сгущения образуются пермеат и вторичный пар, поступление которых в сети канализации предприятия приводит к увеличению объема водоотведения по отношению к водопотреблению и формирует отрицательный водный баланс по предприятию.

Процесс производства сыра характеризуется образованием побочного продукта – молочной сыворотки, процентный выход которой составляет 80-90 % от исходной смеси.

В Республике Беларусь из 73 предприятий по производству молочной продукции на 44 (60 %) в ассортименте продукции присутствуют твердые, полутвердые и мягкие сыры с одновременной переработкой сыворотки либо ее отгрузкой на другие предприятия для последующей переработки.

Учитывая биологическую ценность молочной сыворотки: содержание лактозы, азотистых веществ, органических кислот, витаминов, жиров, углеводов, незаменимых аминокислот и др., [1] предприятия по производству сыров последние 10 лет активно развивают технологии переработки молочной сыворотки.

В настоящее время переработка молочной сыворотки в Республике Беларусь осуществляется по двум схемам:

- концентрирование сыворотки и дальнейшая ее отгрузка на иное предприятие (неполная переработка сыворотки);
- концентрирование, сгущение и последующая сушка сыворотки (полная переработка сыворотки).

Применяется несколько способов концентрирования (мембранной фильтрации) сыворотки: обратный осмос (ОО), нанофильтрация (НФ), ультрафильтрация (УФ) и микрофильтрация (МФ) [1] (рис. 1).

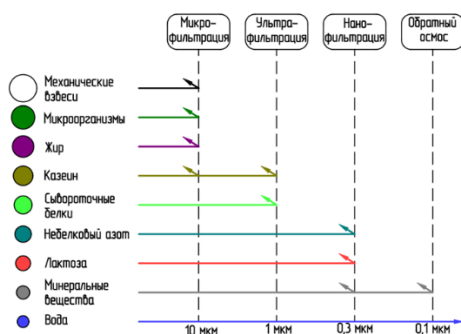


Рис. 1. Режимы мембранной фильтрации по типу фильтруемых элементов [1]

Использование каждого из них зависит от дальнейшего целевого применения сыворотки:

- МФ применяют для предварительной обработки сырья с целью снижения бактериальной обсемененности сыворотки и удаления жира;
- УФ применяют для получения белковых концентратов из сыворотки, которые затем используют при производстве молочных и других продуктов;
- НФ и ОО используют в основном для деминерализации и концентрирования сыворотки или ультрафильтрованных пермеатов.

В результате концентрирования содержание сухих веществ в сыворотке достигает 18–25 % при исходном содержании сухих веществ в сырой сыворотке 6 %.

Также для получения деминерализованной сыворотки дополнительно используют электродиализ (ЭД) (процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля, приложенного к мембране). Электродиализ направлен на уменьшение содержания солей и снижение кислотности в сыворотке, но при этом массовые доли сывороточных белков, жира и лактозы практически не подвержены каким-либо качественным и количественным изменениям.

Сушение молочной сыворотки перед ее сушкой осуществляется на вакуум-выпарных установках (ВВУ). Вакуум-выпарная установка предназначена для удаления влаги из сырья в результате его кипения при давлении меньше атмосферного и используются для сгущения сыворотки.

Сгущенная сыворотки с содержанием сухих веществ 45–65 % в дальнейшем поступает на сушку для получения готового продукта - сухой сыворотки.

Анализ технологических процессов, систем водоснабжения и водоотведения, учета поступления сырья и водопользования на 16-ти предприятиях по производству сыров и переработке сыворотки позволил выделить три схемы переработки сыворотки.

На 9 предприятиях (56 %) осуществляется неполная переработка сыворотки с использованием установки нанофильтрации, обратного осмоса (рис. 2).

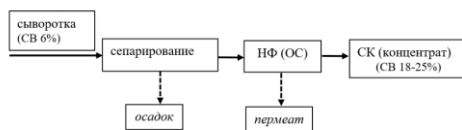


Рис. 2. Неполный цикл переработки сыворотки (укрупненная схема 1)  
СВ – сухие вещества, СК – сыворотка концентрированная

В процессе сепарирования сыворотки образуется два потока: белковый осадок (подсырные сливки), которые в дальнейшем используют для пищевых целей и очищенная сыворотка, содержащая белки, соли, лактозу, которая поступает на дальнейшую переработку [2; 3].

Сепараторы имеют гидросистему, которая управляет выгрузкой осадка (примеси сыворотки) из барабана, а также промывкой приемника осадка. Приемник осадка периодически в автоматическом режиме частично или полностью очищается со сбросом в канализацию предприятия.

В процессе концентрирования сыворотки на установке нанофильтрации, обратного осмоса образуется концентрат (сыворотка концентрированная) с высоким содержанием белка и пермеат (раствор лактозы, минеральных солей и других низкомолекулярных соединений) [3]. Концентрированная сыворотка транспортируется на другое предприятие для дальнейшего использования, а пермеат отводится в сети канализации предприятия.

#### *Водный баланс по укрупненной схеме 1*

Основными статьями расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 1 являются (водный баланс рассмотрен только для участка (цеха) переработки сыворотки):

1. Санитарная обработка оборудования (мойка технологического оборудования ручным или механизированным способом с использованием СІР-моек). Водоотведение ( $S_{c.o.об.}$ ) по данной статье приравнивается к водопотреблению ( $W_{c.o.об.}$ ):  $S_{c.o.об.} = W_{c.o.об.}$ .

2. Приготовление моющих и дезинфицирующих растворов для санитарной обработки оборудования. Водоотведение ( $S_{м.р-р}$ ) по данной статье больше водопотребления ( $W_{м.р-р}$ ):  $S_{м.р-р} > W_{м.р-р}$ . (*отрицательный водный баланс*). Разница равна объему моющих (М) и дезинфицирующих растворов (Д), поступивших на участок (цех) переработки сыворотки.

3. Санитарная обработка производственных помещений. Водоотведение ( $S_{c.o.п.}$ ) по данной статье меньше водопотребления ( $W_{c.o.п.}$ ) за счет потерь на испарение, которые составляют 15 % от водопотребления:  $S_{c.o.п.} < W_{c.o.п.}$ .

4. Выгрузка осадка из сепаратора. Водоотведение ( $S_{сеп.}$ ) по данной статье больше водопотребления ( $W_{сеп.}$ ):  $S_{сеп.} > W_{сеп.}$  (*отрицательный водный баланс*). Разница равна объему осадка (О), сброшенного с сепаратора.

5. Образование пермеата при работе установки нанофильтрации, обратного осмоса. При работе мембранных установок вода не используется. В систему канализации поступает только пермеат (П), объем образования которого равен 65–80 % от объема сыворотки, поступившей на мембранную установку (*дополнительный поток*).

Сводный баланс водопотребления по укрупненной схеме 1 составит

$$W = W_{\text{с.о.об.}} + W_{\text{м.р.р.}} + W_{\text{с.о.п.}} + W_{\text{сеп.}}$$

Сводный баланс водоотведения по укрупненной схеме 1 составит

$$S = S_{\text{с.о.об.}} + S_{\text{м.р.р.}} + M + Д + S_{\text{с.о.п.}} + S_{\text{сеп.}} + O + П.$$

На 5 предприятиях (31 %) осуществляется полная переработка сыворотки с использованием вакуум-выпарных установок для сгущения сыворотки (рис. 3).



Рис. 3. Полный цикл переработки сыворотки (укрупненная схема 2):  
 ЭД<sup>1)</sup> – производство сухой деминерализованной сыворотки; СД – сыворотка деминерализованная; СС – сыворотка сгущенная.

Установка электродиализа добавляется в схему переработки сыворотки только при производстве предприятием сухой деминерализованной сыворотки.

В процессе деминерализации сыворотки на установке электродиализа, образуется обессоленная сыворотка (сыворотка деминерализованная) и концентрат солей (раствор минеральных солей), который отводится в сети канализации предприятия. На трех из пяти рассматриваемых предприятий функционировала установка электродиализа.

При отсутствии электродиализа сыворотка концентрированная направляется для сгущения на ВВУ. При работе ВВУ образуется *дополнительный поток*, который отводится в сети канализации – вторичный пар (выпар), отделяющийся от капель сыворотки и конденсируемый в конденсаторе. Использование вторичного пара для технологических нужд без его предварительной очистки затруднено, поскольку он загрязнен органическими веществами, поэтому вторичный пар в полном объеме отводится в сети канализации предприятия.

Сгущенная сыворотка с содержанием сухих веществ 45–65 % поступает на сушильную установку.

*Водный баланс по укрупненной схеме 2*

Основными статьями расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 2 являются:

1. Санитарная обработка оборудования:  $S_{с.о.об.} = W_{с.о.об.}$ .

2. Приготовление моющих и дезинфицирующих растворов для санитарной обработки оборудования:  $S_{м.р.р.} > W_{м.р.р.}$  (отрицательный водный баланс).

3. Санитарная обработка производственных помещений:  $S_{с.о.п.} < W_{с.о.п.}$ .

4. Выгрузка осадка из сепаратора:  $S_{сеп.} > W_{сеп.}$  (отрицательный водный баланс).

5. Образование пермеата при работе установки нанофильтрации, обратного осмоса.

6. Обеспечение технологических параметров работы установки электродиализа включает образование концентрата солей, расход воды для приготовления растворов щелочи и кислоты для нейтрализации концентрата солей, расход воды для разбавления соляного раствора в контурах концентрата установки электродиализа.

Объем образования концентрата солей (КСЭд) составляет 5–10 % от объема сыворотки, поступившей на установку электродиализа (дополнительный поток).

Водоотведение ( $S_{Эд р.р.}$ ) по статье «приготовление растворов щелочи и кислоты» больше водопотребления ( $W_{Эд р.р.}$ ):  $S_{Эд р.р.} > W_{Эд р.р.}$  (отрицательный водный баланс). Разница равна объему растворов щелочи и кислоты, используемых при работе установки электродиализа.

Водоотведение ( $S_{Эд с.р.р.}$ ) по статье «разбавления соляного раствора» приравнивается к водопотреблению ( $W_{Эд с.р.р.}$ ):  $S_{Эд с.р.р.} = W_{Эд с.р.р.}$ .

7. Обеспечение технологических параметров работы вакуум-выпарной установки включает расход воды на подпитку оборотной системы ВВУ, образование вторичного пара (выпара). Подпитка оборотной системы ВВУ включает расход воды на компенсацию потерь при испарении ( $W_{ВВУ исп.}$ ), при капельном уносе ( $W_{ВВУ к.ун.}$ ), при продувке оборотной системы ( $W_{ВВУ прод.}$ ). Образование сточных вод осуществляется только при продувке оборотной системы:  $S_{ВВУ прод.} = W_{ВВУ прод.}$ .

Объем образования вторичного пара (ВПВВУ) составляет 65–80 % от объема сыворотки, поступившей на ВВУ (дополнительный поток).

Сводный баланс водопотребления по укрупненной схеме 2 составит

$$W = W_{с.о.об.} + W_{м.р.р.} + W_{с.о.п.} + W_{сеп.} + W_{Эд р.р.} + W_{Эд с.р.р.} + W_{ВВУ исп.} + W_{ВВУ к.ун.} + W_{ВВУ прод.}$$

Сводный баланс водоотведения по укрупненной схеме 2 составит



$$S = S_{с.о.об.} + S_{м.р-р.} + M + Д + S_{с.о.п.} + S_{сеп.} + O + П + КСЭд + S_{Эд\ p-p} + S_{Эд\ с.р-р} + S_{ВВУ\ прод.} + ВПВву.$$

На 2 предприятиях (13%) осуществляется полная переработка сыворотки с использованием пермеата для технологических нужд (рис. 4).

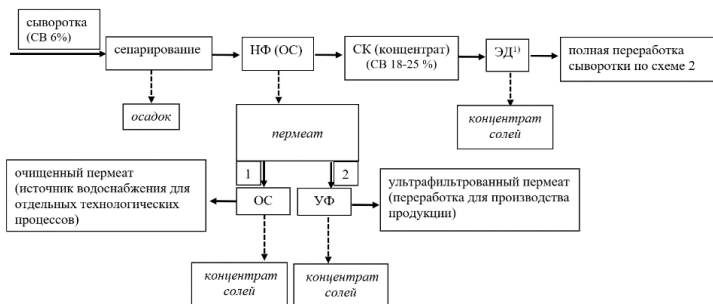


Рис. 4. Полный цикл переработки сыворотки с использованием пермеата (укрупненная схема 3)

Пермеат на предприятии 1 после установки нанофильтрации поступает на установку обратного осмоса и далее используется для подпитки котла и санитарной обработки технологического оборудования. В целом пермеат на предприятии 1 после технологических процессов отводится в сети канализации предприятия, однако за счет его повторного использования, экономия свежей воды на предприятии составляет около 18 %.

На предприятии 2 только часть пермеата (до 5 % от объема образования) после установки нанофильтрации поступает на установку ультрафильтрации и после концентрирования передается на иное предприятие для использования. Поэтому за счет частичного повторного использования пермеата, экономия свежей воды на предприятии незначительная.

Статьи расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 3 являются аналогичными укрупненной схеме 2. Отличительной особенностью баланса водопользования укрупненной схемы 3 является повторное использование пермеата.

Таким образом, внедрение технологий переработки сыворотки изменило специфику функционирования предприятий по производству сыров: исключен сброс сыворотки как побочного продукта в сети канализации; расширен ассортимент молочной продукции (сыворотка сухая, молочные напитки на основе сыворотки и др.). В отношении

водопользования предприятиям по производству сыров целесообразно внедрять технологии повторного использования пермеата, что существенно позволяет снизить потребление свежей воды (до 18 %), при этом пространственно-временной анализ водопользования указывает на формирование на этих предприятиях отрицательного водного баланса за счет формирования дополнительных потоков (пермеат, вторичный пар), поступление которых в сети канализации предприятия приводит к увеличению объема водоотведения по отношению к водопотреблению.

### Литература

1. Михайленко, И. Г. Мембранные технологии и переработка молочной сыворотки. – Режим доступа: [http://www.vniitti.ru/conf/conf2016/article/MikhaylenkoI.G.\\_BudrikV.G.\\_statya.pdf?ysclid=ltu5gahhu286233320](http://www.vniitti.ru/conf/conf2016/article/MikhaylenkoI.G._BudrikV.G._statya.pdf?ysclid=ltu5gahhu286233320).
2. Dairy processing handbook. – Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki>. = Загл. с экрана
3. ИТС 45-2017. Производство напитков, молока и молочной продукции. Введ. 29.11.2017. - М.: Росстандарт, 2017. – 190 с.

УДК 629.12

### **Полирядный насос с биомиметическими поверхностями проточной части для судового водоснабжения**

Комолов М. Б.<sup>1</sup>, Ляпин В. Ю.<sup>2</sup>, Дружинин А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Научно-производственное объединение гидравлических машин»,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Москва, Российская Федерация

*Разработан насос для судового водоснабжения путём замены штатных центробежных рабочих органов (РО) на созданные полирядные РО. Результатом их применения явился рост КПД насоса на  $\Delta\eta = 14\%$ . Спроектированы варианты созданного полирядного насоса с модернизацией проточной части (ПЧ) биомиметическими поверхностями различных видов. В результате данной модернизации максимальное предполагаемое дополнительное повышение КПД составило  $\Delta\eta = 3,5\%$  для вида поверхности ПЧ с имитацией кожи акулы.*

Идея создания полирядных насосов (ПН) была предложена профессором Г. М. Моргуновым. ПН ранее рассматривался в ряде публикаций, предназначенных для различных отраслей промышленности [1–5].

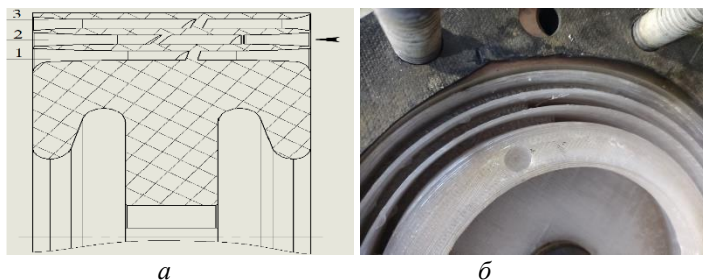


Рис. 1. Созданное полирядное РК:  
*а* – схема (1, 2, 3 – ряды: втулочный, средний, периферийный);  
*б* – колесо в насосе

В данном случае, для судостроения полирядные РО реализовывались в виде рабочего колеса (РК), имеющего три осевые лопастные системы (ЛС), компактно расположенные на коаксиальных рядах, разделённых дисками (рис. 1, *а*). Подача воды данного РК производилась в одну сторону с напором втулочного ряда.

Проектирование, моделирование и оптимизация работы полирядного РК производились с применением ANSYS CFX. Разработанное РК изготавливалось с применением 3D-аддитивных технологий (рис. 1, *б*). Его испытания проводились в составе серийного насоса для судового водоснабжения с заменой штатных центробежных РО.

При испытаниях ПН получено соответствие показателей целевому рабочему диапазону по подаче и напору. Выявлен рост КПД на  $\Delta\eta = 14\%$  по сравнению с данными центробежной конструкции насоса.

По результатам испытаний показатели ПН с созданным РК приняты за базовый уровень для сравнения с данными вариантов насоса с модернизированной ПЧ.

Общемировые и отечественные исследования показали, что использование принципов биомиметики – копирования и «переноса положительных эволюционных признаков живых организмов на объекты технических систем, приводит к повышению их эффективности. Так, применение «наростов» на лопастной системе насосов, выполненных по подобию строения плавника Горбатого кита в качестве управляющих поверхностей, позволяет снижать интенсивность крупных обратных вихрей на более мелкие, что приводит к энергосберегающему эффекту (рис. 2).

Данное техническое решение было запатентовано для центробежных и осевых насосов.

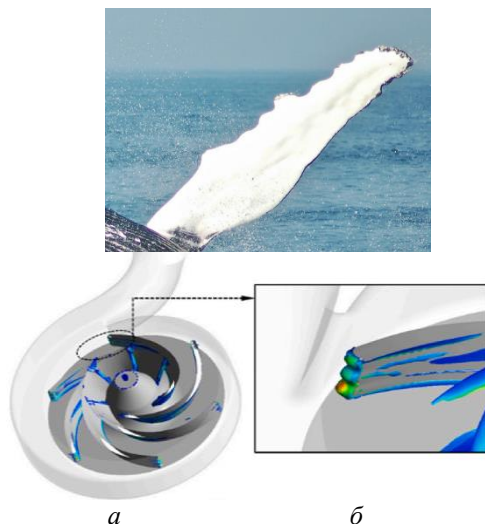


Рис. 2. Наросты плавника горбатого кита:  
*a* – в природе; *б* – в техническом решении

Применение аналогичных наростов рассматривалось также и для применения в ПН. При моделировании работы в ANSYS CFX на входную кромку лопасти добавлялись наросты и проводились сравнения с РК без модификаций. Результаты показали, что наросты улучшают энергетические показатели в режимах работы, находящихся за пределами оптимальной зоны эксплуатации, расширяя таким образом зону эффективной работы. В качестве одного из основных эффектов, приводящих к изменению гидравлических потерь, отмечено создание контролируемого вихря (рис. 3) при обтекании наростов.

Размеры и периодичность наростов варьировалась. Однако, все они показали снижение пульсаций давления и потерь энергии. Использование наростов в качестве управляющих поверхностей позволяет снижать интенсивность крупных обратных вихрей на более мелкие, что приводит к энергосберегающему эффекту.

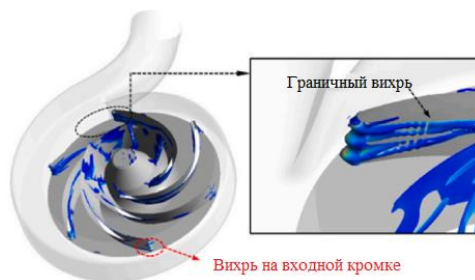


Рис. 3. Вихреобразование в центробежном колесе с биомиметическими наростами

В связи с актуальностью данного направления, следует отметить, что расширение диапазона работы насосных агрегатов, а также влиянием на виброакустические показатели, является приоритетной задачей множества отраслей промышленности, в том числе и в области создания ПН для судового водоснабжения.

Ещё одним апробированным эффектом биомимикрии, оказывающим положительный эффект в ПН является имитация поверхности элементов проточной части по подобию строения кожи акул [6].

Чешуя акул имеет плоские элементы (рис. 4), которые в разной степени перекрывают друг друга и покрыты острыми V-образными гребнями и округлыми U-образными впадинами между ними. Такое строение способствует более интенсивному вихреобразованию на теле акулы при движении в жидкой среде и вызывает эффект «жидкого подшипника качения».



Рис. 4. Строение мелкочешуйчатой кожи акулы вида *Sphyrna tiburo*, масштаб – 50 мкм:

*drm* – кожа, *psc* – чешуйка плакоида

Для анализа механизма модификации поверхности акульей кожей определялось влияние биомиметической микроструктуры на смачиваемость поверхности путём замера угла контакта с водой (рис. 5).

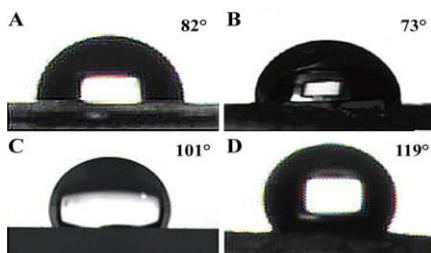


Рис. 5. Сравнение углов смачивания различных поверхностей с водой  
A, C – гладкие поверхности; B, D – микроструктурированные  
по подобию строения акульей кожи

Помимо этого, в этом исследовании был проведен ряд экспериментов по оценке гидравлического сопротивления. Исходя из результатов, был сделан вывод, что биомиметическая поверхность акульей кожи сыграла значительную роль в снижении сопротивления. Максимальная величина снижения сопротивления составила 12,5 % в сравнении с гладкой поверхностью. Снижение сопротивления благоприятно сказалось на потенциальном повышении КПД насоса.

В результате модернизации максимальное предполагаемое дополнительное повышение КПД ПН составило  $\Delta\eta = 3,5\%$  для вида поверхности ПЧ РК с имитацией кожи акулы. Данный вариант полирядного РК изготавливается для проведения очередных работ по улучшению характеристик исследуемого насоса для судового водоснабжения. Окончательные выводы о целесообразности модернизации ПЧ РО насоса биомиметическими поверхностями можно будет сделать после проведения натурального эксперимента.

Материалы, вошедшие в данный доклад, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение №075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

## Литература

1. Моргунов, Г. М. Лопастные машины для жидкостей и газов с повышенной плотностью полезно используемой энергии / Г. М. Моргунов // Вестник МЭИ. – 2007. – № 4. – С. 5–13.

2. Рябцев, Е. А. Создание и исследование полирядного конденсатного насоса первого подъёма с мультипланными рабочими органами: дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. : 05.04.13 / Е. А. Рябцев // ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет МЭИ». – Москва, 2018. – 202 с.

3. Комолов, М. Б. К созданию полирядного насоса для энергосберегающих погружных нефтедобывающих установок / М. Б. Комолов, Г. М. Моргунов // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 3. – С. 102–110.

4. Комолов, М. Б. Компьютерное обоснование параметров полирядного насоса для нефтедобывающих УЭЛН с высокой энергоэффективностью / М. Б. Комолов // Машиностроение и инженерное образование. – 2017. – № 3. – С. 2–7.

5. Комолов, М. Б. Апробация полирядных рабочих органов тройной схемы параллельного течения для корабельных лопастных насосов. Метод проектирования. / М. Б. Комолов, В. Ю. Ляпин // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – № 1. – С. 10–15.

6. Aleksander, V. Panferova Effects of nature-inspired methods on the efficiency of the flow part elements of hydraulic machines / V. Aleksander [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - ISSN 1819-6608. – 2023. – Vol. 18., № 23. – Asian Research Publishing Network (ARPN). – P. 2601–2612.

УДК 628.357

### **Анализ применимости зависимостей по расчету занесения поверхностных водохранилищных водозаборов в результате заилиenia водоемов Беларуси**

Левкевич В. Е.<sup>1</sup>, Кирвель И. И.<sup>2</sup>, Юшкевич Н. В.<sup>1</sup>, Бохан Г. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Поморский университет

Слупск, Польша

*В статье изложены основы оценки влияния перемещаемых вдольбереговых наносов на эксплуатацию поверхностных водохранилищных водозаборов*

Поверхностные водохранилищные водозаборы в Беларуси распространены достаточно широко (рис. 1).

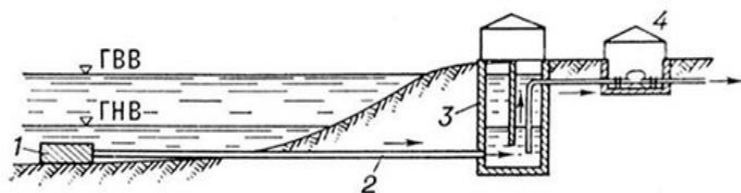


Рис. 1. Поверхностный водозабор раздельного типа:  
 1 – оголовок; 2 – самотечные линии; 3 – береговой колодезь; 4 – насосная станция; ГВВ – горизонт (уровень) высоких вод; ГНВ – горизонт (уровень) низких вод

Большинство созданных на водохранилищах водозаборов расположены в приплотинной части водоемов в зоне приглубых берегов. Конструктивно водозаборы делятся на раздельные и совмещенные. Водозаборном сооружении берегового типа в приустьевой зоне имеют водоприемный железобетонный колодезь, разделенный на приемную и всасывающую камеры, которые соединяется всасывающей трубой с насосами. Насосная станция подъема находится на некотором расстоянии от берегового колодезя.

Береговые водозаборы совмещенного типа с насосными станциями рассчитаны на большую производительность.

К этому типу сооружений относятся водозабор Вилейско-Минской водной системы на Вилейском водохранилище и ряд других (рис. 2).



Рис. 2. Водозабор совмещенного типа

Как известно, при создании водохранилища начинается трансформация существующего рельефа, с которым граничит водохранилище.



Абразия – переработка берегов волнами является ведущим береговым процессом. Этот процесс осуществляется преимущественно ветровыми волнами, а также сопутствующими воновыми течениями. К важнейшим условиям, влияющим на масштаб и интенсивность абразии относятся: форма берегового склона, конфигурация береговой линии и положение ее по отношению к волнообразующим направлениям, геолого-литологическое строение берега и способность материала этих пород к накоплению – аккумуляции в прибрежной зоне водоема, а также способность к участию во вдольбереговом перемещении наносов, и гидрологические условия, в частности уровенный режим водохранилища.

Вызывая отступление берега и накопление возле него части размывтого материала, процесс ветро-волновой режим определяет развитие прибрежной отмели и продольного потокадвигающихся по ней наносов. Общее выравнивание берега в плане за счет срезания мысов и отчленения заливов пересыпями способствует формированию единого продольного потока наносов, обеспечивающего взаимосвязанное развитие берега на значительном его протяжении.

Образование прибрежной отмели и продольного потока наносов способствует заилению подводных элементов водозаборов

Объемы переработки – разрушения естественных берегов водохранилищах, сложенных в большинстве случаев несвязными песчаными грунтами достаточно велики и попадая в прибрежную зону под действием ветрового волнения и вдольбереговых течений, ледовых явлений перемещаются в виде потока наносов, аккумулируются, попадая в приемные ковши водозаборов, снижая производительность и затрудняя эксплуатацию последних (рис. 3).



Рис. 3. Вдольбереговое перемещение и аккумуляция продуктов абразии в прирезовой зоне

Натурное обследование поверхностных водозаборов позволило установить степень занесением песчаным материалом, в результате вдольберегового перемещения наносов в прибрежной зоне, а также оценить примени-

мость существующих методик расчета параметров стока наносов для условий водоемов страны.

Наблюдениями установлено, что максимальный расход наносов имеет место при  $\theta_{\text{гл}} = 45^\circ$ , что наблюдается в природе наиболее часто. Эту закономерность пытались уточнить И. А. Правоторов путем введения коэффициента  $n = f(\theta_{\text{гл}}, m)$ :  $p$  – поправочный коэффициент;  $\theta_{\text{гл}}$  – расход наносов придлинный,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$  – заложение отмели [1]. Б. А. Пышкин и В. Л. Макмичук определяли наносодвижущую силу в функции энергии волнения [1]. Всеми упомянутыми методами определялась какая-то условная характеристика вдольберегового потока наносов, которая давала представление об изменении относительной величины расхода наносов на разных (поразному ориентированных) участках водоема. Большой интерес представляют исследования, в результате которых получались формулы расходов наносов, т. е. определенного объема наносов ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), проходящего через заданный створ или формулы стока наносов, т. е. объема наносов, проходящего через заданный створ в некоторый отрезок времени.

Н. Д. Шишов в результате исследований на берегах Балтийского моря вывел следующую зависимость для стока наносов (тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ) [1]:

$$Q_{\text{ст}} = 80(E \sin \theta_{\text{гл}})^{1,25}, \quad (1)$$

где  $E$  – результирующая энергия ветрового волнения за год в условных единицах, или геометрическая сумма «векторов энергии» волнения по разным румбам, определяемым по формуле [1]:

$$e = npw^2 \sqrt{D}. \quad (2)$$

Здесь  $n$  – коэффициент, учитывающий влияние глубины водоема.

Формулы (1) и (2) получены для песка крупностью  $d = 0,15\text{--}0,20$  мм.

По Д Колдуэллу сток наносов (ярд<sup>3</sup>/сутки) для Калифорнийского побережья [1; 2]:

$$Q_{\text{ст}} = 210E^{0,8}, \quad (3)$$

где  $E$  – вдольбереговая энергия волн, (фут/фунт) на погонный фут длины берега.

Севил и Манохар [1; 2] на основании лабораторных и натуральных исследований получили зависимость для стока наносов (фут<sup>3</sup>/сутки):

$$Q_{\text{ст}} = 0,885E^{0,91} d^{0,59} \left( \frac{\rho}{\rho_1 - \rho} \right), \quad (4)$$

где  $E$  – вдольбереговая энергия волн;  $\rho$  и  $\rho_1$  – соответственно плотность воды и грунта, г/фут<sup>3</sup>;  $d$  – крупность песка, фут.

Проведенные нами натурные исследования режима движения наносов в береговой зоне водохранилища Дрозды и Петровичи позволили установить, что под воздействием ветрового волнения в приурезовой зоне за счет взвешивания частиц происходит естественная сортировка частиц по крупности и их дифференциация по неоднородности. Ширина зоны перемещения и сортировки наносов в условиях водохранилищ Беларуси составляет 2,0–5,0 м от границы уреза. Экспериментальные исследования в береговой зоне водохранилища Дрозды, выполненные при штормовых условиях (высота ветровой волны  $h_{1\%} = 0,4–0,7$  м) с использованием наносоуловителей, выявили наличие подвижного слоя наносов на поверхности отмели, что позволило получить зависимость для расчета расхода влекомых наносов в приурезовой зоне. Полученные натурные данные и сравнение их с результатами расчетов по (1)–(4) показали невозможность применения последних при оценке заносимости водозаборов.

По результатам натурных экспериментов нами была получена эмпирическая зависимость для определен суммарного объема стока наносов ( $\Delta Q_{xt}$ ), приведенная к единичной ширине береговой отмели ( $l_x$ ) [2]:

$$\Delta Q_{xt} = 0,137 \cdot 10^{-5} l_x h_{1\%}^2 T n \quad (5)$$

где  $h_{1\%}$  – высота волны 1 % – ой обеспеченности, м;  $T$  – длительность безледного периода, сут.;  $n$  – количество лет эксплуатации водохранилищ;  $h_{1\%}$  – высота расчетной волны, м.

Зависимость может быть использована при укрупненной оценке заносимости приемных колодцев водозаборных сооружений. Зависимость применима для расчетных высот волн высотой до 0,70 м и несвязных песчаных грунтов крупностью частиц не более  $d_{50} = 0,1$  см.

Существующие водохранилищные водозаборы подвержены занесению вдольбереговым потоком наносов, образующимся при переработке берега ветровым волнением. При этом значение песчаных наносов в процессе занесения водозаборов намного более значимо в средней и приплотинной частях водохранилищ, когда как, в верховьях водоемов более значимым фактором, затрудняющим эксплуатацию водозабора, является зарастание водоема и образование донных органических отложений. Расчет стока наносов в условиях Беларуси следует выполнять по зависимости (5).

### Литература

1. Максимчук, В. Л. Рациональное использование берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев, Наукова думка, 1981. – 176 с.

2. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2020. – 152 с.

УДК 648.6

### **Полифункциональные каталитические материалы из отходов станций обезжелезивания**

Пилипенко М. В.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены результаты по получению полифункциональных материалов для очистки сточных вод красильно-отделочных производств.*

Очистка сточных вод, содержащих растворенные органические вещества, является актуальной проблемой [1; 2]. В современной литературе для очистки таких вод наибольшее внимание уделяется разработке новых сорбционных [3–7] и фотокаталитических материалов [8–10]. Одним из актуальных направлений в данной области является использование отходов различных производств для получения таких материалов [11; 12]. Отдельный интерес представляет получение материалов с несколькими свойствами, например, сорбционными и магнитными. Для этого материалы должны быть двух и более компонентными. С точки зрения вовлечения в хозяйственный оборот отходов, перспективными могут рассматриваться и отходы гальванических производств для получения материалов с полифункциональными свойствами [13–15].

Целью работы было синтезировать полифункциональные фотокаталитические материалы для эффективной очистки сточных вод красильно-отделочных производств.

В качестве функциональных свойств были выбраны: высокая фотокаталитическая активность по деструкции органических веществ, наличие магнитных свойств для эффективной сепарации материала из очищаемых сред, эффективные инактивирующие свойства для предотвращения биообращения при долгом нахождении в водной среде, содержащей органические вещества. В качестве исходного материала для получения материалов с заданными свойствами были выбраны осадки очистки промывных вод фильтров обезжелезивания. Наличие высокого содержания железа будет обеспечивать возможность получения как магнитных фаз (магнетит), так и

активных фотокаталитических фаз (гематит). Для модификации исходного состава были выбраны цинк и молибден, обладающие высокими фотокаталитическими свойствами. Дополнительно цинк известен хорошими бактерицидными свойствами.

Прекурсоры материалов необходимые для синтеза готовились на основе азотной кислоты [16; 17]. В качестве восстановителя использовались глицин (G), мочеви́на (U), лимонная кислота (CA), уротропин (НМТ).

Ранее нами было показано, что различные типы красителей по-разному поддаются фотодеструкции благодаря своей химической структуре. Среди трех использованных восстановителей наилучшие результаты показали образцы с карбамидом для систем FeZn и глицин для FeMo. Образцы FeZn-U, FeMo-G, FeMo-U показали результаты деструкции красителя выше 95 % после 45 минут обработки. Для образцов FeZn-U для красителей цибаكرون суперчерный и телон синий эффективность очистки достигла более 99 %. Также следует отметить, что наиболее тяжело происходила деструкция красителя цибаكرون суперчерный. При его деструкции образцы FeZn-G, FeZn-CA, FeMo-U и FeMo-CA показали отрицательные результаты. Также образцы FeZn-CA и FeMo-CA показали отрицательные результаты при деструкции красителей прямой синий и телон синий. Среди рассмотренных систем наилучшие результаты показали образцы FeZn-U и FeMo-G. Удельная поверхность образца FeZn-U составила 97,2 м<sup>2</sup>/г. Размер кристаллитов до кальцинации составлял 20 нм, после кальцинации – 35 нм. Удельная поверхность для образца FeMo-G составила 86,6 м<sup>2</sup>/г. Во всех синтезированных образцах были обнаружены фазы магнетита, обеспечивающие наличие выраженных магнитных свойств.

Для анализа инактивирующих свойств по отношению к различным видам микроорганизмов использовали образцы FeZn-U и FeMo-G. В качестве контроля использовали стандартный антибиотик тетрациклин (табл. 1). Используемые дозы образцов и антибиотика в эксперименте составляют 25 мг.

Таблица

Результаты инактивации микроорганизмов

Name of the pathogens	Zone of inhibition (mm)		
	FeZn	FeMo	Tetracycline
<i>Streptococcus</i> sp.	–	14 ± 1	
<i>Escherichia coli</i>	–	17 ± 1	18 ± 0,1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	19 ± 2	13 ± 2	22 ± 0,1

Из табл. видно, что несмотря на то, что цинк считается широко известным инактивирующим микроорганизмы веществом, образец FeMo показал лучшие результаты по всем трем исследуемым микроорганизмам.

## Литература

1. Черенович, Н. А. Анализ методов очистки сточных вод от красителей / Н. А. Черенович, М. В. Пилипенко, В. И. Романовский // Актуальные проблемы экономики строительства: материалы 72-й студ. науч.-техн. конф., Минск, 17–20 мая 2016 г. / ред. О. С. Голубова и др.; Белорусский национальный технический университет, Строительный факультет. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 77–80.
2. Gurgenidze, D. The Pharmaceutical Pollution of Water Resources Using the Example of the Kura River (Tbilisi, Georgia) / D. Gurgenidze, V. Romanovsk // *Water*. – 2023. – Т. 15, №. 14. – С. 2574.
3. Петров, О. А. Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки отходов в жидких средах / О. А. Петров, В. И. Романовский // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2015. – № 2(92). – С. 82–84.
4. Романовский, В.И. Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В.И. Романовский, В.Н. Марцуль // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докл. международной науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.
5. Петров О. А., Романовский В. И. Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О. А. Петров, В. И. Романовский // *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы докл. международной науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г.* / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.
6. Романовский, В.И. Механохимическая переработка отходов ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // *Труды БГТУ, Сер. IV, Химия и технология орган. в-в*. – 2006. – № 14. – С. 89–91.
7. Романовский, В. И. Распределение гетероатомов синтетических ионитов в продуктах пиролиза / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // *Журнал прикл. хим.* – 2009. – Т. 82, № 5. – С. 782–785.
8. Пилипенко, М. В. Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2022. – № 1(127). – С. 42–44.
9. Glinskaya, A. et al. Crystal Structure, Magnetic and Photocatalytic Properties of Solid Solutions  $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$  ( $x = 0.05, 0.1$ ) / A. Glinskaya [et al.] // *ChemistrySelect*. – 2023. – Т. 8, № 8. – С. e202204285.

10. Matsukevich, I. Mesoporous nanocomposites based on CeO<sub>2</sub> and MgO: preparation, structure and photocatalytic activity / I. Matsukevich [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2023. – Т. 98, №. 10. – С. 2497–2505.

11. Икон, А. В. Разделение отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей / А. В. Икон, В. И. Романовский // Экологические проблемы промышленных городов: материалы 5-й Всероссийской научно-практической конф. с международным участием, СГТУ, Саратов 12–14 апреля 2011 г. – Саратов, 2011. – Ч. 2. – С. 198–199.

12. Романовский, В.И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2(68). – С. 66–69.

13. Марцуль, В. Н. Состав гальваношламов и осадков очистных сооружений гальванического производства / В. Н. Марцуль, А. В. Лихачева, Л. А. Шибка, О. С. Залыгина, В. И. Романовский // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Междунар. науч.-тех. конф. БГТУ, Минск, 23–24 ноября 2011 / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2011. – С. 254–260.

14. Марцуль, В. Н. Элементный состав и фазовый состав гальванических шламов, осадков очистных сооружений машиностроительных и приборостроительных предприятий Республики Беларусь / В. Н. Марцуль, А. В. Лихачева, О. С. Залыгина, Л. А. Шибка, В. И. Романовский // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 113–118.

15. Монак, Т. М. Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Монак, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 96–102.

16. Куличик, Д. М. Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

17. Осинин, М.С. Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

**Создание лесных массивов на пустынных территориях на основе  
коллекторно-дренажных вод**

Таганов Ч. Х.<sup>1</sup>, Куртовезов Г. Д.<sup>2</sup>, Куртовезов Б. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

<sup>2</sup>Институт «Туркменсувылымтаслама»

Ашгабат, Туркменистан

*В статье даются результаты опытов и рекомендации по выращиванию пустынных растений в зоне влияния высыхающего Аральского моря в целях создания лесных массивов на пустынных территориях Туркменистана. Даны сроки созревания семян и заготовки семенного материала пустынных кустарников, а также методы расчётов площади их питомников.*

Территории Дашогузского и северные районы Лебапского велятов, наиболее сильно подверженных влиянию Аральского кризиса, отличаются от других регионов Туркменистана суровыми климатическими условиями. Здесь выпадает минимальное количество осадков (40–70 мм), наблюдаются высокие летние и низкие зимние температуры, частые суховеи и пыльные бури. Температура воздуха в июле может достигать абсолютного максимума +50 °С, зимой морозы могут удерживаться длительное время и достигают – 30 °С и ниже. Летом относительная влажность воздуха в пределах 20–25 %, в жаркие дни составляет всего 2–3 %. В этом районе наблюдается самое большое количество дней с сильными ветрами (60 дней) со скоростью более 20 м/сек (пыльные бури), причём в основном северные и северо-восточные, т.е. со стороны Аральского моря.

Под воздействием сильных ветров солёная пыль со дна высохшей части Аральского моря распространяется на значительные расстояния. В количественном отношении выпадение солёной пыли делится на 5 зон. 1-ая зона, это само высохшее дно, откуда поднимается пыль. Во 2-ую зону на 1 га выпадает 6 тонн, в 3-ю – 2 тонны, в 4-ую – 800 кг и в 5-ую – 200 кг соли и пыли. Северная часть территории Дашогузского велята попадает в четвёртую, а остальная часть и северные районы Лебапского велята – в пятую зону.

В Национальной стратегии Туркменистана по изменению климата предусмотрены мероприятия по адаптации и смягчению последствий негативного воздействия глобального изменения климата [1]. Исходя из задач, определённых в стратегии, в 2013 году подготовлена и утверждена Национальная лесная программа Туркменистана. Данным документом преду-



смотрено увеличение площадей лесонасаждений в стране, способствующих смягчению климата, сохранению биоразнообразия, охране водных ресурсов, улучшению почвенного покрова и мелиоративного состояния земель, борьбе с опустыниванием [2].

В соответствии с Национальной лесной программой Туркменистана в Дашогузском велаяте вокруг возвышенности «Ботендаг», расположенного восточнее озера Сарыкамыш, в зоне подверженной негативному влиянию Арала, в период 2013-2020 годы на площади 20-ти тысяч гектаров посажено более 8-ми миллионов семян пустынных растений (саксаул, черкез, кандым и др.). Урожайность белого саксаула в среднем составляет 1,8 т/га, при этом каждая тонна на основе фотосинтеза из углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), находящегося в атмосферном воздухе собирает 0,27 т углерода (C), обогащая тем самым воздух кислородом ( $\text{O}_2$ ). Затраты, на сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу при применении современных технологий составляют 150–160 \$ [3].

В настоящее время Туркменским государственным научно-производственным и проектным водохозяйственным институтом «Туркменсувлымтаслама» Государственного комитета водного хозяйства Туркменистана выполняется Технико-экономическое обоснование проекта «Создание лесного массива на площади 10 тыс. г в Рухыбелентском этрапе Дашогузского велаята и 10 тыс. га в Дарганатинском районе Лебапского велаята. Институт также ведёт научно-исследовательские работы по выращиванию пустынных растений с использованием коллекторно-дренажных вод Туркменского озера «Алтын асыр» и его коллекторов для увеличения кормовой базы животноводства.

Учитывая тяжёлые природно-климатические условия для создания лесных массивов, предусматривается посадка песчаных пород саксаула по схеме 6×4 м, а также в целях использования коллекторно-дренажных вод для влагозарядки, нарезка поливных борозд.

Поскольку районы проведения работ по лесоразведению отличаются особенно малым количеством выпадающих осадков (менее 100 мм в год), основные агротехнические мероприятия направляются на накопление и сохранение влаги для улучшения структуры и состояния почвы в корнеобитаемом слое. Посадка семян проводится в подготовленные лунки по нарезанным бороздам.

Создание лесных насаждений в зоне влияния высохшего дна Аральского моря окажет положительное влияние на экологическую обстановку, сохранение биоразнообразия, состояние пастбищ и в совокупности создаст благоприятные условия для жизни. На основе проведённых ранее исследований Национальным институтом пустынь, растительного и животного мира Министерства охраны окружающей среды Туркменистана, учёными

Центрально-азиатского региона, а также научных исследований института «Туркменсувлымтаслама» Государственного комитета водного хозяйства Туркменистана подготовлены рекомендации по созданию лесных массивов пустынных древесных кустарников [4]. В табл. 1 даны сроки созревания семян и заготовки семенного материала пустынных кустарников.

Таблица 1

Сроки созревания семян и заготовки семенного материала  
пустынных кустарников

Растения	Созревание семян	Заготовка семян
Чёрный саксаул	Вторая половина ноября	Конец ноября - начало декабря
Белый саксаул	Вторая половина ноября	Конец ноября - начало декабря
Черкез	Конец октября	Середина ноября
Кандым	Конец мая, начало июня	Середина июня

В Туркменистане накоплен большой научный потенциал и практически опыт по освоению и облесению пустынных территорий, закреплению подвижных песков. Лесообразующие пустынные растения – саксаул, кандым и черкез могут служить своеобразной защитой от солевых и пылевых ветров. На рис. 1 показано цветение и сбор семян кандыма.



Рис. 1. Цветение и сбор семян кандыма

Кусты взрослого саксаула аккумулирует вокруг себя 5–10 м<sup>3</sup> песка, что позволяет на площади 1 гектар закрепить 200 т пыли, песка и соли. На рис. 2 показано сбор семян саксаула и черкеза.

При поэтапном создании лесного массива в 10 тыс. га в течении 5 лет, первый год – подготовительный период, второй год I этап – посадка саксаула на площади 2500 га и освоение 2500 га, третий год II этап – посадка саксаула на площади 2500 га и освоение 5000 га, четвёртый год III этап – посадка саксаула на площади 2500 га и освоение 7500 га, пятый год IV этап – посадка саксаула на площади 2500 га и освоение 10000 га. При этом площадь поливного питомника в зависимости от механического состава

почв будет составлять от 3 на супесчаных до 5 га на песчаных почвах, что позволит ежегодно выращивать саженцы в количестве 1,5 млн. шт. в год, а в течении 4-х лет 6,0 млн. шт. В табл. 2 даны сроки созревания семян и заготовки семенного материала пустынных кустарников.



Рис. 2. Сбор семян саксаула и черкеза

Сеянцы выкапываются перед посадкой, в период проведения работ по созданию лесного массива. За три-четыре дня до выкопки питомник поливается с целью исключения механических повреждений, которые могут получить растения при сухой почве. Однолетние сеянцы выбираются высотой не менее 50 см, при этом длина их подземной части должна быть не короче надземной. Корневую систему посадочного материала перед транспортировкой и посадкой обрабатывают «болтушкой» из глины для его защиты от подсушивания и обморожения.

Таблица 2

Расчёт площади поливных питомников на почвах разного механического состава в целях создания лесного массива в 10 тыс. га

Этапы освоения под лесной массив	Необходимое количество сеянцев, шт.	С учётом подсева (приживаемость 50–60 %), шт.	Необходимая площадь питомника на супесчаной почве, в га за 1 год	Необходимая площадь питомника на песчаной почве, га
I – 2500 га	2500 га x 400 шт./га = 1000000	1500000	1500000/550000 = 2,73	1500000/300000 = 5,0
II – 2500 га	1000000	1500000	2,73	5,0
III – 2500 га	1000000	1500000	2,73	5,0
IV – 2500 га	1000000	1500000	2,73	5,0
Всего – 10000 га за 4 года	4000000 за 4 года	6000000 за 4 года	10,9 га за 4 года	20,0 га за 4 года

В процессе посадки производится полив. Влагозарядковый полив с последующей охраной насаждений значительно повышает приживаемость и сохранность культур в условиях климатических изменений.

Основным методом ускоренного создания лесного массива является посадка сеянцев, но применяется также посев пустынных растений семенами. В табл. 3 даны сроки проведения работ по посадке пустынных кустарников.

Таблица 3

Сроки проведения работ по посадке пустынных кустарников

Название пустынных кустарников	Сроки проведения работ	
	Посев семян	Посадка сеянцев и черенков
Русские		
Черный саксаул	1.02–28.02	1.01–20.02
Белый саксаул	1.02–1.03	1.01–20.02
Черкез	1.02–10.03	25.12–20.02
Кандым краснеющий	1.01–20.03	20.12–25.02
Кандым щетинистый	1.01–20.03	20.12–25.02
Кандым, черенки	–	01.11–30.03

На рис. 3 показаны работы по посадке сеянцев саксаула на пустынных территориях. посадку сеянцев, процесс проведения полива и после поливную обработку.



Рис. 3. Работы по посадке сеянцев саксаула на пустынных территориях:  
*a* – нарезка глубоких поливных борозд;  
*б* – устройство лунок, посадка сеянцев, семенами и полив автоцистерной

На территории участка лесопосадок могут быть ландшафты с разными типами почв, характерных для большинства районов пустыни: подвижные пески, мелкобугристые пески и такыры. Для них были подобраны научно-обоснованные с учётом традиционного опыта агротехнические мероприятия по улучшению лесорастительных условий. При создании больших лесных массивов в 10 тыс. га необходимо максимально механизировать процессы трудоёмких работ: планировку, нарезку поливных борозд, создание лунок.

### Литература

1. Национальная стратегия Туркменистана по изменению климата, 2019. – 70 с.
2. Национальная лесная программа Туркменистана, 2013.
3. Werner, C. Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C / C. Werner, H.-P. Schmidt, D. Gerten, W. Lucht, C. Kammann // Environmental Research Letters. – 2018. – Т. 13, вып. 4. – С.044036.
4. Фимкин В.П., Утемишева Н.В., Гулямов А.Н. Выращивание сеянцев саксаула черного в орошаемых лесных питомниках для пастбищных полос в пустыне / В. П. Фимкин, Н. В. Утемишева, А. Н. Гулямов // Защитное лесоразведение. Вып. 23. Тр. СредазНИИЛХ. – Ташкент: МЕХНАТ, 1986. – С. 76–48.

УДК 331.361.3

### **Программно-аппаратный комплекс анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек на наружных сетях водоснабжения AMIS-LEAK**

Цыбин И. А.

ООО «АМИС-Техно»,

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*Для решения стоящих перед предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства задач по сокращению потерь и неучтенных расходов воды представлен программно-аппаратный комплекс AMIS-LEAK который позволяет проводить постоянный накопительный контроль, прогнозирование с построением графических зависимостей в требуемых формах и видах необходимых для проведения анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек.*

Согласно постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037 принята «Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года» [1].

Цель Концепции – определение направлений дальнейшего развития и механизмов совершенствования ЖКХ на среднесрочную перспективу для предоставления качественных жилищно-коммунальных услуг (далее – ЖКУ) потребителям в целях обеспечения комфортных условий проживания.

Для решения проблем сферы ЖКХ Концепцией одними из направлений совершенствования и развития ЖКХ определены следующие важнейшие задачи:

- снижение затрат на предоставление населению ЖКУ;
- научное обеспечение развития ЖКХ;

Механизмами решения задачи по снижению затрат на предоставление ЖКУ населению в том числе являются:

- выполнение мероприятий по энергосбережению, внедрение прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий, снижение расхода топливно-энергетических ресурсов;
- сокращение технологических потерь воды и тепловой энергии;

Механизмами решения задач по научному обеспечению развития ЖКХ в том числе являются:

- реализация структурных мер научного обеспечения ЖКХ по схеме наука – производство и их построение на кластерных принципах.

Базовые производственные звенья кластера ЖКХ – организации, оказывающие ЖКУ.

Для оценки хода реализации Концепции установлены целевые индикаторы.

Целевым индикатором до 2025 года реализации Концепции по показателю

«Потери и неучтенные расходы» воды, установлено значение не более 12 %.

Инструкцией о порядке расчета норматива потерь и неучтенных расходов питьевой воды из централизованных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов (утв. постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 31.08.2005 № 43 (в редакции постановления Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 08.07.2019 № 7) даны следующие определения [2]:

**коммерческие потери воды** – объем воды, израсходованный из централизованных систем питьевого водоснабжения абонентами, потребителями в случае самовольного подключения к централизованным системам питьевого водоснабжения, несогласованного разбора воды через обводные

трубопроводы вокруг приборов учета расхода воды, из гидрантов и уличного водоразбора и не оплаченный ими в соответствии с законодательством;

**неучтенные расходы воды** – объем воды, неучтенный приборами учета расхода воды абонентов, потребителей из-за их нечувствительности к малым расходам или ухудшения метрологических характеристик приборов учета расхода воды в процессе их эксплуатации, коммерческие потери воды;

**потери воды** – утечки воды из системы подачи и распределения воды (далее – системы ПРВ), вызванные самопроизвольным истечением воды через неплотности или повреждения трубопроводов, их соединений, сальников и запорных узлов водопроводной арматуры, стен и днищ емкостных сооружений для хранения воды, скрытые потери воды.

Как известно потери и неучтенные расходы сверх утвержденных нормативов на себестоимость услуг не относятся и оплачиваются предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства за счет прибыли.

В целях конкретизации механизмов решения поставленных задач и предоставления дополнительных инструментов предприятиям водопроводно-канализационного хозяйства директором ООО «АМИС-Техно» было принято решение о развитии направления по разработке «Программно-аппаратного комплекса анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек на наружных сетях водоснабжения» получившего название – **AMIS-LEAK** (далее – ПАК).

В настоящее время за базовый объект подключенный к ПАК выбрана локальная повысительная насосная станция (малый «естественный» водомерный район (DMA, District Metered Areas).

Основными функциональными возможностями и достоинствами разработанной ПАК являются:

- активный мониторинг скрытых утечек с визуализацией полученных результатов и сигнализацией недопустимых режимов на интерактивной карте;

- автоматическое формирование балансов (пример: базовый объект-групповой учет-оплаченная вода) с предоставлением наглядного аналитического материала (графики, таблицы, диаграммы);

- гибкая настройка пользователем сигналов срабатывания недопустимых режимов;

- минимальные требования к оснащению объектов мониторинга;

- масштабируемость под потребности Заказчика (1-2-3-4 подъёмы, групповые счетчики воды, выделение зон контроля/водного аудита и др.);

- приятным бонусом является встроенный калькулятор нормативов потерь и неучтенных расходов воды.

Получаемая пользователем аналитическая информация и сигнализация при работе ПАК позволяет определять и конкретизировать направление усилий организаций водопроводно-канализационного хозяйства по снижению потерь и неучтенных расходов воды из системы питьевого водоснабжения:

- выявлять и устранять скрытые утечки (которые теоретически составляют основную долю в потерях воды из трубопроводов);
- выявлять утечки на внутридомовых сетях;
- выявлять неисправности групповых приборов учета, а также ухудшение метрологических характеристик приборов учета вода (в общей величине неучтенных расходов воды значительную часть составляет недоучет воды вследствие ухудшения в ходе эксплуатации метрологических характеристик приборов учета и их невысокого класса точности);
- выявлять неравномерность передачи показаний ИПУ жильцами и внепланово направлять контроллеров для приведения в соответствие;
- выявлять неучтенные в полном объеме расходы воды при выполнении работ на внутрихозяйственные нужды жилых зданий и др.

Стоит отметить, что формирование, применение, поддержка ПАК невозможна без кропотливой работы всех участников процесса (заказчик, исполнитель, конечный пользователь), их стремления к совместному достижению поставленных целей.

ПАК **AMIS-LEAK** позволяет проводить постоянный накопительный контроль, прогнозирование с построением графических зависимостей в требуемых формах и видах необходимых для проведения анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек.

### Литература

1. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года [Электронный ресурс] / Информационно-аналитическая система Пех. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/159729>. – Дата доступа: 06.01.2021.
2. Инструкция о порядке расчета норматива потерь и неучтенных расходов питьевой воды из централизованных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21934777\\_1574110800.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21934777_1574110800.pdf). – Дата доступа: 06.01.2021.



**Программно-аппаратный тренажёрный комплекс  
AMIS-TEACHER-WELL**

Цыбин И. А.

ООО «АМИС-Техно»

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*Для решения стоящих перед предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства задач и учреждениями образования по повышению качества подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов ЖКХ представлен программно-аппаратный тренажёрный комплекс AMIS-TEACHER-WELL который позволяет проводить обучение сотрудников с применением VR-технологии.*

Согласно постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037 принята «Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года» [1].

Цель Концепции – определение направлений дальнейшего развития и механизмов совершенствования ЖКХ на среднесрочную перспективу для предоставления качественных жилищно-коммунальных услуг (далее – ЖКУ) потребителям в целях обеспечения комфортных условий проживания.

Для решения проблем сферы ЖКХ Концепцией одним из важнейших направлений совершенствования и развития ЖКХ определено:

- научное обеспечение развития ЖКХ;
- повышение эффективности структуры управления, создание позитивного имиджа и престижности работы в сфере ЖКХ.

Одним из ключевых системных блоков научного обеспечения ЖКХ определены высококвалифицированные кадры.

Кадровый блок предусматривает целевую подготовку и повышение квалификации кадров всех уровней: от рабочих специальностей до специалистов-менеджеров ЖКХ.

Основными задачами создания позитивного имиджа и престижности работы в ЖКХ являются:

- обеспечение комплектования организаций ЖКХ квалифицированными кадрами в соответствии с квалификационными требованиями;
- повышение качества подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов ЖКХ.

Механизмами реализации поставленных задач являются:

обеспечение интеграции учреждений образования в систему ЖКХ путем создания филиалов кафедр профильных специальностей и научных центров в конкретных организациях;

создание на базе учреждения дополнительного образования взрослых «Государственный центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов «Жилком» ресурсного центра по профессиональной подготовке кадров для организаций ЖКХ.

Реализация Концепции должна обеспечить повышение профессионального уровня кадрового состава.

В целях предоставления дополнительных инструментов для решения поставленных задач предприятиям водопроводно-канализационного хозяйства и учреждениям образования руководством ООО «АМИС-Техно» было принято решение о развитии направления по разработке «Программно-аппаратного тренажерного комплекса» получившего название - **AMIS-TEACHER-WELL** (далее –ПАТК).

ПАТК разработан с применением VR-технологии (технологии виртуальной реальности).

Виртуальная реальность – это технология, которая позволяет обучаемому погрузиться в искусственный мир и непосредственно действовать в нем с помощью специальных сенсорных устройств, которые связывают его движения с аудиовизуальными эффектами.

В настоящее время за базовый модуль в ПАТК выбрана задача по проведению наружного осмотра территории первого пояса зоны санитарной охраны артезианской скважины питьевого водоснабжения с дальнейшим проведением работ внутри павильона скважины.

В рамках работы модуля предусматривается проведение различного рода сценариев для подготовки сотрудника к самостоятельной работе и дальнейшей оценки его профессиональных знаний и навыков.

Включена возможность прохождения сценариев как в VR-очках, так и с использованием клавиатуры.

Применение ПАТК возможна по следующим направлениям: для тренажерной подготовки/переподготовки/проверки знаний действующих сотрудников, обучения вновь принятых на работу работников, аттестации производственно-технологического персонала предприятия, проведения конкурсных мероприятий для повышения лояльности сотрудников и др.

Основными функциональными возможностями и достоинствами разработанной ПАТК являются:

– скорость и эффективность (отсутствие отвлекающих факторов и реалистичная виртуальная среда обеспечивают глубокое погружение и усвоение материала на уровне зрительной памяти);

– безопасность и полнота подготовки (VR–технологии позволяют осуществить подготовку персонала к работе в любых ситуациях – от обычных до нестандартных, чрезвычайных, опасных для жизни и здоровья);

– качество обучения (достижение необходимой глубины изучения материала осуществляется за счет интерактивности сценария, анализа действий каждого сотрудника);

– экономия ресурсов на обучение (использование VR-технологий позволяет снизить затраты на логистику и персонал при обучении, благодаря взаимодействию с виртуальными персонажами и виртуальными копиями помещений и оборудования);

– масштабируемость (обучение в VR легко масштабируется, что способствует обеспечению одинаково высоких стандартов подготовки во всей организации);

– гибкость (VR легко адаптируется под меняющиеся требования и новое оборудование).

Дальнейшее развитие ПАТК предусматривает разработку модулей соблюдение требований охраны труда, практические работы, аварийные ситуации и неисправности, а также проведение тренажерной подготовки по другим направлениям.

23 ноября 2023 года было подписано новое Тарифное соглашение на 2023–2026 годы между Министерством жилищно-коммунального хозяйства и Белорусским профсоюзом работников местной промышленности и коммунально-бытовых предприятий.

В соответствии с Тарифным соглашением, одним из приоритетных направлений деятельности является поддержка и закрепление молодых специалистов, обеспечение их трудовой и социальной адаптации.

обязательное внедрение в организациях Положения о наставничестве и закрепление за молодыми специалистами, молодыми рабочими наставников из числа опытных работников организации, а также материального стимулирования и морального поощрения их работы [2].

Применение такого рода ПАТК возможна для подготовки широкого круга специальностей, профессий и решения проблемных задач, стоящих как перед организациями ВКХ при эксплуатации объектов, так и подготовки учащихся в учреждениях образования соответствующего профиля, а также инструмента передачи знаний от опытных работников молодым специалистам организаций.

## Литература

1. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года [Электронный ресурс] / Информационно-

аналитическая система Пех. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/159729>. – Дата доступа: 01.08.2023.

2. Подписано новое тарифное соглашение [Электронный ресурс] / Портал коммунальной грамотности. – Режим доступа: <https://gkx.by/novosti/ofitsialno/4167-podpisano-novoe-tarifnoe-soglashenie>. – Дата доступа: 30.01.2024.

УДК 628.16

### **О применимости эжектирующих устройств при обработке подземных вод для малых населенных пунктов**

Велого Е.С.<sup>1</sup>, Ющенко В.Д.<sup>1</sup>, Козицин Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»,

Новополоцк, Беларусь,

<sup>2</sup>Частное предприятие «АкваПром», Полоцк, Беларусь

*Описаны результаты исследований, проводимых на пилотных установках и производственных напорных фильтрах существующих станций обезжелезивания Витебской области. Представлены расчеты эжекторов и их сравнение с литературными данными. Показаны результаты экспериментов и выводы по эффективности удаления железа, применяя различное водовоздушное соотношение.*

В Витебской области Республики Беларусь, несмотря на ежегодное увеличение концентраций аммонийного азота и перманганатной окисляемости в подземной воде, основным загрязняющим элементом остается железо [1].

Аналитический обзор существующих методов обезжелезивания воды при малом водопотреблении показывает, что метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием на напорных песчаных фильтрах считается наиболее простым и дешевым методом удаления железа [2; 3]. А поскольку задачей водопроводно-канализационного хозяйства является использование доступных материалов и надежных технологий, то наиболее часто применяемым основным компонентом при аэрации подземных вод является кислород воздуха. Но, как показывает практика эксплуатации напорных фильтров станций обезжелезивания для малых населенных пунктов, уровень его содержания в большинстве случаев недостаточен даже для выполнения нормированных требований при удалении общего железа.

Именно поэтому для требуемой степени очистки подземных вод необходимо правильно рассчитать и применить количество растворенного кис-

лорода в воде для полного окисления не только железа, но и сопутствующих загрязнений.

Для аэрации воды в напорных условиях применяются эжекторы или компрессоры.

Эжекторы являются практически реакторами идеального смешения, их отличает простота конструкции, несложности ремонта и обслуживания, отсутствие подвижных деталей [4]. Однако в силу конструктивных особенностей эжектор адекватно функционирует только при высокой скорости движения воды и создании большого перепада давления между входом и выходом из него. Недостаточная скорость движения воды через сопло эжектора не способна обеспечить создание локального разрежения на периферии камеры смешивания эжектора, необходимого для поступления воздуха в напорный трубопровод.

Технологическая схема аэрации эжектором может отлично работать, если обеспечить потоку воды нужную стабильность. Но, следует отметить, что к.п.д. эжектора обычно мал и находится в пределах 25–45 %. И, как показывает опыт эксплуатации станций обезжелезивания Витебской области, подбор эжектирующих устройств требует пристального внимания.

Цель данной работы – изучить область применения эжектирующих устройств для аэрации кислородом воздуха подземных вод перед напорными фильтрами с песчаной загрузкой

Задачей исследований явилось определение влияния степени аэрации воды на эффективность удаления железа при смешении воды с воздухом с помощью эжектора, как самостоятельной единицы, а также при наличии струйного аэратора и аэрационной колонны.

Рассмотрим основы подбора эжекторов для аэрации воды. Показателем работы водовоздушного эжектора считается коэффициент эжекции:

$$U = \frac{q_1}{q_2} \quad (1)$$

где  $q_1$  – расход воды через напорный фильтр, м<sup>3</sup>/ч;  $q_2$  – объем всасываемого воздуха за единицу времени, м<sup>3</sup>/ч.

Этот коэффициент для водовоздушных эжекторов малой производительности по воде зависит от ее производительности, перепада давления, и составляет от 0,5–0,8 (при выпуске водовоздушной смеси в атмосферу) до 10 и более, если она направляется на напорные фильтры.

Расчет и подбор водоструйных эжектирующих устройств может производиться по разным методикам, но это относится либо к паровоздушной среде или жидкостным растворам и эмульсиям разного назначения и плот-

ности [5; 6], что практически не относится к процессу аэрации воды при удалении загрязняющих микроэлементов, веществ и соединений.

Для расчета и подбора водовоздушного эжектора, устанавливаемого перед напорными фильтрами, можно применить уравнение Бернулли в условиях реальной жидкости в двух сечениях «до» и «после» сужения в камере смешения потоков:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \xi \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

где  $v_1, v_2$  – скорость воды на входе в эжектор и выходе из сопла, м/с;  $\xi$  –

коэффициент сопротивления, в данном случае близок к нулю;  $\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$  –

давление в соответствующих сечениях, м. вод. столба.

При малой производительности (~до 10 м<sup>3</sup>/ч) станции обезжелезивания коэффициент сопротивления  $\xi$  стремится к нулю, и тогда последним членом уравнения можно пренебречь и использовать его, как для идеальной жидкости.

Например, определим диаметр сопла и расход воздуха при создании максимального разрежения в камере смешения. Принимая расход воды и давление на входе в эжектор  $q_1 = 9,42$  м<sup>3</sup>/ч ( $2,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с),  $p_1 = 2,11$  бар (21,1 м. вод. столба) и диаметр входа и выхода  $d_n = 50$  мм, определим скорость воды перед эжектором, которая составит  $v_1 = 1,72$  м/с. Тогда скорость воды в сечении сопла, выраженная из уравнения 2, будет равна  $v_2 = 24,8$  м/с. Отсюда диаметр сопла  $d_c = 11,6$  мм.

Таким образом, диаметр сопла определяется при известном расходе воды и принятой глубине разрежения (вакуума) в камере смешения.

Расход воздуха будет определяться выражением

$$q_B = v_{cm} d_{cm}^2 \left(1 - \frac{d_c^2}{d_{cm}^2}\right) \frac{\pi}{4}, \quad (3)$$

где  $d_{cm}$  и  $d_c$  – соответственно диаметр камеры смешения и сопла, м.

В нашем случае диаметр камеры смешения будет составлять 12,8 мм, что обеспечит расход всасываемого воздуха до 1,65 м<sup>3</sup>/ч. Коэффициент эжекции составит  $9,42/1,65 = 5,72$ .

По полученным расчетным величинам и каталогу заводов изготовителей подбирается эжектор, принимая погрешность в расхождении не более 5%. Для данного случая ближе всего подходит эжектора марки Mazzei® 1587 [7].

**Экспериментальная часть.** Эксперименты исследования по удалению железа проводились с использованием эжекторов на реальной подземной воде. Приготовление различных модельных растворов было принято нецелесообразным из-за преждевременного окисления двухвалентного железа при их приготовлении, вследствие чего могут быть получены недостоверные опытные данные.

Аэрация воды производилась помощью эжекторов марки Mazzei®. Были приняты три варианта их работы: только эжектор, дополнительное смешение в струйном аэраторе или аэрационной колонне.

Для сравнения и оценки результатов исследований было принято решение проводить эксперименты на различных объектах Шумилинского, Полоцкого, Россонского и Витебского районах Витебской области, в которых установлены и смонтированы станции водоподготовки, работающие по методу упрощенной аэрации, что позволяет проведение опытов как на пилотной установке, так и в производственных условиях.

Давление исходной воды изменялось работой скважинного насоса. Отбор проб выполняли после напорных фильтров не менее 2-х часов работы пилотной установки и 10-и часов на производственных фильтрах после их выхода на рабочую эффективность.

Все рассматриваемые объекты были разбиты на 4 группы по практически одинаковому составу исходной воды (не менее 2-х объектов на каждую группу).

Первая группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 1,3–1,5 мг/дм<sup>3</sup>, аммонийный азот – 0,3–0,5 мг/дм<sup>3</sup>, перманганатная окисляемость – 3,5–3,7 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, величины рН 7,2–7,3 и Eh ≈ 100–110 мВ.

Вторая группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 2,0–2,3 мг/дм<sup>3</sup>, аммонийный азот – 0,6–1,0 мг/дм<sup>3</sup>, перманганатная окисляемость – 3,6–4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, величины рН 7,2–7,3 и Eh ≈ 100 мВ

Третья группа. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 3,2–3,5 мг/дм<sup>3</sup>, аммонийный азот – 1,2–2,5 мг/дм<sup>3</sup>, перманганатная окисляемость – 4,5–5,0 мгО<sub>2</sub>/ дм<sup>3</sup>, величины рН 7,2–7,4 и Eh ≈ 0–90 мВ.

Четвертая группа. Объекты 7, 8. Состав исходной воды соответствовал следующим параметрам: железо – 4,5–5,2 мг/дм<sup>3</sup>, содержание аммонийно-

го азота – 3,4–3,8 мг/дм<sup>3</sup>, цветность – 25–35 град. перманганатная окисляемость – 5,2–8,0 мгО<sub>2</sub>/ дм<sup>3</sup>, величины рН 7,4–7,6 и Eh ≈ 64–70 мВ.

Результаты экспериментов представлены на рис. 1–4 (указаны средние значения).

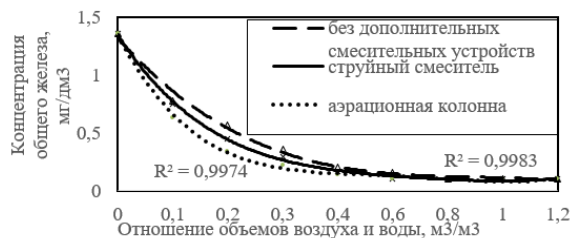


Рис. 1. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам первой группы

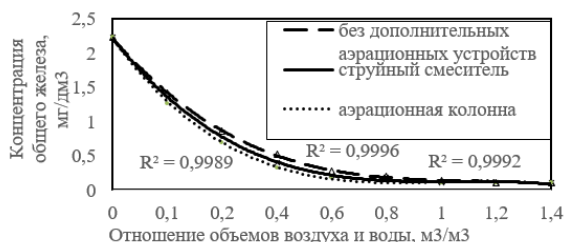


Рис. 2. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам второй группы

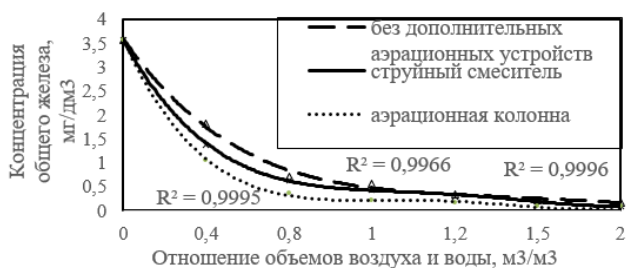


Рис. 3. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам третьей группы



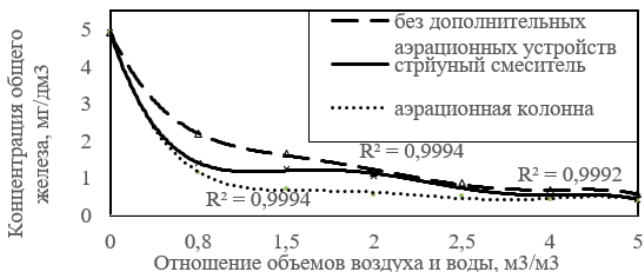


Рис. 4. Снижение концентрации общего железа при аэрации эжектором в зависимости от отношения воздуха и воды по объектам четвертой группы

Результаты проведенных опытов показали:

Эжектор водовоздушного назначения для аэрации воды с последующим фильтрованием в напорных фильтрах с песчаной загрузкой, как самостоятельная единица (без дополнительных смесительных устройств) эффективно работает при концентрации общего железа до 3-х мг/дм<sup>3</sup>, концентрации аммония до 1,5–1,7 мг/дм<sup>3</sup> и окисляемости до 3–4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> в исходной воде. Остаточные концентрации загрязнений в обработанной воде не превышают нормативных показателей, а по общему железу могут быть менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

При таких же условиях применение струйного аэратора незначительно повышает эффективность удаления железа.

Аэрационные колонны гидравлического типа оказывают большое влияние, прежде всего на снижение общего железа с его исходной концентрацией 2–3 мг/дм<sup>3</sup>.

Однако, при наличии исходной воды сложного состава и больших концентраций загрязнений эжектор желателно не использовать, так как в фильтрате наблюдается превышение этих показателей, особенно по железу до 1,8, при использовании дополнительного струйного аэратора до 1, а аэрационной колонны 0,7–0,9 мг/дм<sup>3</sup>.

## Литература

1. Ющенко, В. Д. Общая характеристика качественного состава подземных вод на территории Республики Беларусь / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго // сб. науч. Статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–27 октября 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. А. Волчек [и др.]; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2023. – с. 95–101.

2. Yushchenko, V. / Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski / Groundwater for Sustainable Development. – 2023.

3. Yushchenko, V. / Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski / Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. – № 3. – P. 25-29.

4. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе, – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.

5. Ефимов, Д. С. Теоретический расчет эжектирования на воде и гидросмеси/ Д. С. Ефимов, Н. В. Реунов, С. А. Тарасьянц// Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 77(03). – С. 1–9.

6. Яценко, А. Ф. Теоретические и экспериментальные исследования водовоздушного эжектора / А. Ф. Яценко, Т. А. Устименко // Научные труды, ДонНТУ. – 2012. – № 23(196). – С. 247–254.

7. Mazzei: Инструмент выбора инжектора: офиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mazzei.net/products/venturi-injectors/>. – Дата доступа 25.02.2024.

УДК 628.153.32

### **Канализационная насосная станция с предварительной очисткой**

Роденко А. В.

ООО «Гефлис»

Гомель, Республика Беларусь

*Доля нерастворимых веществ в сточных водах постоянно увеличивается, это приводит к тому, что в насосных станциях для перекачивания сточных вод требуются насосы с большим свободным проходом и соответственно увеличивается потребляемая мощность насосов. Чтобы уменьшить потребление электроэнергии и соответственно затраты на жизненный цикл оборудования, в насосных станциях следует применять систему предварительной очистки.*

На сегодняшний день при эксплуатации порядка 90 % канализационных насосных станций приходится сталкиваться с рядом проблем:

- моральный и физический износ оборудования и строительных конструкций;
- конструктивная невозможность обеспечения безлюдной технологии;
- конструктивная невозможность работы в режиме затопления;

– невозможность существующей технологической схемы обеспечить надежную эксплуатацию в ситуации повышения количества мусора в сточных водах;

– изменение качественного состава мусора.

Мягкие, твердые и волокнистые включения с перекачиваемыми сточными водами поступают в насос; некоторые из них наталкиваются на направляющую кромку лопастей рабочего колеса. Волокна имеют тенденцию к налипанию, они откладываются внахлест по обеим сторонам лопасти. По мере того, как эти объекты накапливаются в рабочем колесе, вероятным становится следующее:

– расход потока, проходящего через насос, уменьшается (производительность снижается);

– увеличивается потребляемая мощность. Сопротивление приводит к снижению производительности и риску остановки электродвигателя насоса по перегрузке.

Производители насосов уверяют, что больший диаметр прохода рабочего колеса насоса сможет повысить надежность и уменьшить количество незапланированных аварийных вызовов. Однако, при увеличении свободного прохода рабочего колеса наблюдается снижение КПД и увеличение потребления электроэнергии (табл.).

Таблица

Сравнительная таблица характеристик насосного оборудования европейского производителя при различных размерах свободного прохода рабочего колеса

Характеристики	Тип рабочего колеса		
	Многоканальное	Двухканальное	Вихревое
КПД, %	77	60	40
Свободный проход, мм	30	80	100
P2, кВт	7,4	10	14,7

ООО «Гефлис» для защиты от засорения канализационных насосов предлагает использовать канализационные насосные станции с предварительной очисткой (патент №13459 BY [1], патент №224641 RU [2]).

На рис. 1–3 показаны этапы работы насосной станции.

Поступающие сточные воды поступают в распределитель и затем в открытый резервуар предварительной очистки. Там твердые частицы удерживаются фильтрующими решетками.

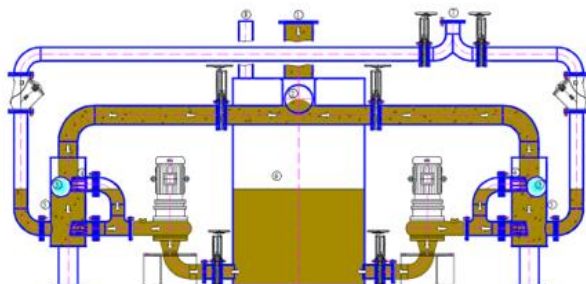


Рис. 1. Процесс наполнения

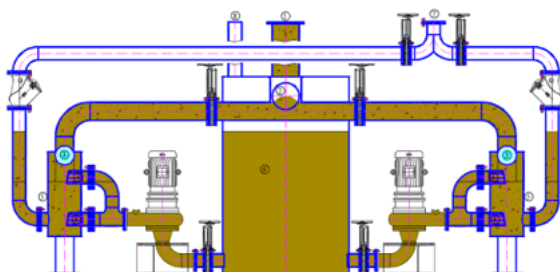


Рис. 2. Достигнут уровень включения насоса

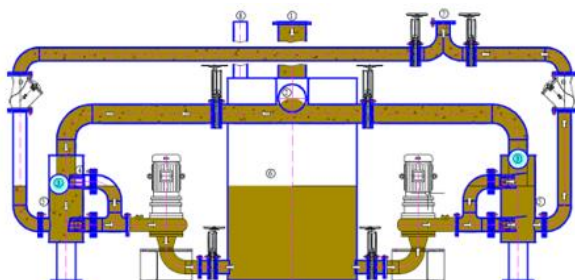


Рис. 3. Слева процесс заполнения, справа процесс перекачивания:  
 1 – приточный трубопровод; 2 – распределитель; 3 – шар запирающий;  
 4 – фильтрующие решетки; 5 – резервуар предварительной очистки;  
 6 – накопительный резервуар с отфильтрованной сточной водой; 7 – напорный трубопровод; 8 – вентиляционный трубопровод

Затем отфильтрованная сточная вода проходит через выключенный насос в большой, комбинированный сборный резервуар. По мере заполнения сборного резервуара уровень воды в резервуаре предварительной очистки также повышается. Запирающий плавающий шар автоматически перекрывает впускное отверстие.

При достижении настроенного максимального уровня запускается процесс перекачивания. Один из двух насосов включается и начинает перекачивать отфильтрованные сточные воды в обратном направлении. Сточные воды протекают через резервуар предварительной очистки и уносят с собой задержанные твердые частицы в напорный трубопровод.

Таким образом, происходит промывка и очистка системы предварительной очистки твердых частиц. При достижении минимального уровня воды в сборном резервуаре работающий насос выключается. Запирающий шар падает вниз и позволяет начать новое заполнение. Т. к. насосы работают попеременно, то во время работы одного из них по перекачиванию стоков, поступающие сточные воды проходят в сборный резервуар через второй открытый резервуар предварительной очистки и второй насос.

Применение КНС с предварительной очисткой дает преимущества:

- минимальна вероятность засорения, т. к. насосы не контактируют с твердыми частицами в сточной воде;
- использование насосов с небольшим свободным проходом, за счет этого обеспечивается более низкая потребность в электроэнергии при более высоком КПД, а также снижаются эксплуатационные расходы (экономия до 25 %);
- гигиенические условия для технического обслуживания и выполнения монтажных работ, т.к. все элементы доступны снаружи;
- помещение для насосов чистое, сухое и без запаха;
- меньший механический износ, т. к. не происходит перекачивания твердых частиц через гидравлическую часть;
- непрерывная эксплуатация.

### **Литература**

1. Патент №13459 Республика Беларусь, МПК Е 03F 5/22 (2006.01), Е 03F 1/00 (2006.01). Канализационная насосная станция с предварительной очисткой: №20230243: заявл. 17.11.2023: опубл. 20.04.2024 / В. Л. Лисицын, А. В. Роденко, С. В. Гордеев. – 5 с.

2. Патент №224641 Российская Федерация, МПК Е 03F 5/22 (2024.01). Канализационная насосная станция с предварительной очисткой: №2023131077: заявл. 23.11.2023: опубл. 29.03.2024 / В. Л. Лисицын, А. В. Роденко, С. В. Гордеев. – 6 с.

**Инновационные технологии  
в гидротехническом, энергетическом  
строительстве и на водном транспорте**

**Анализ конструктивных решений по повышению эффективности работы конструкции водомета**

Качанов И. В., Браим Д. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье проводится анализ конструктивных решений, направленных на повышение эффективности использования водометных движителей, устанавливаемых на транспортных и скоростных судах.*

Транспортный флот Республики Беларусь занимает важное место в перевозках различных грузов, добыче строительных материалов и последующей их доставке в порты. Также развивается пассажирское и прогулочное судоходство. Однако большинство судов транспортного флота (грузовых и пассажирских) имеют довольно большой возраст, в следствии чего являются морально устаревшими. Моральное устаревание флота в Республике Беларусь является одним из основных факторов, снижающих эффективность его использования и, как следствие, снижающих эффективность перевозок грузов и пассажиров.

Для повышения эффективности использования транспортного флота проводится модернизация судов. При проведении модернизации осуществляется замена главных судовых двигателей, реверс-редукторов и гребных винтов.

Стоит отметить, что большинство судов транспортного в Республике Беларусь имеют водометные движители с гребным винтом. В связи с этим для повышения эффективности транспортных судов с водометными движителями предлагается изменить конструкцию водометного движителя для снижения в нем гидравлического сопротивления. Снижение гидравлического сопротивления в водометном движителе позволит повысить эффективность как самого движителя, так и всего судна в целом.

Существует две основные схемы водометных движителей с гребным винтом: полнонапорный водометный движитель и статический водометный движитель [1], схема которых представлена на рис. 1.

Исходя из современной конструкции водометного движителя (рис. 2) рассмотрим основные конструктивные элементы, повышающие эффективность водометного движителя.

Можно выделить следующие конструктивные решения, повышающие эффективность работы водометных движителей:

- установка поворотного сопла,

- установка спрямляющего устройства (контрпропеллера),
- уменьшение длины водовода,
- увеличение поперечного сечения входного отверстия,
- установка нескольких ступеней (несколько гребных винтов),
- установка направляющих лопаток, как на входе в водометный движитель, так и в водоводе.

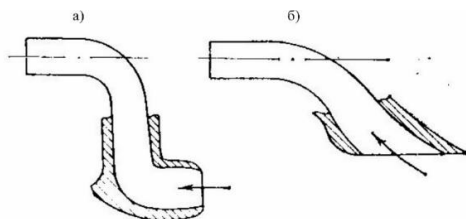


Рис. 1. Схемы водометных движителей:

*а* – в полнапорный водометный движитель; *б* – статический водометный движитель (стрелка указывает направление потока воды, втекающего в водозаборник)

На рис. 2 показана типовая конструкция водометного движителя скоростного судна [2].

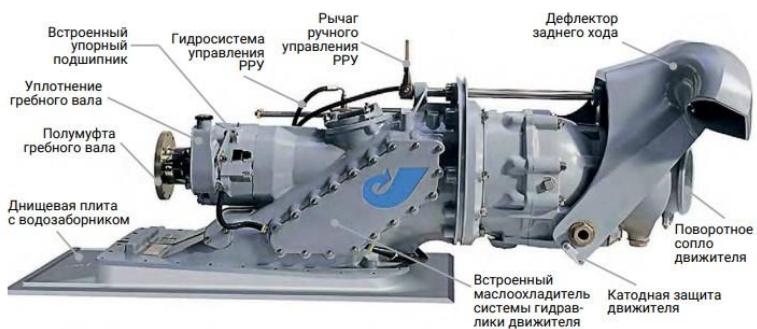


Рис. 2. Типовая конструкция водометного движителя скоростного судна

Рассмотрим каждое конструктивное решение отдельно. Поворотное сопло состоит из самого сопла и механизма, обеспечивающего его поворот. В связи с тем, что при работе водометного движителя рабочее устройство (гребной винт, лопастной насос) создает повышенное давление, кото-



рое необходимо преобразовать в кинетическую энергию струи, то на выходное отверстие устанавливают сопло. Конструктивно сопло выполняют с поджатием, т.е. площадь выходного сечения сопла меньше, чем входного. Сопло может выполняться как с внутренним поджатием, так и с внешним. В случае выполнения сопла с внешним поджатием оно выполняется конической формы. Внутреннее поджатие струи воды осуществляется коническим телом, обычно являющимся продолжением ступицы винта, в этом случае сопло выполняется цилиндрической формы [1].

Такая конструкция позволяет увеличить тягу водометного движителя. Однако для различных конструкций водометных движителей и, соответственно конструкций сопел, увеличение тяги будет различным.

Исследования, проведенные в БНТУ [3] показали, что при установке на мелкосидящий буксировщик-толкач проектов № 570В и № 730А конического насадка с углом конусности в пределах  $39-41^\circ$  теоретически можно увеличить тягу на 60–70 %. Однако экспериментальные результаты показали увеличение тяги на 10–20 % при угле конусности  $40-41^\circ$ . Такое различие между теоретическими и практическими результатами объясняется наличием механических, гидравлических и тепловых потерь в водометном движителе при его работе.

Механизм поворота насадки позволяет менять направление выброса струи, тем самым обеспечивая управляемость судна.

Применение в конструкции водометного движителя спрямляющего устройства (контрпропеллер) позволяет вернуть часть энергии, затраченную гребным винтом (осевым насосом) на закрутку потока в виде дополнительного упора [4]. Устанавливают контрпропеллер за гребным винтом. Если ступеней несколько, то за каждой ступенью обязательно ставится контрпропеллер. Конструктивно спрямляющий аппарат выполняют в виде гребного винта или турбины с лопастями, причем для уменьшения вибраций число лопастей (лопаток) всегда на одну больше, чем у гребного винта (осевого насоса) [4]. Применение спрямляющих аппаратов позволяет создать дополнительную тягу, составляющую 10–12 % от общего упора водометного движителя [4], и тем самым повысить КПД движителя.

Основной проблемой потерь энергии в водометном движителе остаются гидравлические потери. Частично данная проблема решается укорачиванием водовода, тем самым снижая потери на трение воды об стенки водовода.

Входное отверстие водометного движителя статического типа выполняют эллиптической либо прямоугольной формы с закругленными концами. Такая форма обеспечивает наименьшее сопротивление воды на входе в отверстие. Однако на больших скоростях движения, водометному движителю необходимо прокачивать через себя большой объем воды, поэтому

при конструировании стремятся увеличить максимально увеличить площадь входного сечения, не приводящее к ухудшению других характеристик водометного движителя.

Установка в водометный движитель нескольких ступеней позволяет увеличить скорость потока и, следовательно, увеличить тягу движителя. Однако установка нескольких ступеней (гребных винтов или осевых насосов) усложняет конструкцию и обслуживание водометных движителей. Кроме того, установка нескольких ступеней увеличивает габариты самого водометного движителя, что создает дополнительные гидравлические сопротивления и усложняет монтаж таких движителей на судне.

Установка направляющих лопаток на входе в водометный движитель позволяет снизить гидравлическое сопротивление потока. Направляющие лопатки препятствуют перемешиванию потока воды, тем самым снижают пульсации давления и скорости, которые создают гидравлическое сопротивление. Однако установка направляющих лопаток на входе в водометный движитель уменьшает площадь поперечного сечения входного отверстия и, как следствие, уменьшает массу воды необходимую движителю для создания полезной тяги.

Расположение направляющих лопаток по периметру водовода, особенно в поворотных коленах, позволяет выравнивать скорости движения потока, уменьшать его перемешивание. Однако установка направляющих лопаток в водоводе приводит к повышению гидравлического сопротивления за счет трения потока воды об поверхность лопаток. Поэтому для снижения потерь напора на трение лопатки выполняют различных профилей (крыло, сегментный и т. д.).

Проведенный анализ показал, что используется одна форма поперечного сечения проточного водовода водометного движителя – круглая. В связи с этим предлагается изменить форму поперечного сечения проточного водовода водометного движителя. В качестве таких форм поперечного сечения будут выступать овальная и прямоугольные формы. Предполагается, что овальная или прямоугольная формы позволяют снизить вихреобразование в поворотных коленах водометного движителя и тем самым снизить гидравлическое сопротивление, а также повысить тягу движителя.

### Литература

1. Артюшков, Л. С. Судовые движители: Учебник / Л. С. Артюшков, А. Ш. Ачкинадзе, А. А. Русецкий– Л.: Судостроение, 1988. – 296 с.
2. Анчиков, С. Л. Водометные движители. Вопросы проектирования / С. Л. Анчиков. – СПб.: Реноме, 2021. - 252 с.
3. Об использовании конической насадки в водометных движителях мелкосидящих буксирных теплоходов (МБТ) / А. П. Афанасьев [и др.] // IX

Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, г. Минск, 26–30 октября 2020 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 46–48.

4. Куликов, С. В. Водометные движители (теория и расчет) / С. В. Куликов, М. Ф. Храбкин. – Л.: Судостроение, 1980. – 312 с.

УДК 621.22-253

### **Исследование влияния формы обтекателя рабочего колеса на энергетические характеристики осевой гидротурбины**

Дружинин А. А., Юрьев Д. А.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Москва, Российская Федерация

*На примере расчета проточной части рабочего колеса осевой гидротурбины для микроГЭС проведено исследование влияния геометрических параметров обтекателя на энергетические характеристики турбины. Проведен анализ эффективности гидротурбины с обтекателем различных форм и сформулированы рекомендации по применению наиболее предпочтительного варианта.*

С ростом потребности в возобновляемой энергетике, проблема развития малой гидроэнергетики с каждым годом становится все более актуальной. Малые ГЭС позволяют решить проблему автономного обеспечения электроэнергией удаленных потребителей, а также проблему энергообеспечения при сохранении окружающей среды [1; 2].

Известно, что общая эффективность гидротурбины определяется не только правильно спроектированной лопастной системой рабочего колеса, но и подводящими, а также отводящими участками проточной части турбины. В связи с этим, необходимо исследовать влияние формы обтекателя гидротурбины микроГЭС на распределение давления и скорости в проточной части гидротурбины, а также на её гидродинамическую эффективность в различных режимах.

На рис. 1 представлены эскизы проточных частей со сферической и вытянутой формой втулки, образованной двумя радиусами.

Как отмечалось в [3], при проектировании лопастных систем для малых ГЭС, не предусматривающих наличие направляющих устройств на входе, стоит учитывать влияние формы обтекателя рабочего колеса. Под действием вязкостных сил обтекатель вызывает отклонение скорости потока у стенок перед его дальнейшим прохождением через лопастную систему.

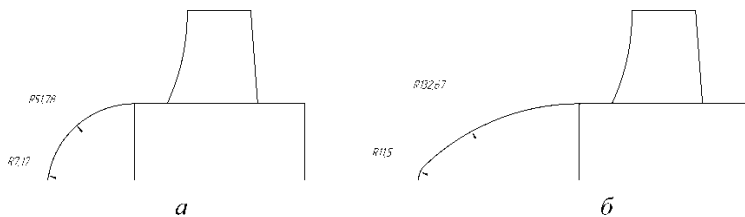


Рис. 1. Эскизы проточной части с различной формой обтекателя:  
*a* – «сферообразный» обтекатель ( $R_1 = 51,78$  мм,  $R_2 = 7,17$  мм);  
*б* – «вытянутый» обтекатель ( $R_1 = 132,67$  мм,  $R_2 = 11,5$  мм)

Для гидродинамического моделирования течения в проточной части гидротурбины, в расчетном CFD-комплексе были подготовлены расчетные модели для двух форм обтекателя. В качестве примера, на рис. 2 представлена расчетная модель для «вытянутого» обтекателя. В целях экономии вычислительных ресурсов, расчетная модель представлена четвертью проточной части, с граничными условиями периодичности на сопряженных поверхностях, статического давления - на входе и массового расхода - на выходе.

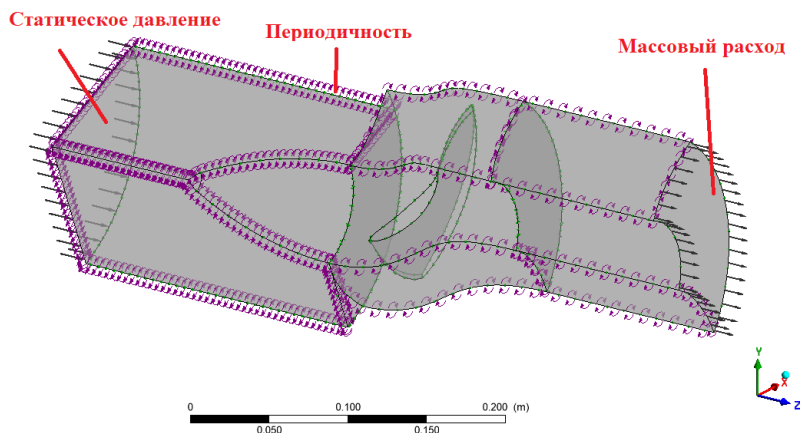


Рис. 2. Расчетная модель гидротурбины с «вытянутым» обтекателем

В табл. приведены исходные параметры для расчета гидротурбины.

Исходные параметры к расчету

Напор, м	Частота вращения, об/мин	Диаметр РК, мм	Втулочное отношение	Кол-во лопастей

Для решения поставленной задачи использовалась  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности. Для решения гидродинамической задачи использовались два дополнительных уравнения для расчета кинетической энергии турбулентности  $k$  и скорости диссипации кинетической энергии  $\varepsilon$  [4]. Буферный слой не моделировался, для расчета скорости у стенки использовались пристеночные функции.

Моделирование позволило получить вид распределения векторов скоростей вблизи поверхности обтекателя гидротурбины (рис. 3).

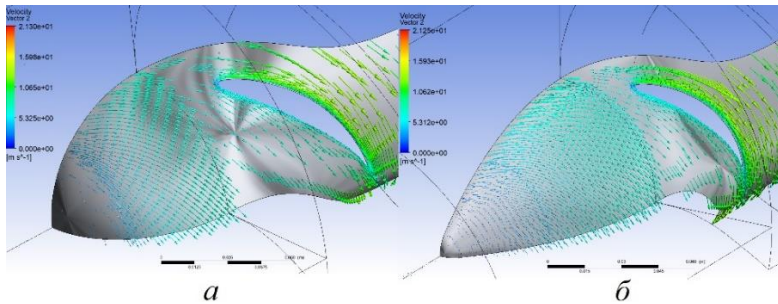


Рис. 3. Распределение векторов абсолютной скорости вблизи обтекателя  $a$  – «сферообразный» обтекатель;  $b$  – «вытянутый» обтекатель.

Отсюда видно, что с точки зрения задания предварительной циркуляции наиболее эффективной формой втулки – «вытянутая», т.к. имеет наибольшую площадь поверхности, «завлекающей» за собой поток у стенок при вращении рабочего колеса.

Также получен вид распределения давления в меридиональном сечении гидротурбины (рис. 4, 5).

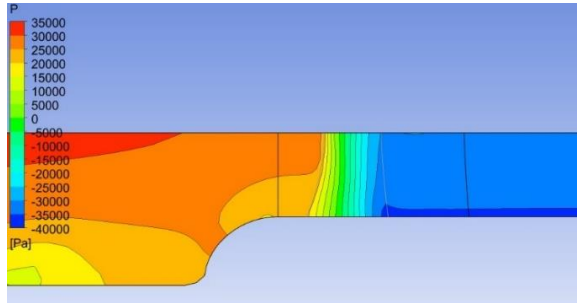


Рис. 4. Распределение давления в меридиональном сечении гидротурбины со «сферообразным» обтекателем

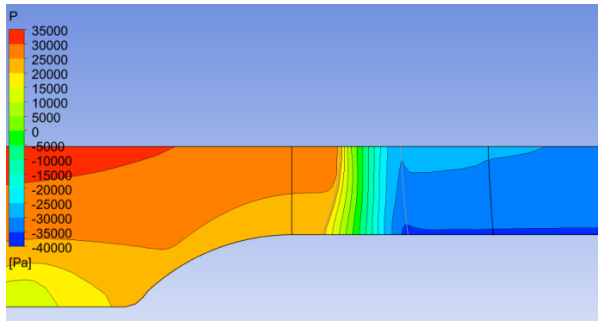


Рис. 5. Распределение давления в меридиональном сечении гидротурбины со «вытянутым» обтекателем

Из анализа рис. 4, 5 также можно сделать вывод об предпочтительном использовании «вытянутой» втулки в силу более плавного распределения давления. Гидравлическая эффективность такого обтекателя будет выше.

Для подтверждения вышеуказанных выводов о «вытянутой» форме обтекателя были построены характеристики  $\eta = f(Q)$  (рис.6).

Видно, что прирост КПД  $\Delta\eta$  увеличивается в зоне малых расходов. Среднеинтегральный прирост эффективности в рассматриваемой зоне составляет  $\Delta\eta = 0,52\%$ . Отсюда можно сделать вывод, о том, что при проектировании рабочего колеса, форма обтекателя не играет значительной роли с точки зрения общей эффективности гидротурбины малой мощности для микроГЭС. Поэтому при её разработке более целесообразно учитывать упрощение процесса производства.

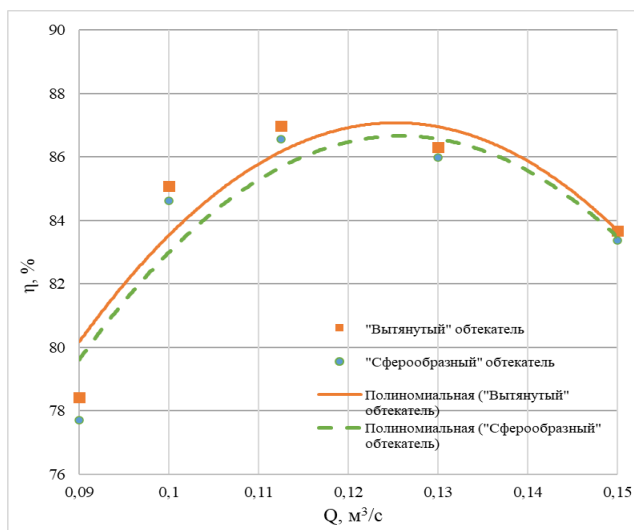


Рис. 6. Характеристики эффективности  $\eta = f(Q)$

Однако стоит отметить, что расчет проводился без учета шероховатости поверхности обтекателя рабочего колеса, что указывает на актуальность дальнейших исследований в данном направлении для повышения эффективности гидротурбин микроГЭС.

### Благодарности

Материалы, вошедшие в данную работу, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта "Наука и университеты" о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение №075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

### Литература

1. Краснов, В. Г. Направления и теоретические основы использования малой гидроэнергетики [Электронный ресурс] / В. Г. Краснов, Т. В. Краснов – № 10. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-i-primeneniya-maloy-gidroenergetiki>. – В Дадашова И. О. 2024. Экономические аспекты перспективного использования возобновляемых ресурсов традиционными технологиями / И. А. Агафонов, О. С. Чечина, И. Е. Шафранский // Вестник АГТУ. Серия: Экономика. – 2023. – № 1.

3. Волков, А.В. Способ повышения эффективности пропеллерной турбины в напорном водоводе / А. В.Волков, А. Г.Парыгин, А. А. Дружинин // HydroTurbo'2016: материалы 23 Международной Конференции по Гидроэнергетике, Зноймо (Чехия), 25–27 октября 2016 г.

4. Коркодинов, Я. А. Обзор семейства  $k$ - $\varepsilon$  моделей для моделирования турбулентности / Я. А. Коркодинов // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. –2013. – № 2.

УДК 62-757.73

**Разработка 3D моделей несамходной баржи грузоподъемностью 2300 т. и основные результаты экспериментальных исследований сопротивления движению ее корпуса**

Качанов И. В.<sup>1</sup>, Ключников В. А.<sup>1</sup>, Ленкевич С. А.<sup>1</sup>, Власов В. В.<sup>1</sup>,  
Афанасьева Е. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>БелНИИТ «Транстехника»

Минск, Республика Беларусь

*В статье представлены результаты экспериментальных гидродинамических исследований 3D-моделей корпусов несамходного судна грузоподъемностью 2300 т. с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями  $L/B$ .*

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что связано в свою очередь с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна, которая зависит от большого количества факторов, к основным из которых относятся геометрия обводов носовой и кормовой частей судна и соотношения основных размеров судна  $L/B$  (где  $L$  – длина судна;  $B$  – ширина судна).

Оптимизация обводов корпуса судна для снижения сопротивления движению является одной из наиболее актуальных проблем гидродинамики судна. Величина сопротивления движению прямо связана с затратами энергии и топлива, от которых существенно зависят технико-эксплуатационные и экономические показатели судов.

Достоверные оценки влияния формы корпуса на сопротивление движению могут быть получены путем проведения модельного эксперимента. В последние годы аналогичные оценки все чаще выполняются и с помощью численного моделирования. Судя по материалам международного семинара по проблемам численного моделирования обтекания корпуса вязким



потоком, при сетках с числом неизвестных порядка нескольких миллионов точность численного расчета несколько уступает модельному эксперименту, но уже сопоставима с ним [1, 2].

Особенностью как модельного эксперимента, так и численного моделирования в задаче оптимизации является недоступность решения обратной задачи. Доступно лишь определение сопротивления заданной формы корпуса, то есть решение прямой задачи. Получить оптимальные обводы можно на базе некоторого числа решений прямых задач, в которых рассматриваются начальная форма и ряд ее модификаций [3–13].

Окончательное решение о форме обводов корпуса следует принимать после сопоставления показателей сопротивления движению, полученных для нескольких вариантов проектируемого несамходного судна, путем гидродинамических испытаний моделей этого судна, т.к. статистические данные по построенным ранее однотипным судам не всегда позволяют получить обоснованное представление об элементах и обводах корпуса, обеспечивающих оптимальные пропульсивные качества. Таким образом, при проектировании несамходного судна приходится учитывать рекомендации, которые можно использовать лишь для оценки допустимых пределов изменения тех или иных параметров формы корпуса, не являющихся в общем случае наивыгоднейшими.

Особенности обтекания корпуса несамходных судов внутреннего плавания являются причиной того, что параметры, определяющие форму его обводов, обычно существенно отличаются от оптимальных, в частности, чтобы обеспечить достаточную «заостренность» корпуса и тем самым снизить остаточное сопротивление, во многих случаях приходится увеличивать относительную длину (или отношение  $L/B$ ). Однако это увеличивает смоченную поверхность судна, а, следовательно, и сопротивление трения. В связи с указанным характером обтекания корпуса несамходных судов внутреннего плавания при разработке моделей особое внимание следует уделять выбору формы носовых и кормовых обводов.

Учитывая перечисленные выше факторы, разработка 3D-моделей осуществлялась путем разбивки корпуса баржи на три основных составляющих элемента: базовый носовой элемент, базовый кормовой элемент и цилиндрическую вставку. Соответственно к базовым основным элементам разрабатывались 3D-модели съемных носовых и кормовых частей.

Анализ результатов расчетов основных размерений несамходных судов, представленных заказчику НИР – ОАО «Белсудопроект», в рамках научно-технического договора № 3751/21, позволил выбрать три основных судна-прототипа по грузоподъемности, размерениями, геометрии обводов носовой и кормовой частей.

Используя численные параметры основных размерений самоходных судов, были созданы цифровые 3D-модели в масштабе 1:150 трёх судов-прототипов (в дальнейшем прототип №1, прототип №2, прототип №3) с различной геометрией обводов носовой и кормовой частей, а также различным отношением  $L/B$  основных размерений самоходного судна:

– прототип №1: длина судна  $L = 78,8$  м, ширина  $B = 15$ , осадка  $T = 2,8$  м,  $L/B = 5,25$ ;

– прототип №2: длина судна  $L = 85$  м, ширина  $B = 17$ , осадка  $T = 2,51$  м,  $L/B = 5$ ;

– прототип №3: длина судна  $L = 80$  м, ширина  $B = 17$ , осадка  $T = 2,63$  м,  $L/B = 4,7$ .

На цифровых 3D-моделях корпусов самоходного судна были рассмотрены различные типоразмеры геометрии обводов носовой и кормовой частей:

– прототип № 1 был оцифрован с плоской носовой частью и переменным углом наклона  $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ , причем угол наклона кормовой части варьировался в пределах  $\beta = 11^\circ, 14^\circ, 20^\circ$ . Отношение основных размерений составило  $L/B = 5,25$  (рис. 1);

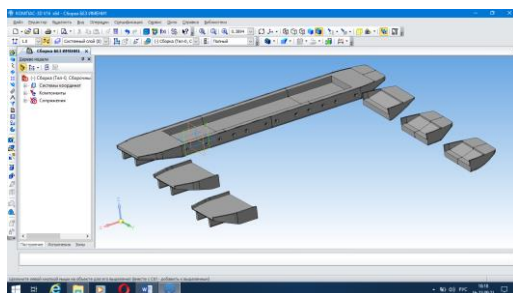


Рис. 1. Внешний вид 3D-модели прототипа № 1 в сборе и сменные части конечностей (нос и корма)

– прототип № 2 был оцифрован с плоской носовой частью с  $\alpha = 25^\circ$  (угол выбран после анализа проведенных экспериментов с прототипом № 1), с формой обводов с двойным углом подъема  $\alpha_1 = 5^\circ, \alpha_2 = 25^\circ$  в носовой части (углы выбраны в соответствии с данными мировой практики эксплуатации речных судов), с формой обводов носовой части с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$  (угол выбран с учетом мирового многолетнего опыта эксплуатации речных судов), с ложкообразной формой обводов в носовой части с углом наклона хорды  $\alpha_2 =$

20° и радиусом кривизны  $R = 0,1$  м, а также с лекальной формой обводов. Отношение основных размерений составляло  $L/B = 5$  (рис. 2);

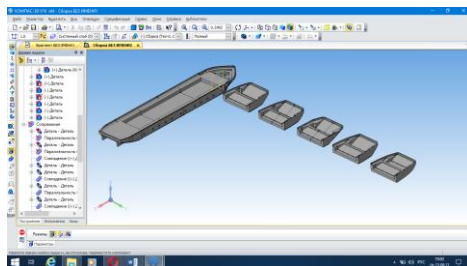


Рис. 2. Внешний вид 3D-модели прототипа № 2 в сборе и сменные части носовых оконечностей

– прототип № 3 был оцифрован с той же формой обводов носовой части, что и прототип № 2, при этом отношение основных размерений составляло  $L/B = 4,7$ . Модели прототипов № 2 и № 3 имели корму с углом наклона к основной плоскости  $\beta = 14^\circ$  (рис. 3).

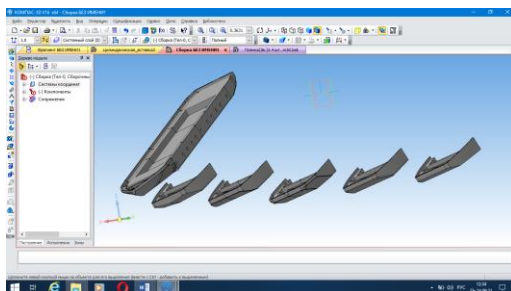


Рис. 3. Внешний вид 3D-модели прототипа № 3 в сборе и сменные части носовых оконечностей

Экспериментальные гидродинамические исследования 3D-моделей корпусов несамходного судна грузоподъемностью 2300 т. с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями  $L/B$  длины корпуса судна  $L$  к ширине  $B$ , проведенные в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ БНТУ в режиме обращенного движения, позволили сделать следующие выводы и выбрать оптимальные параметры корпуса несамходного судна:

– испытания 3D-моделей прототипа №1 показали, что наименьшим сопротивлением движения в диапазоне скоростей  $v = 0,13–0,23$  м/с обладает несамородное судно с плоским носом с углами наклона  $\alpha$  к основной плоскости в диапазоне  $\alpha = 20–30^\circ$  при угле наклона кормовой части  $\beta = 14^\circ$ , причем осадка такого несамородного судна составит  $T = 2,8$  м;

– испытания 3D-моделей прототипа №2 показали, что оптимальной формой носовой части в диапазоне скоростей  $v = 0,13–0,23$  м/с является плоский нос с углом наклона  $\alpha = 25^\circ$  к основной плоскости; форма обводов с двойным углом подъема ( $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 25^\circ$ ) в носовой части в заданном диапазоне скоростей обеспечивает достаточно низкое сопротивление движению, однако возникающий значительный дифферент на корму создает предпосылки для заливания палубы; при движении на максимальных скоростях минимальное сопротивление движению обеспечивает форма обводов с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$ . При этом осадка составляет  $T = 2,51$  м;

– испытания 3D-моделей прототипа №3 показали, что оптимальной формой носовой части в диапазоне скоростей  $v = 0,13–0,23$  м/с является форма обводов с двойным углом подъема ( $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 25^\circ$ ) в носовой части, однако возникающий значительный дифферент на корму (как и на прототипе №2) создает предпосылки для заливания палубы; ложкообразная и лекальные формы обводов в носовой части в заданном диапазоне скоростей обеспечивают достаточно низкое сопротивление движению, причем лекальная форма обеспечивает плавное возрастание сопротивления движению, что говорит о большей устойчивости на курсе данной модели по сравнению с ложкообразной формой; при движении на максимальных скоростях  $0,23$  м/с и выше носовые части с плоской носовой частью с углом  $\alpha = 25^\circ$  и носовая часть с боковыми подрезами под углом к диаметральной плоскости  $\gamma = 40^\circ$  выравниваются по сопротивлению движению со всеми остальными носовыми оконечностями кроме лекальной, которая сохраняет более низкие показатели сопротивления движению. При этом осадка составляет  $T = 2,63$  м;

– при эксплуатации несамородных судов на водных путях РБ с большим количеством мелководных участков предпочтительным являются корпуса с минимальной осадкой. Это позволяет сделать вывод, что наиболее оптимальной формой обводов в носовой части являются обводы с углом подъема батоксов к грузовой ватерлинии  $\alpha = 25^\circ$ , а также обводы с тем же углом подъема батоксов  $\alpha$  с боковыми подрезами относительно диаметральной плоскости под углом  $\gamma = 40^\circ$ ; наиболее оптимальной формой обводов в кормовой части являются обводы с углом подъема батоксов  $\beta = 14^\circ$ ,

– анализ результатов проведенных экспериментов по выбору оптимального отношения основных размерений судна  $L/B$  показал, что оптимальное отношение  $L/B$  с учетом минимальной осадки судна необходимо принимать равным 5.

Полученные результаты экспериментальных исследований 3D-моделей корпуса самоходной баржи грузоподъемностью 2300 т. были далее представлены заказчику (ОАО «Белсудопроект») в качестве рекомендаций для дальнейшего использования в проектно-конструкторской документации при модернизации самоходных судов подобного типа.

### Литература

1. Larsson, I. Benchmarking of computational fluid dynamics for ship flow: the Gothenburg 2000 Workshop / I. Larsson, F. Stern, V.J. Bertram // *Ship Res*, 2003. – Vol. 47. – P. 63–81.

2. Larsson, L. CFD in ship hydrodynamics – results of the Gothenburg 2010 workshop / L. Larsson, F. Stern, M. Visonneau. – *Proc. of the IV International Conference on Computational*.

3. Павленко, Г. Е. Сопротивление воды движению судов / Г. Е. Павленко. – М.: Морской транспорт, 1956. – 507 с.

4. Справочник по теории корабля: в 3 т. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985.

5. Протопопов, В. Б. Конструкция корпуса судов внутреннего и смешанного плавания: учебник / В. Б. Протопопов, О. И. Свечников, Н. М. Егоров. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с.

6. Горбачев, Ю.Н. Перспективный способ совершенствования конструктивных судов внутреннего и смешанного река-море плавания / Ю. Н. Горбачев, А. С. Буянов, А. В. Сверчков // *Ручной транспорт век*). – 2014. – № 6. – С. 28-34.

7. Давыдов, Н. Ф. Экспериментальное исследование улучшенных обводов для тихоходного судна большой полноты / Н. Ф. Давыдов [и др.]: Экспериментальные методы теории корабля: программа и материалы III междуна. науч.-технич. конф. – Николаев: НУК, 2014.

8. Сизов, В. Г. Об одном способе улучшения формы судна / В. Г. Сизов – *Вестник ОНМУ*. – Вып. 19. – Одесса: ОНМУ, 2006. – С. 14–19.

9. Крейн, М. Г. О форме судна наименьшего мичеллевского сопротивления / М. Г. Крейн. – Аннотации докл. АН СССР на Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике. – М., 1960. – С. 111–115.

10. Печенюк, А. В. Эталонное тестирование ПК FlowVision в задаче моделирования обтекания судового корпуса / А. В. Печенюк. – *Компьютерные исследования и моделирование*, 2014. – Т. 6. – С. 889–899.

11. Вишневский, Л. И. Проектирование пропульсивного комплекса судна ограниченного района плавания на базе современных методов вычислительной гидродинамики / Л. И. Вишневский, Г. В. Егоров, Б. И. Станков, А. В. Печенок // Судостроение, 2006. – № 2.

12. Шишаева, А. С. Оптимизация положения элементов механизированного крыла с использованием программных комплексов FlowVision-НПС и IOSO / А. С. Шишаева, И. В. Москалев С.В. Жлуктов и др. // САПР и графика. – 2010. – № 9.

13. Аксенов, А. А. Программный комплекс FlowVision как современный инструмент проектирования судовых обводов / А. А. Аксенов, С. В. Жлуктов, А. С. Петров // Судостроение. – 2013. – № 4.

УДК 624.131.552

### **Эффективность демпфирования поверхностных волн в грунте при помощи инерционных плит переменной жесткости**

Повколас К. Э.<sup>1</sup>, Ali Abdullah Al-Robay<sup>2</sup>, Saadoon Sura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>University of Al-Qadisiyah

Diwaniya, Iraq

*Выполнено численное моделирование методом конечных элементов процессов демпфирования колебаний, распространяющихся в верхней толще грунтовой среды за счет размещения на пути их распространения барьеров в виде инерционных плит, выполненных из бетона. Рассмотрено несколько расчетных схем барьеров с различной конфигурацией их поперечных сечений при равном объеме бетона. Выявлены наиболее эффективные конструктивные решения. В качестве критерия эффективности принято относительное снижение вертикальных колебаний поверхности грунта за барьером.*

### **Введение**

Целью данной работы является выбор наиболее эффективного способа виброизоляции зданий и сооружений от вибраций, распространяющихся в грунтовой среде, от фундамента под машину, за счет устройства инерционного барьера из бетона на пути распространения колебаний. Для достижения поставленной цели выполнено численное 3D моделирование взаимодействия грунтовых волн с инерционными барьерами при их различных геометрических параметрах, но одинаковом объеме бетона.

Обоснование эффективности использования горизонтального барьера вокруг застройки для защиты от сейсмических волн изложена в работах [1; 2]. В них рассмотрена плоская задача метода конечных элементов. Сделан вывод об определяющем влиянии плотности, модуля упругости и геометрии барьера на эффективность его применения. Идея основана на теореме П. Чандвика [3], согласно которой поверхностные волны не могут распространяться, если смещения поверхности полупространства ограничены. В работе [4] приведены результаты расчетов в пространственной постановке с различными геометрическими параметрами барьера в виде заглубленной плоской бетонной плиты и частотным составом вынужденных колебаний от точечного источника. Отмечено, что снижение вертикальных амплитуд колебаний поверхности грунта за барьером может достигать 87 %.

### Результаты численного моделирования виброизоляции при помощи инерционных плит

Моделирование систем «источник колебаний – среда распространения с барьером и без него» выполнялось методом конечных элементов. Грунтовый массив моделировался как упругая инерционная среда с демпфированием колебаний согласно гипотезе Релея. Расчетная схема грунтового массива, с расположенными на нем фундаменте под машину и инерционной плитой приводится на рис. 1.

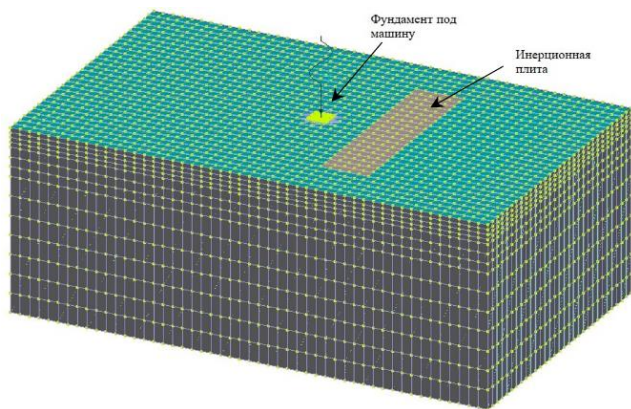


Рис. 1. Расчетная конечно-элементная схема грунтового массива с заглубленным горизонтальным барьером

Расчётная схема (рис. 1) представляет собой упругий массив размерами 50\*30\*19 м, состоящий из 55920 конечных элементов, на котором расположены бетонный фундамент под машину с размерами в плане 1,5×1,5 м

толщиной 1,0 м и барьер, выполняемый в нескольких конструктивных вариантах (рис. 2), при неизменном объеме ( $100 \text{ м}^3$ ) и длине барьера (размер перпендикулярный направлению распространения продольной волны) равной 20 м. К центру фундамента прикладывалась вертикальная динамическая нагрузка в виде синусоиды с амплитудой 100 т, продолжительностью  $t$  равной 0,6 сек. и частотой 25 Гц. Грунтовая среда с удельным весом  $20 \text{ кН/м}^3$ , динамическим модулем упругости  $E = 150 \text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$ . Расчет производится в ПК «LIRA 10.8». Время интегрирования – 1 сек. Поверхность боковых и нижней граней грунтового массива моделировались пластинчатыми конечными элементами «неотражаемые границы» для исключения эффекта увеличения колебаний вследствие их отражения

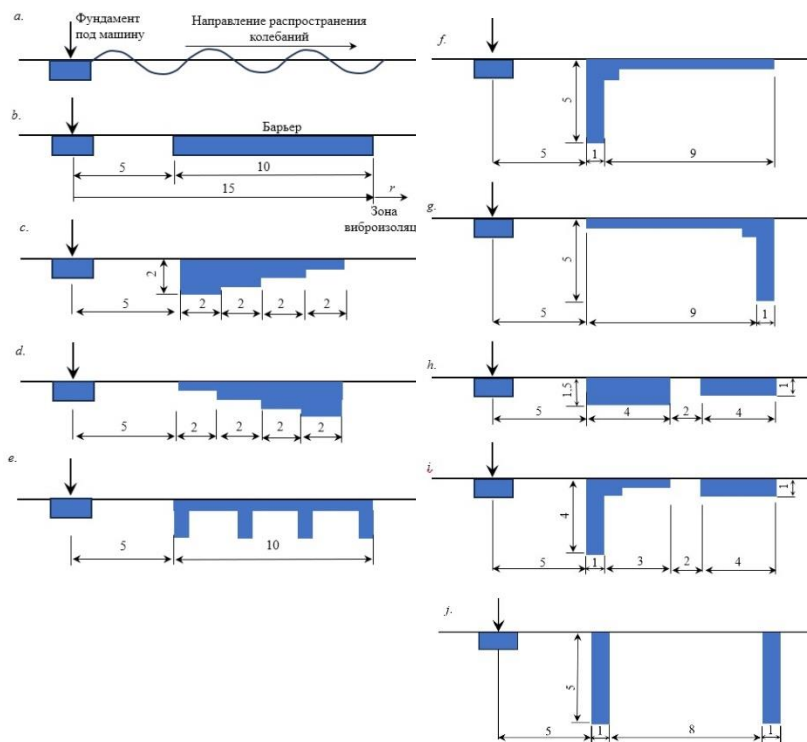


Рис. 2. Схемы виброизоляционных барьеров  $a - j$

Для примера, на рис. 3 приводятся изополя вертикальных перемещений поверхности грунтового массива спустя 0,22 сек. после приложения дина-



мической нагрузки при наличии бетонной плиты толщиной 1 м (схема *b* на рис. 2).

Картина распределения изополей вертикальных перемещений на рис. 3 иллюстрирует искажение волновых полей и уменьшение амплитуд вертикальных колебаний при наличии препятствия в виде бетонной плиты (справа от источника колебаний).

Изменения амплитуд вертикальных перемещений поверхности массива  $A_r$ , начиная с расстояния 15 м от источника колебаний (см. рис. 3*b*) за барьером в зависимости от расстояния  $r$  от края барьеров представлены на рис. 4.

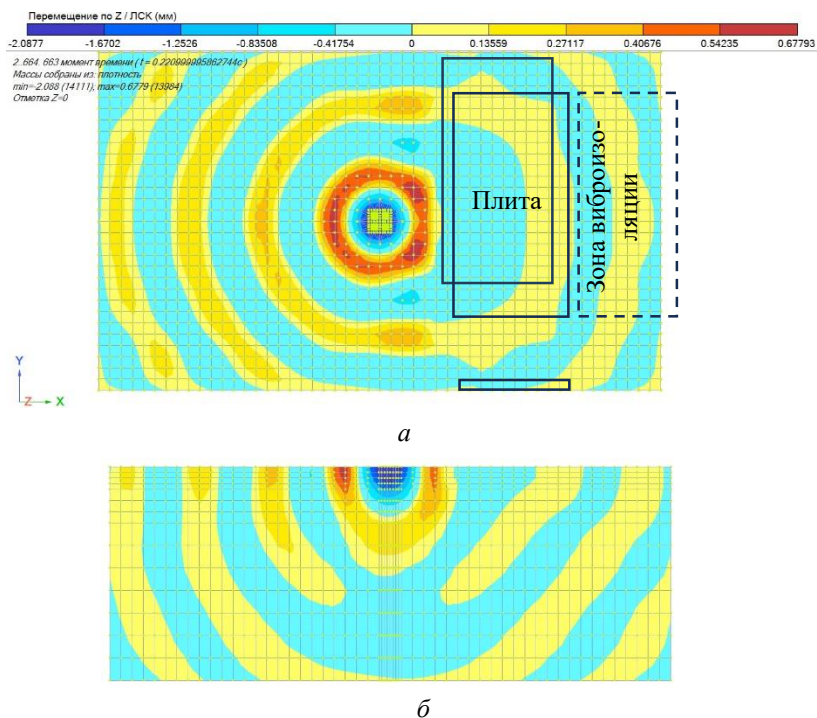


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений грунта при наличии барьера: *a* – на поверхности грунтового массива; *b* – на вертикальной плоскости, проходящей по центру фундамента

Для оценки относительного снижения колебаний грунта при наличии барьера по сравнению со свободным распространения колебаний исполь-

здесь безразмерную величину относительного снижения колебаний  $a$ , определяемой по формуле

$$a = \frac{A_{rs}}{A_r},$$

где  $A_{rs}$  – максимальная амплитуда вертикальных колебаний поверхности грунта за инерционным барьером;  $A_r$  – максимальная амплитуда колебаний грунта при отсутствии инерционного барьера от источника колебаний.

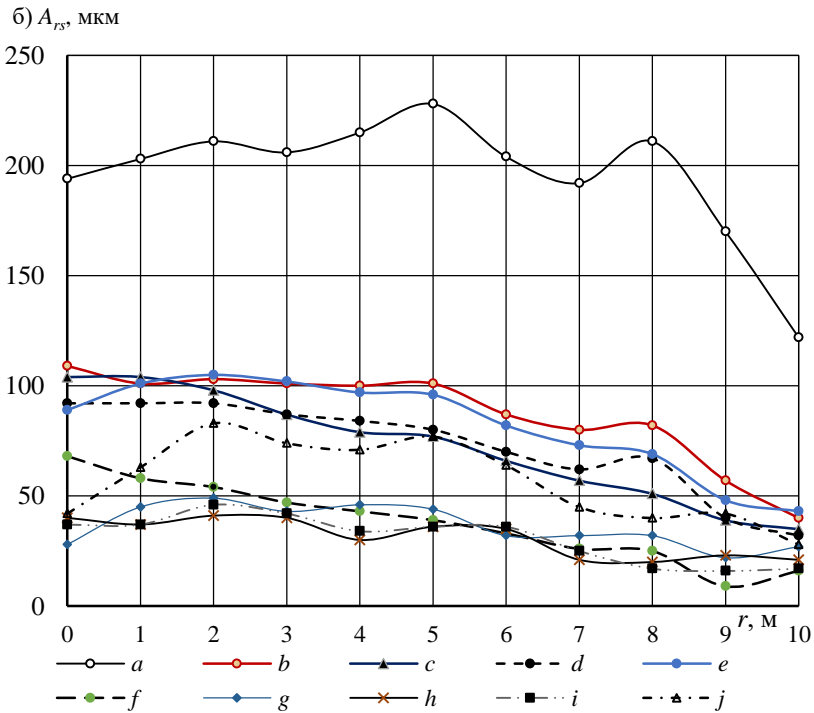


Рис. 4. Графики изменения амплитуд вертикальных перемещений  $A_{rs}$  поверхности грунтового массива с ростом расстояния  $r$  в зоне виброизоляции (рис. 2b) для схем  $a - j$  согласно рис. 2

В таблице приведены различные расчетные схемы барьеров с их кратким описанием и оценкой эффективности по среднему коэффициенту снижения колебаний.

В таблице приведены различные расчетные схемы барьеров с их кратким описанием и оценкой эффективности по среднему коэффициенту снижения колебаний.

Таблица

Краткое описание конструктивных решений барьеров

Обозначение схемы на рис.	Краткое описание	Средняя величина коэфф. в зоне виброизоляции	Минимальная величина коэфф. <i>a</i> в зоне виброизоляции
а	Свободное распространение колебаний при отсутствии барьера	-	-
	Заглубленная плоская бетонная плита толщиной 1 м		
	Барьер со ступенчатым уменьшением поперечного сечения		
	Барьер со ступенчатым увеличением поперечного сечения		
	Рёбристая плита		
	Плита с вертикальной стенкой со стороны источника колебаний		
	Плита с вертикальной стенкой со стороны зоны виброизоляции		
	Две плиты		
	Две плиты, первая с вертикальным выступом, вторая – горизонтальная		
	Две вертикальных стены		

Из приведенных в таблице и на рис. 4 данных следует, что наиболее эффективными вариантами виброизоляции являются схемы *f*, *g*, *h*, *i*, из которых выделяется схема *i*. Они позволяют снизить вертикальные колебания поверхности грунта в зоне виброизоляции в среднем на 82,8 %, 81,1 %, 84,5 % и 84,6 % соответственно для схем *f*, *g*, *h*, *i*.

**Выводы**

1. Оценена эффективность демпфирования поверхностных волн в грунте при помощи бетонных барьеров с различной конфигурацией поперечного сечения при неизменном объеме  $V = 100 \text{ м}^3$ . Все рассмотренные варианты барьеров в разной степени снижают амплитуды колебаний поверхности грунта за барьерами.

2. Наиболее эффективным решением является схема с двойным барьером, первый из которых имеет вертикальный выступ со стороны источника вибраций (схема *i*). Она обеспечивает снижение вертикальных амплитуд колебаний в зоне виброизоляции в среднем на 84,6 %. Данный барьер имеет простую конструктивную схему и технологию устройства.

### Литература

1. Кузнецов, С. В. Горизонтальные сейсмические барьеры для защиты от сейсмических волн / С. В. Кузнецов, А. Э. Нафасов // Вестник МГСУ. – 2010. – Вып. 4. – С. 131–134.

2. Нафасов А. Э. Сейсмические барьеры, для защиты уникальных и исторических зданий и сооружений: Автореф. дис... к-та. техн. наук: 05.23.17 / А. Э. Нафасов. – М.: МГСУ, 2012. – 20 с.

3. Chadwick, P. Foundations of the theory of surface waves in anisotropic elastic materials / P. Chadwick, G. D. Smith // Adv. Appl. Mech. – 1977. – Vol. 17. – P. 303 – 376.

4. Повколас, К. Э. Оценка эффективности применения горизонтальных инерционных барьеров для снижения вибраций, распространяющихся в грунтовой среде / К. Э. Повколас // Наука и техника. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 286–293.

УДК 631.6

### Эффективные способы эксплуатации современных оросительных каналов

Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова  
Саратов, Россия

*Статья представляет собой исследование и обоснование применения эффективных технических средств и технологий для обслуживания оросительных каналов, учитывая особенности их эксплуатации и возможные методы ремонта. Обсуждаются проблемы использования бетонного полотна в условиях подвижного грунта и подтоплений, а также выдвигаются теоретические гипотезы о воздействии ударных нагрузок и исти-*

*рани на материал. Предлагается модернизированный вариант экскаваторного ковша с демпферной подушкой для минимизации повреждений при очистке каналов, а также обсуждаются перспективы использования гидромеханического способа с использованием воды под давлением. Дополнительно рассматриваются вопросы взаимодействия роликов с бетонным полотном и необходимость дальнейших исследований для уточнения предложенных методов. Подчеркивается значимость пилотных проектов для определения эффективности и практической применимости предложенных способов обслуживания каналов.*

Оросительная мелиорация является неотъемлемой частью и однозначно катализатором получения высоких и устойчивых урожаев по всей России. При этом качество проводимых мероприятий и технологии определяют лидеров по валовому сбору сельскохозяйственной продукции. Однако нельзя не отметить, что для проведения оросительных мероприятий, необходимо поддерживать транспортирующую и проводящую функцию каналов системы [3].

Применение того или иного материала всегда сопровождается рядом вопросов по их эксплуатации в процессе жизненного цикла как канала, так и материала [1; 2]. Современные облицовочные материалы, такие как бетонное полотно, геомембрана, а также подобные композитные материалы, без сомнения, обладают уникальными свойствами, позволяющие укладывать от 100 м<sup>2</sup> до 600 м<sup>2</sup> материала за один рабочий день, минимальное или полное отсутствие тяжелой техники, фильтрационные свойства и т. д. [9]. При этом полностью отсутствуют комплексные технологии обслуживания и ремонта таких материалов [6].

Данный вопрос является актуальным, так как вышеперечисленные материалы появились сравнительно недавно, и немногие проходили процедуру текущего и капитального ремонта. Следовательно, тема работы является актуальной и заслуживает внимания.

**Целью исследования** является обоснование и разработка усовершенствованных технических средств и эффективных технологий для эксплуатационных работ на оросительных каналах.

**Объектом исследования** являются оросительные каналы.

**Предмет исследования:** закономерности технологического процесса взаимодействия технических средств и облицованных оросительных каналов.

**Методика исследования.** Так как основа исследования базируется на обслуживании оросительных каналов, покрытых бетонным полотном, а именно очистка каналов от наносов, то основным будет считаться возмож-

ность материала выдержать вес трактора, бульдозера или иное транспортное средство.

При движении трактора или бульдозера в русле канала в зоне контакта дна канала (облицовки канала) возникают динамические вертикальные, продольные и поперечные касательные силы, значение которых зависит от типа транспортного средства, шины колеса, нагрузки и природно-климатических условий.

При неподвижности транспортного средства, на стоящее колесо действует только одна сила – вес трактора, приходящееся на это колесо. Под действием вертикальной силы колесо деформируется как на рис. 1, а.

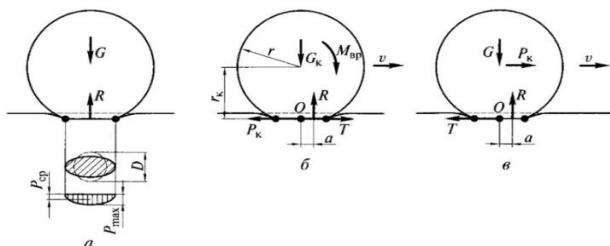


Рис. 1. Схема сил, действующих на поверхность дна канала:

*a* – стоящее колесо; *б* – ведущее колесо; в ведомое колесо; *D* – размер пятна контакта колеса с облицовочным покрытием;  $P_{ср}$ ,  $P_{max}$  – соответственно средний и максимальный прогиб облицовочного полотна;  $G$  – вес ТС;  $R$  – сила реакции;  $G_k$  – вес ТС, приходящийся на колесо;  $M_{вр}$  – вращающий момент;  $T$  – сила трения;  $r_k$  – расстояние от центра колеса до поверхности дорожного покрытия;  $r$  – радиус колеса;  $a$  – расстояние от мгновенного центра скоростей  $O$  до линии действия силы реакции  $R$ ;  $P_k$  – окружная сила;  $v$  – скорость движения ТС

Площадь следа колеса – меняется в пределах 250–1000 см<sup>2</sup>. Для одного и того же автомобиля значение  $F$ , м<sup>2</sup>, зависит от нагрузки на колесо:

$$F = \frac{G}{p}$$

Различают площадь отпечатка колеса по контуру в форме эллипса (рис. 1, а) и по выступам рисунка протектора. При определении среднего давления в расчет принимают площадь отпечатка по выступам протектора. При расчете дорожной одежды для вычисления  $p$  условно принимают площадь отпечатка в виде круга диаметром  $D$ , м, равновеликую площади эллипса [8]:

$$D = \frac{11,3\sqrt{G}}{0,1p}$$

Основные физико-механические параметры **бетонного полотна**:

- прочность на сжатие 25,6-30,4 МПа (261,04-309,99 кг/см<sup>2</sup>);
- прочность на изгиб 4,5-5,0 МПа (45,88-50,98 кг/см<sup>2</sup>).

Прочность бетонного полотна на изгиб обосновывается структурой материала, позволяющей ему при воздействии механических нагрузок возвращаться в исходное состояние (рис. 2), при этом монолитный бетон (лабораторный образец 100×100×400 мм по ГОСТ 10180-90) при осевом растяжении может выдерживать нагрузку до 52,4 кг/см<sup>2</sup> без деформации. Однако при появлении трещин бетон будет постепенно разрушаться.

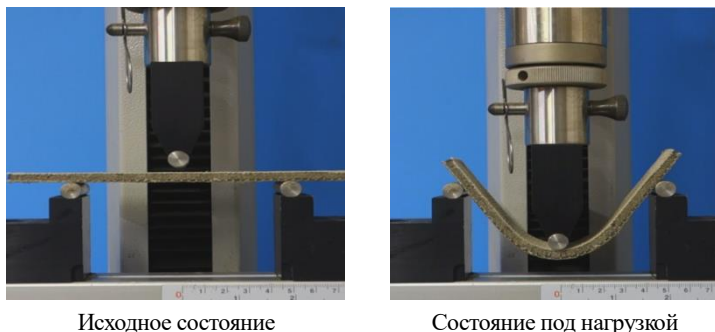


Рис. 2. Испытания на изгиб по ГОСТ 18124-2012

Для полноты данных необходимо добавить данные о разрывной нагрузке бетонного полотна. Для исследования места стыковки бетонного полотна проводился эксперимент на разрыв. Метод испытания заключается в растяжении образца ПКМ с постоянной скоростью нагружения или деформирования до момента разрыва. На рис. 3 представлены установка и испытываемые образцы, зажатые в тисках с обеих сторон.

По результатам проводимых исследований с разными вариантами креплений, были получены удовлетворяющие результаты, равные 2,05 МПа.

**Результаты исследования.** Принципиально отличие средств и технологий при обслуживании оросительных каналов заключается в том, что некоторые виды геосинтетиков не предусматривают очистку путем применения тяжёлой техники, к таким относится геомембрана и бентонитовые маты [4; 7]. В данном случае нами рассматривается вопрос очистки каналов путем непосредственного использования тяжёлой техники в русле канала. Традиционный вариант очистки оросительных каналов (рис. 4).

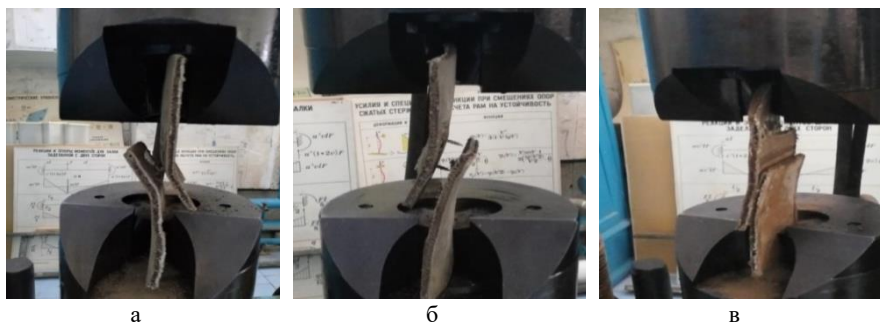


Рис. 3. Испытания на разрыв бетонного полотна

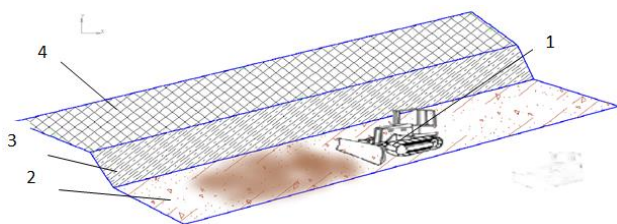


Рис. 4. Традиционный вариант очистки оросительных каналов от наносов:  
1 – бульдозер; 2 – дно канала; 3 – откос; 4 – берма канала

Данный вариант невозможен по нескольким причинам [6]:

- большая масса (пример Т-330);
- невозможность передвижения из-за просадки грунта до 20 % от проектного сечения;
- высокий процент трения недопустим для данных геосинтетических материалов.

Как известно, при нормальных условиях эксплуатации откладываемые в течение года наносы могут составлять порядка 0,1–0,5 м, при этом площадь живого сечения ежегодно сокращается на 5–8 %. Отсюда следует, что эксплуатационные мероприятия следует выполнять ежегодно, вне зависимости от используемого материала. При этом важно отметить, что при использовании бетонных облицовочных плит ситуацию можно исправить с помощью тяжёлой техники.

Капитальный ремонт оросительных каналов проводится раз в 10–25 лет в зависимости от геоположения объекта и условий эксплуатации. При этом важной проблемой в будущем будет невозможность использования каналов, облицованных современными одеждами, если не будет комплексных техноло-



гий обслуживания. Полная утилизация и замена облицовки является иррациональным вариантом, так как несёт высокие затраты.

Оценивая геосинтетические материалы, нельзя не отметить, бетонное полотно. Данный материал сочетает в себе бетон и геомембрану, что позволяет внести определённые исключения в плане технологического обслуживания. Бетонное полотно работает на изгиб 3,4–4,5 МПа (34,7–45,8 см<sup>2</sup>), что позволяет выдерживать высокие нагрузки на материал. Плотность материала в зависимости от марки варьируется от 1500–2025 кг/м<sup>3</sup> [3; 5]. Данные показатели позволяют применять следующую технику (рис. 5) [8].

При этом использование данной техники возможно только при умеренном объёме наносов 0,1–0,3 м, это обосновывается тем, что трактора с максимально буксируемой массой до 300–800 кг не должны работать на пределе своих возможностей, следовательно, диагностика и очистка каналов, покрытых бетонным полотном, должна проводиться ежегодно в зависимости от объёмов загрязнения.



Рис. 5. Мини-трактор:  
а – Belarus 152; б – Русич Т-244

Характеристики данных моделей представлены в таблице.

При этом нельзя не учитывать стоимость данной техники:

– стоимость Belarus 152 – 600 тыс. руб;

– стоимость Русич Т-244 – 800 тыс. руб.

Таблица

Основные характеристики мини-тракторов

Характеристики		Русич Т-244
Масса		
Привод	Полный (4x4)	Полный (4x4)
Мощность, л.с.		
Дорожный просвет, мм		
Макс. буксируемая масса, кг		
Тяговый класс		

В данном примере нами был проведён анализ мини-тракторов как приемлемый вариант использования каждого из них. Русич Т-244 на порядок превосходит по всем характеристикам Belarus 152, при этом масса имеет важное значение, при выборе наиболее рационального варианта.

Рассмотрим максимальное давление на грунт каждого трактора:

- Belarus 152 – 14 МПа (142,76 кг/см<sup>2</sup>);
- Русич Т-244 – 21 МПа (214, 14 кг/см<sup>2</sup>).

Так как мы учитываем максимальное давление на грунт (облицовку) тракторов, то мы также будем учитывать максимальные показатели на сжатие бетонного полотна. Таким образом, мы получаем:

для Belarus 152

$$R_{\text{сжатие Бет.пол.}} / \text{Уд.давл.}_{\text{макс Тракт.}} = 30,4 / 14 = 2,17 \text{ МПа,}$$

где Уд. Давл. макс Тракт. – максимальное удельное давление трактора на грунт (облицовку);  $R_{\text{сжатие Бет. пол.}}$  – максимальные показатели бетонного полотна на сжатие.

для Русич Т-244

$$R_{\text{сжатие Бет.пол.}} / \text{Уд.давл.}_{\text{макс Тракт.}} = 30,4 / 14 = 1,44 \text{ МПа.}$$

Таким образом, мы получаем 2 и 1,5 коэффициент запаса, при применении тракторов Belarus 152 и Русич Т-244 соответственно.

Использование бетонного полотна должно сопровождаться тщательной оценкой грунтовой поверхности каналов и возможных подтоплений близлежащих территорий, так как при подвижности грунта или рыхлой поверхности применение бетонного полотна невозможно, тем более дальнейшее обслуживание путем использования тяжелой техники.

Рассматривая способы очистки оросительных каналов, нельзя не отметить возможность применения экскаваторов с различными видами ковшей. Компанией производителем были представлены следующие варианты очистки представленные на рис. 6.



Рис. 6. Возможные варианты очистки каналов

Выдвигаемые теоретические гипотезы применения данного способа очистки каналов от наносов:

- при данном способе очистки сокращается срок службы бетонного покрытия, путем воздействия на материал ударных нагрузок;
- истирание материала путем взаимодействия бетонного полотна и ковша;
- применение ковша с зубьями может нанести бетонному покрытию дополнительный ущерб и привести к деформации покрытия.

Нами были проведены теоретические исследования возможных ударных нагрузок на материал при использовании перечисленных способов и за основу взяли расчет вязкоупругой модели при ударе (рис. 7).

Были использованы следующие исходные данные:

- Масса подвижного элемента 225 кг;
  - Начальная скорость подвижного элемента 0,5 м/с;
  - Жесткость бетонного полотна 27000 Н/м;
  - Приведённая масса бетонного полотна м2 - 25 кг;
  - Коэффициент демпфирования бетонного полотна  $H \cdot c/m = 0,7$ .
- Максимальные перемещения конструкции:

$$X = ((m_1 + m_2)(W_{\text{общ}}) / ((b^2 / (m_1 + m_2)) + k))^{1/2}.$$

Нагрузки при максимальных перемещениях:

$$P = (W_{\text{общ}} - (((X^2)((b^2) / (m_1 + m_2)) + k) / (m_1 + m_2))^{1/2})b + kX.$$

Таким образом, при минимальных рассматриваемых показателях, мы получаем максимальную ударную нагрузку на материал равную 119 кг и 43 мм перемещение в точке удара, до начала операций по очистке канала.

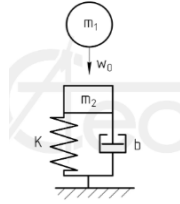


Рис. 7. Расчет вязкоупругой модели при ударе:

$m_1$  – масса подвижного элемента;  $m_2$  – приведённая масса конструкции;  
 $k$  – жесткость конструкции, Н/м;  $W_0$  – начальная скорость подвижного  
 элемента, м/с;  $b$  – коэффициент демпфирования

**Обсуждения и предложения.** Нами предлагается для проведения подобных операций использовать модернизированный вариант экскаваторного ковша с демпферной подушкой (рис. 8), тогда ударные и истирающие нагрузки будут сведены к минимуму, и соответственно срок службы материала будет увеличен.

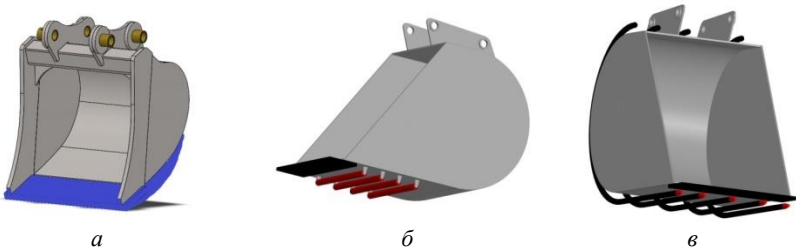


Рис. 8. Варианты модернизированного экскаваторного ковша:

$a$  – ковш с демпферной подушкой;  $b$  – ковш с механическими роликами;  
 $v$  – ковш с трубками высокого давления

Каждый представленный способ представлен как пилотный проект, так как появляется много вопросов, например, как будут взаимодействовать ролики с бетонным полотном, необходимы расчеты коэффициентов качения, коэффициенты трения и скольжения.

Представленный гидромеханический способ также требует дополнительных исследований, а именно насколько подаваемая через трубки вода будет справляться с поставленной задачей по воздействию на наносы, как наилучший образом защитить трубки при проведении работ.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в следующих пунктах:

1. Провести теоретические расчеты взаимодействия бетонного полотна и модернизированного ковша с демпферной подушкой и роликами;

2. Провести теоретические расчеты работы гидромеханического способа очистки канала от наносов путем использования воды под давлением в комбинации с вышеперечисленными вариантами.

**Заключение.** На основе проведенного исследования нами была обоснована необходимость разработки новых механизированных способов и технологий очистки оросительных каналов от наносов, покрытых современными облицовочными материалами. Предложенные теоретические положения использования малой механизированной техники при дальнейшей апробации может локально решить вопрос о проведении ежегодного текущего ремонта и обслуживания оросительных каналов, покрытых не только бетонным полотном, но и аналогичными композитами.

### Литература

1. Абдразаков Ф. К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве / Ф. К. Абдразаков // Саратов. – 2002. – 352 с.

2. Абдразаков Ф. К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства / Ф. К. Абдразаков // Саратов. – 2019. – 164 с.

3. Абдразаков, Ф. К. Актуальные вопросы обслуживания оросительных каналов и рациональное управление водными ресурсами / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: материалы IX Национальной конф. с международным участием, Саратов, 12–13 октября 2023 г. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. – С. 7–15.

4. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 6–9.

5. Абдразаков, Ф. К. Методы расчета эксплуатационных мероприятий на современных оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: Материалы Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета, Саратов, 13–17 февраля 2023 года. Том Выпуск 1. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2023. – С. 172–180.

6. Абдразаков, Ф. К. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, Э. Э. Сафин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 32–36.

7. Рукавишников, А.А. Технологические особенности покрытия оросительных каналов бетонным полотном / А. А. Рукавишников // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 15–16 ноября 2018 года / Под редакцией Ф. К. Абдразакова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Вавилова, 2018. – С. 275–280.

8. Спецтехника: Трактора и техника: [Электронный ресурс]. – М., 2022. – Режим доступа <https://agro-tm.ru>. – Дата доступа: 21.10.2022.

9. Характеристика бетонного полотна [Электронный ресурс] // Бетонное полотно Concreate Canvas в России. М., 2012–2018. – Режим доступа: <http://ucsr.su>. – Дата доступа: 2.05.2022.

УДК 629.12

### **Обоснование проектных элементов и характеристик судна с учётом интервальных особенностей технических решений модели**

Кочнев Ю. А., Роннов Е. П.

Волжский государственный университет водного транспорта  
Нижний Новгород, Российская Федерация

*На основании выполненных исследований по разработке математической модели и алгоритма оптимизации судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания, показано каким образом можно учесть наличие интервальных параметров технических решений и экономических внешних параметров модели. Приведён пример оптимизации коэффициента общей полноты с применением интервального критерия эффективности.*

Обоснование главных элементов на стадии исследовательского проектирования оказывает свое влияние на характеристики построенного судна. Такое обоснование ведётся с применением математических моделей и формулируется в виде оптимизационной задачи

$$k = f(X, Y_1, Y_2, Z) \rightarrow \text{extr}$$

где  $k$  – некоторый критерий эффективности судна;  $f$  – символ функции цели;  $X$  – вектор исходных данных;  $Y_1$  – вектор искомых элементов и характеристик судна;  $Y_2$  – вектор параметров технических решений математической модели оптимизации, принимающих равновероятное значение на некотором ( $Y_{2\min}, Y_{2\max}$ );  $Z$  – вектор внешних параметров модели;  $\theta_j$  –

функции математической модели взаимосвязи исходных данных и параметров технических решений;  $S$  – область допустимых решений векторов  $Y_1$  и  $Y_2$ , отражающих ограничения математической модели.

В приведённой постановке нами была подробно рассмотрена данная в задаче в [1].

Интервальные значения элементов вектора  $Y_2$  связаны с приближённой зависимостью, применяемых на стадии исследовательского проектирования, и решениями, которые примет проектант при разработке конструкторской документации. Такими элементами могут быть шпация, тип и характеристики винта-рулевого комплекса и т. п.

Учитывая особенности быстро изменяющегося судостроительного производства и рынка доставки грузов водным транспортом, подобные интервалы, так же могут быть выделены не только среди технических решений, но и в экономических показателя мат. модели, таких как стоимость материалов, рабочей силы, горюче-смазочных материалов при эксплуатации и др. То есть вектор  $z$ , так же может быть разделён на две составляющие:  $Z_1$  – однозначно заданные внешние параметры модели и  $Z_2$  – интервальные внешние параметры.

Технически решение указанной задачи сводиться к оптимизации по трём группам варьируемых параметров:

- главные искомые размерения (длина –  $L$ , ширина –  $B$ , коэффициент общей полноты –  $\delta$ , осадка –  $T$ ), или в зависимости от особенностей решаемой задачи соотношения размерений ( $l = L/B$ ,  $b = T/B$ ), которые задаются скалярными величинами (вектор  $X_2$ );

- параметры технических решений, такие как холостая и рамная шпация, положение аппликаты центра тяжести судна, длины основных отсеков корпуса, тип и количество двигателя, характеристики движителя, судовых устройств, систем и др., которые могут быть приняты в виде любого конечного значения на некотором заданном интервале (вектор  $Y_2$ );

- внешние экономические данные: диапазон возможной отпускной стоимости судна, определяемый уровнем прибыли предприятия, стоимостью материалов и оборудования, серийным номером и общей серийностью судов, диапазоном эксплуатационных расходов, зависящих в большей степени от стоимости дизельного топлива, и уровнем фрахтовой ставки (вектор  $Z_2$ ).

Блок-схема решаемой задачи приведена на рис. 1.

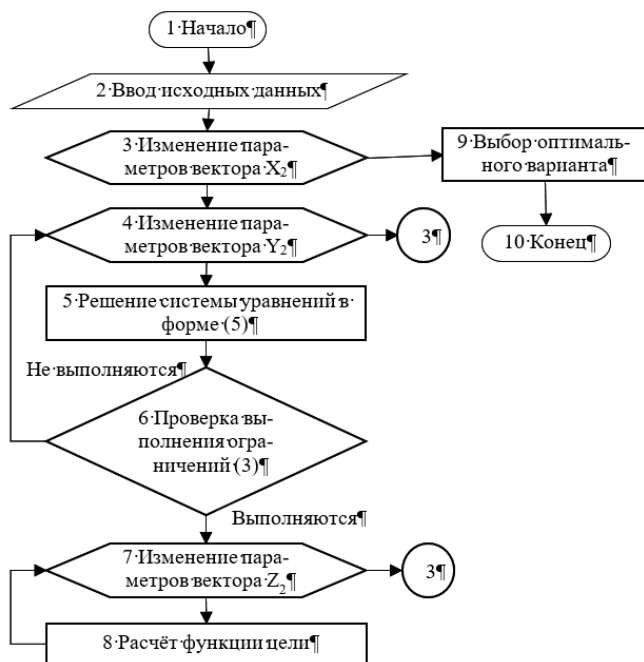


Рис.1. Блок-схема задачи оптимизации элементов и характеристик судна с интервальными параметрами технических решений и блока экономической эффективности

При этом уравнения (1) и (2) примут вид

$$k = f(X, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2) \rightarrow \text{extr}, \quad (4)$$

$$Y_{1,2} = \theta_j \left( X, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2 \right), \quad (5)$$

где  $Y_2, Z_2$  – соответственно интервалы вектора параметров технических решений и интервальных экономических параметров.

Следует дополнительно отметить принципиальное отличие варьируемого вектора  $X_2$  от варьируемых векторов  $Y_2, Z_2$ . Первый определяет конкретные элементы судна, которые выбираются в процессе решения оптимизационной задачи. Интервальные вектора не могут быть однозначно зафиксированы на исследовательской или эскизной стадии проекта. Они



представляют все возможные варианты решения, которые для величин  $Y_2$  примут конкретное скалярное значение при разработке проекта на стадии рабочей документации, а  $Z_2$  – при передаче судна заказчику или в процессе эксплуатации на различных этапах жизненного цикла судна.

Математически решение оптимизационной задачи с интервальными параметрами и, как следствие, с интервальным критерием эффективности может быть сведено к поиску экстремума средних значений интервала целевой функции [2], т. е.

$$k = M \left\{ f(X, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2) \right\} \rightarrow extr, \quad (6)$$

где  $M\{\dots\}$  – символ среднего значения интервала критерия эффективности, в рассматриваемой задаче в виде отношения прибыли к прибыли базового судна

$$\Pi' = \frac{\Pi_i}{\Pi_H}, \quad (7)$$

где  $\Pi_i$  – значение прибыли судна для  $i$ -ого судна;  $\Pi_H$  – нормируемое значение прибыли.

Зависимость интервала критерия эффективности от коэффициента общей полноты судна при значении интервалов стоимости судна 35 %, стоимости топлива 15 % и фрахтовой ставки 20 % от минимального их значения, для судна типа Волга-дон-макс приведено на рис. 2, а при проектировании судна на постоянное водоизмещение на рис. 3.

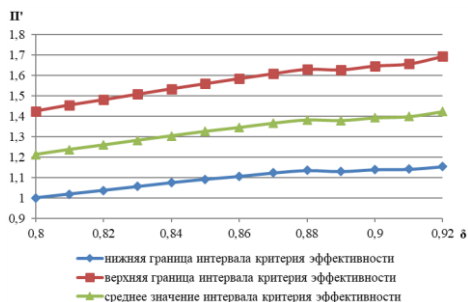


Рис. 2. Изменение интервала критерия эффективности при увеличении коэффициента общей полноты при проектировании судна на максимальную грузоподъемность

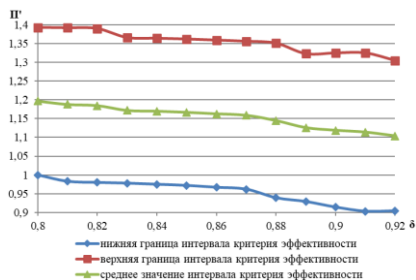


Рис. 3. Изменение интервала критерия эффективности при увеличении коэффициента общей полноты при проектировании судна на постоянную грузоподъемность

Приведённые графики в целом соответствуют практике проектирования судна и, в частности, обоснования главных элементов. Так увеличение общей полноты при решении задачи на максимальную грузоподёмность ведёт к росту относительной прибыли для верхнего и нижнего значения интервала целевой функции, а также его среднего значения. В случае рассмотрения задачи на постоянную грузоподёмность получена обратная зависимость критерия эффективность от роста коэффициента  $\delta$ . При этом рассмотрен его интервал, наиболее часто применяющийся на современных судах.

По результатам расчёта для рассмотренных типов задач можно сделать вывод, что для принятых интервалов изменения экономических параметров, при определённом их сочетании, оптимизация может быть неэффективной, так как величина интервала критерия эффективности существенно превышает рост его нижней границы и среднего значения. Данный результат становится особенно актуален, если рассматривать не новое судно, а его мгновенную эффективность в течении длительного временного промежутка жизненного цикла, когда изменение фрахтовой ставки и стоимости топлива может существенно превышать принятые диапазоны в следствии инфляционных закономерностей рынка перевозок на водном транспорте.

Наличие интервала у целевой функции более актуально при проектировании судна в заранее известные экономические условия, не обладающие широкой вариативностью, что нехарактерно для транспортных судов, но может быть применено у судов вспомогательного, например, ледокольного флота.

Следует обратить внимание на различный характер границ интервала эффективности. Так, например, на рис. 2 общий рост нижней границы в

диапазоне изменения коэффициента общей полноты судна составляет около 15 %, а верхней – 19 %. При этом основной рост наблюдается до  $\delta$  равного 0,88, при его дальнейшем увеличении практически отсутствует, что особенно характерно для нижней границы и, следовательно, более является его значение более 0,88, так как в любом случае обеспечивает повышение критерия эффективности. Подобные выводы можно сделать и относительно результата, приведённого на рис. 3, однако, в этом случае предпочтительные значения  $\delta$  должны быть не более 0,87.

С другой стороны границы интервала эффективности можно рассматривать как пессимистичный (нижняя граница) и оптимистичный (верхняя граница) сценарий проектирования, строительства и эксплуатации судна. Учитывая, что однозначных рекомендаций по сравнению интервалов на сегодняшний момент не существует, при исследовательском проектировании обосновывать элементы судна можно не только по среднему значению (4), но и по любой из границ, в зависимости от предполагаемой макроэкономической ситуации. Например, при высоких инфляционных рисках, низких компетенциях завода строителя и специалистов, предполагаемых в дальнейшей эксплуатации судна, должен быть выбран пессимистичный сценарий, следовательно, нижняя граница критерия эффективности.

Предлагаемая в работе методика оптимизации усложняет создание математических моделей судна и алгоритмов их реализации. Однако, она позволяет учитывать различные макро и микроэкономические особенности проектирования, строительства и эксплуатации судна, что при решении частной задачи, может изменить полученный результат.

### Литература

1. Кочнев, Ю. А. Учет потенциала безопасности в задаче оптимизации грузового судна с интервальной неопределенностью параметров технических решений / Ю. А. Кочнев, Е. П. Роннов // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2023. – № 3(405). – С. 171–178.
2. Левин, В. И. Задача решения уравнения в интервальной постановке / В. И. Левин // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2017. – Т. 22, № 5–2. – С. 1172–1178.

**Особенности математической модели наливного судна смешанного (река-море) плавания**

Малов Д. А., Кочнев Ю. А.

Волжский государственный университет водного транспорта  
Нижний Новгород, Российская Федерация

*Применяемая на ранних этапах разработки проекта, математическая модель должна иметь высокую адекватность и чувствительность к изменениям варьируемых параметров. Добиться требуемой для неё точности можно широким применением регрессионных зависимостей полученных анализом характеристик и элементов существующих судов последних лет постройки.*

Обоснование главных неизвестных судна, к которым относятся коэффициент общей полноты и главные размерения, выполняется на стадиях исследовательского проектирования. Для них характерно применение математических моделей взаимосвязи вектора внешних данных о судне ( $A_1$ ), вектора искомых элементов ( $A_2$ ), вектора связей между ними ( $A_3$ ), представляемого на основе системного подхода, и вектора множества свойств судна ( $A_4$ ), таких характеристики остойчивости, плавучести, прочности, ходкости и т. д. Взаимосвязь между перечисленными векторами осуществляется системой уравнений, отражающей некий критерий эффективности

$$F = f_i(A_1, A_2, A_3, A_4),$$

где  $f_i$  – функции взаимосвязи, которые раскрываются в виде математической модели.

Вектор внешних данных для танкера включает грузоподъемность  $P_{гр}$ , минимальную плотность перевозимого груза  $\rho_{гр}$ , класс, ограничительные характеристики линии эксплуатации, экономические данные постройки и эксплуатации судна, требования нормативных документов.

Вектор искомых элементов состоит из независимо варьируемых параметров, включающих длину, ширину судна ( $L, B$ ), коэффициент общей полноты ( $\delta$ ), и зависимых величин судна: водоизмещения ( $D$ ), осадки ( $T$ ), высоты борта ( $H$ ) и мощности СЭУ ( $N$ ), которые связаны друг с другом математической моделью. Последняя для обеспечения достаточного уровня точности прогнозирования результатов должна состоять из нескольких витков «спирали проектирования».

Водоизмещение первого приближения находится через коэффициент утилизации  $\eta$  [2]

$$D_1 = \frac{P_{cp}}{\eta},$$

$$\eta = 0,682 + 1,765P_{rp} \cdot 10^{-5}.$$

Осадка судна взаимосвязана с водоизмещением через уравнение плавучести

$$T = \frac{D_1}{\rho \delta L B},$$

где  $\rho$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>.

Обоснование высоты борта при применение современных средств вычислительной техники может быть выполнено из условия обеспечения требуемой грузовместимости, минимального надводного борта и соотношения длины к высоте борта, регламентируемого требованиями Правил классификационного общества, то есть

$$H = \max \left\{ \begin{array}{l} T + \Delta H(L, B, T, \delta) \\ \frac{L}{(L/H)'} \\ \frac{1,03P_{cp}}{\rho_{cp} L_{TT} (B - 2b'')} + h'' \end{array} \right.$$

где  $T + \Delta H(L, B, T, \delta)$  – минимально необходимый надводный борт судна, определяемый в соответствии с требованиями классификационного общества (КО);  $(L/H)'$  – требуемое Правилами КО отношение длины к высоте борта;  $L_{TT}$  – длина грузовых трюмов, м;  $b''$ ,  $h''$  – ширина межбортового пространства, м, и высота междудонного пространства, определяемые из экологических требований [3].

Полный дедвейт наливного судна представляет собой сумму его заданной грузоподъёмности, массы экипажа ( $P_{эк}$ ) и величины запасов ( $P_3$ ), определяемых в зависимости от норм снабжения судна продовольствием, питьевой водой и топливом

$$Dw = P_{гр} + P_{эк} + P_3$$

Длина грузового трюма рассчитывается из условия общей компоновки основных отсеков судна (рисунок 1) при традиционном их расположении и составляет

$$L_{ГТ} = \left( 0,98L - \frac{B}{2} - L_{ПУ} - L_{МО} - L_{БО} \right) 0,97,$$

где  $L_{ПУ}$ ,  $L_{МО}$ ,  $L_{БО}$  – длины отсека подруливающего устройства, машинного отделения и балластного отсека соответственно, определяемые по [2].

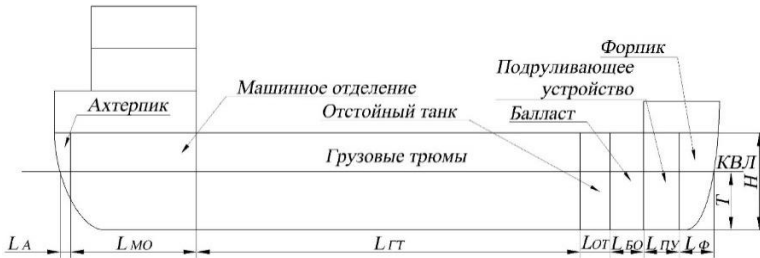


Рис. 1. Компоновка танкера, принятая в математической модели

В первом приближении, когда известны только ориентировочные значения массы судна и его осадка мощность главных двигателей определяется по приближённой формуле, полученной анализом характеристик существующих наливных судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания

$$N = 0,804 (Dw \times v)^{0,73}.$$

Уточнение водоизмещение порожнём выполняется по развёрнутому уравнению масс, отражающему сумму основных разделов составляющих нагрузки масс

$$D_{(0,k)} = 1,03 \sum_{j=1}^9 P_j,$$

где  $k$  – номер второго и последующего приближений;  $P_1$  – масса металлического корпуса, т;  $P_{2-9}$  – соответственно массы фундаментов, дельных вещей, окраски, изоляции, судовых устройств, судовых систем, СЭУ и оборудования помещений.

Масса металлического корпуса, составляющая на наливном судне более 70 % водоизмещения порожнём, определяется по уравнению

$$P_1 = k_l (P_{п} + P_{об} + P_{поп.пер.} + P_{прод.пер.} + P_{н} + P_{вч}),$$

где  $k_l$  – коэффициент, учитывающий неучтенные массы и индивидуальные погрешности предлагаемых зависимостей;  $P_{п}$  – масса палуб, платформ;  $P_{об}$  – масса обшивки наружной, настила второго дна, примыкающих частей;  $P_{поп.пер.}$  – масса поперечных переборок;  $P_{прод.пер.}$  – масса продольных переборок корпуса;  $P_{н}$  – масса надстроек, рубок и мачт;  $P_{вч}$  – масса выступающих частей.

Из теории проектирования судов [5; 6] известно, что на начальных этапах проектирования любую массу можно рассчитать через её измеритель

$$P_i = \frac{P_i}{M},$$

где  $P_i$  – рассматриваемая масса судна-прототипа;  $M$  – модуль масс, равный

$$M = \prod_{j=1}^n X_j^{\alpha_j},$$

где  $X_j$  –  $j$ -ый элемент или характеристика судна;  $\alpha_j$  – показатель степени.

Тогда массы  $P_{2-9}$  определяются через измерители приведённые в [7], а составляющие массы металлического корпуса, оказывающие доминирующее влияние на водоизмещение порожнём, по полученным регрессионным зависимостям

$$P_{об} = [-0,05 \cdot 10^{-3} (L(B+H)) + 0,433]L(B+H);$$

$$P_{(н)} = [4,00 \cdot 10^{-5}]LB + 0,0578]LB;$$

$$P_{(поп.пер.)} = [-2,38 \cdot 10^{-2}BH + 3,56]BH;$$

$$P_{(прод.пер.)} = [0,05 \cdot 10^{-2}LH - 0,22]LH;$$

$$P_{\text{н}} = [0,08 \cdot 10^{-3} LBH - 0,074] LBH .$$

Уточнённое по фактическим элементам и характеристикам судна водоизмещение позволяет откорректировать осадку по формуле (1) и более точно рассчитать суммарную мощность главных двигателей

$$N = \frac{Rv}{\mu} ,$$

где  $R$  – сопротивление движению судна, кН, которое для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания с сверхполными обводами корпуса рассчитывается по дополненному методу Холтропа-Меннена [4];  $\mu$  – протопульсивный КПД.

При решении ряда задач проектирования судна возникает необходимость расчёта не только полного водоизмещения, но и дополнительных, при различном количестве перевозимого груза и, при необходимости, балласта

$$D_j = D_{0,k} + P_i + P_{\text{жк}} + P_3 + P_{\text{б}} ,$$

где  $D_0$  – итоговое водоизмещение порожнём;  $P_i$  – масса принятого на судно груза;  $P_{\text{б}}$  – масса балласта, определяемая условием обеспечения требуемой посадки судна.

Результаты выполненных тестовых расчётов по разработанной модели и их сравнение с существующими судами приведено в табл. 1.

Таблица

Сравнение результатов расчёта элементов и характеристик судна

Характеристика судна	Проект № 630	Расчет по модели	Проект № 550	Расчет по модели	Проект № 587	Расчет по модели
Длина $L$ , м						
Ширина $B$ , м						
Грузоподъёмность, т						
Высота борта $H$ , м						
Осадка $T$ , м						
Водоизмещение, т						



Выполненный анализ по разнородным наливным судам внутреннего и смешанного (река-море) плавания показал возможность применения разработанной математической модели для расчёта главных неизвестных танкера. Из анализа вычислений следует, что точность математической модели достаточна для начального этапа или этапа исследовательского проектирования. Максимальная погрешность составляет менее 5%, а среднеквадратичные отклонения контролируемых величин по расчетным значениям составляет порядка 1,9 %.

Большая погрешность обусловлена в первую очередь разнообразием конструкций корпуса (типом диаметральных переборок, системой набора и т.п), от которой зависит доминирующая составляющая массы водоизмещения порожнём.

Разработанная математическая модель может быть использована как самостоятельный элемент, а также и в составе задачи оптимизации главных размерений, от которых чувствительны большинство уравнений предлагаемой системы. Включение в состав модели зависимости для эксплуатационного водоизмещения при различных состояниях нагрузки позволяет дополнительно решать частные задачи, например, на обеспечение общей прочности корпуса, допустимой посадки и обеспечения мореходных качеств при ней.

### Литература

1. Гайкович, А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов / А. И. Гайкович. – В 2-х т., Т1: Описание системы «Корабль». – Санкт-Петербург: НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. – 819 с.
2. Кочнев, Ю. А. Математическая модель расчета массы танкера смешанного (река-море) плавания / Ю. А. Кочнев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 7–12.
3. Правила классификации и постройки судов. – Режим доступа: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/izveshenia/Rossiyskiy-Rechnoy-Registr.-PRAVILA-2019.-May-2021.pdf>. – Дата доступа 09.03.2023.
4. Кочнев, Ю. А. Прогнозирование сопротивления движению грузовых комбинированных судов в задаче их оптимизации / Ю. А. Кочнев, И. А. Гуляев // Великие реки - 2020: Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 27.
5. Роннов, Е. П. Проектирование судов внутреннего плавания: Учебное пособие / Е. П. Роннов. – Н. Новгород: ВГАВТ, 2009. – 305 с.

6. Кочнев, Ю. А. Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна / И. А. Гуляев, Е. П. Роннов, Ю. А. Кочнев // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – Вып. 63. – С. 48–54.

7. Давыдова, С. В. Анализ расчетов при создании теоретического чертежа буксира интерполяционным методом / С. В. Давыдова, И. В. Андриянов // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – № 67. – С. 24–32.

УДК 627.748

### **Оптимальный режим работы грунтового насоса земснаряда**

Хвитько К. В., Качанов И. В., Шаталов И. М.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

*Описаны основные режимы гидротранспорта пульпы, а также выбран оптимальный режим работы гидротранспортной системы, который тесно связан с гидравлическими потерями в нагнетательной трубе.*

В производственных условиях гидротранспорт пульпы в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса земснаряда осуществляется в различных гидравлических режимах.

При этом, режим эксплуатации гидросистем земснарядов не всегда является оптимальным с точки зрения энергозатрат и экономической эффективности.

Рассмотрим более подробно определение гидравлических потерь в системе напорного гидротранспорта земснаряда, с целью установления оптимального режима эксплуатации гидросистемы земснаряда.

Гидротранспорт пульпы происходит при турбулентном режиме движения потока.

В зависимости от соотношения фактической и критической скоростей в пульпопроводе различают три режима гидротранспорта:

I –  $v > v_{кр}$  – область больших скоростей, весь грунт транспортируется во взвешенном состоянии;

II –  $v \sim v_{кр}$  – скорость близка к критической, основная часть грунта транспортируется во взвешенном состоянии. Одновременно большое количество частиц влечется потоком в придонной области;

III –  $v < v_{кр}$  – на дне потока находится постоянный слой заиления и напорный трубопровод земснаряда работает как илопровод.

Величина критической скорости по исследованиям В. С. Кнороза, Г. Н. Роева, А. М. Царевского, А. П. Юфина и других зависит от гидравли-

ческой крупности частиц  $V_{г.к.}$ , фракционного состава грунта, диаметра трубопровода и некоторых других величин, характеризующих состав пульпы. Наиболее полно учитывают эти факторы и соответствуют теории размерности формулы для определения  $V_k$ .

В. С. Кнороза:

$$V_k = 1,02 V_{г.к.} \sqrt[6]{\beta \left(\frac{D}{d_{cp}}\right)^{3,5}}.$$

А. Е. Иванова:

$$V_k = 1,88 \sqrt{\frac{g D V_{г.к.} \cdot \rho_{п} - \rho_{в}}{\lambda \rho_{в}}},$$

где  $V_{г.к.}$  – гидравлическая крупность;  $D$  – диаметр трубопровода;  $d_{cp}$  – средний диаметра твердых частиц;  $\beta$  – процент насыщения потока твердыми частицами, т. е. отношение массы их к массе чистой воды;  $\rho_{п}$  – плотность пульпы;  $\rho_{в}$  – плотность воды;  $\lambda$  – гидравлический коэффициент трения.

Значение критической скорости в зависимости от приведенных выше факторов колеблется в широких пределах ( $V_k \sim 1-5$  м/с и более).

Если скорость движения пульпы  $V$  меньше критической скорости  $V_k$ , то поток кроме затрат энергии на свое движение, расходует некоторое количество энергии на влечение частиц более крупных фракций по дну трубы.

При скорости движения пульпы больше или равной критической, по мнению М. А. Великанова потери напора в пульпопроводе не отличаются от потерь при движении чистой воды.

Исследования, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации и в лаборатории Нейрпик во Франции, позволяют рекомендовать следующую формулу для определения потерь напора в пульпопроводе

$$h_n = (1 + \phi C_m) h_t = K h_t,$$

где  $h_t$  – потери напора в трубопроводе при движении чистой воды;  $C_m$  – процентное содержание грунта по объему в пульпе;  $\phi$  – коэффициент, зависящий от диаметра трубопровода;  $K = 1 + \phi C_m$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора в пульпопроводе по сравнению с потерями в трубопроводе с чистой водой.

Крупность транспортируемого грунта является одним из существенных факторов, определяющих потери напора. Чем крупнее транспортируемые

частицы, тем больше гидравлические потери, а наличие частиц мелких фракций в крупном материале существенно снижает потери напора.

Потери напора зависят от плотности транспортируемого материала. Более тяжелые материалы требуют больших скоростей транспортирования, а, следовательно, вызывают большие потери напора. В общем случае следует считать, что потери напора возрастают с увеличением консистенции пульпы.

Оптимальный режим работы гидротранспортной системы земснаряда тесно связан с гидравлическими потерями в нагнетательной трубе. Зная рабочую характеристику грунтового насоса и построив характеристики пульпопровода, можно найти такой режим гидротранспортной системы при котором удельные затраты энергии (на  $1 \text{ м}^3$  грунта) будут наименьшими.

Эти точки позволяют определить расход, который может подать насос в данный пульпопровод при той или иной консистенции пульпы, что весьма важно при выборе оптимального режима эксплуатации гидротранспортных систем земснаряда.

Для определения наиболее выгодной консистенции пульпы, используя расходно-напорные характеристики (рис.) можно найти: расход пульпы  $Q_p$  и воды  $Q_v$  для каждой точки пересечения этих характеристик грунтового насоса и пульпопровода для принятых величин консистенции  $C_{об}$ .

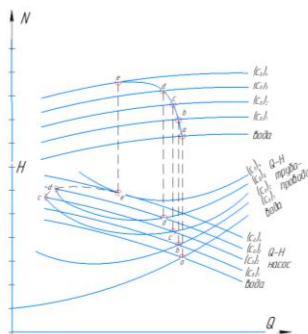


Рис. Рабочие точки грунтового насоса

Также, используя характеристики  $N-Q$  для разных значений  $C_{об}$  находится потребляемая мощность  $N_n$  и  $N_b$ . И затем для найденных величин  $Q_n$  и принятого значения  $C_{об}$  вычисляется производительность гидротранспортной системы по грунту  $Q_m$  и удельные затраты энергии  $E_n$  по формулам

$$Q_m = Q_n C_p,$$

$$E_n = N_n Q_m,$$

где  $C_p$  – расходная консистенция при  $v = v_{кр}$ , которую можно определить по данным табл.

Таблица

Определение расходной консистенции при  $v = v_{кр}$

$C_{об}$										
$C_p$										

Далее строятся графики зависимости  $Q_n = F_1(C_{об})$ ,  $N_n = F_2(C_{об})$ ,  $Q_m = F_3(C_{об})$ ,  $E_n = F_4(C_{об})$ .

Консистенция, соответствующая точке  $(E_n)_{мин}$  и будет оптимальной точкой работы гидротранспортной системы. Кривая  $F_4(C_{об})$  в некоторых случаях может не иметь минимума. В этих случаях  $C_{об}$  принимается максимально допустимым по условиям безаварийной работы.

УДК 332.362:330.15

### **Новые альтернативы ранее используемых способов применения солнечной энергии**

Мередова Х. А., Курбанова М. А., Аширов А. И.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

*Применение различных систем преобразования солнечной энергии частично связано с усилением по сохранению экологического ущерба и эффективного использования ограниченных ресурсов. О возможности получения электроэнергии более доступными и разнообразными по форме и мощности электростанциями солнечных панелей, излагается в статье. Так же приведены примеры разработок арабских и австралийских учёных.*

С развитием технологий, любой человек может получить от Солнца электроэнергию. Раньше электричество для потребления поступало от централизованного энергоснабжения, сегодня же существуют две основные категории систем преобразования солнечной энергии: пористые и автономные. Частично это связано с усилением по сохранению экологического ущерба и эффективного использования ограниченных ресурсов. Местные ресурсы являются общественными энергетическими системами.

Кроме того, теперь есть возможности получать электроэнергию другими способами, например, солнечными батареями.

Такие устройства подходят для установки в частных домах и на производственных объектах. Эти электростанции более доступны и разнообразны по форме и мощности.

Если задуматься о том, из чего состоит солнечная батарея, следует сразу же вспомнить фотоэлементы. Они являются малыми генераторами, которые выполняют основную функцию по сбору солнечной энергии. Сегодня доступно несколько типов солнечных панелей. Независимо от своего внешнего вида, современные панели представляют собой определенный размер, в котором размещены очень хрупкие элементы. В связи с этим их дополнительно защищают стеклом и полимерной опорой. Кроме солнечных панелей есть и другие элементы: аккумуляторная батарея, стабилизатор, инвертор, зарядное устройство.

У каждого из этих устройств есть своя определённая функция. Аккумулятор собирает и сохраняет выделяемую энергию, контроллер контролирует мощность, анализирует уровень заряда, подключает и отключает аккумулятор. Стабилизатор защищает всю систему от поражения электрическим током. Инвертирующий преобразователь преобразует постоянный ток в переменный, с помощью которого электроэнергию можно использовать в бытовых целях [1].

Все солнечные панели делят по критериям на разные типы: тип оборудования и материал для изготовления фотоэлектрического слоя.

В зависимости от типа устройства различают: гибкие и жесткие. Гибкие отличаются пластичностью. Такую панель ничего не повредив, легко можно превратить в трубу. У жёсткой панели форма не меняется.

По материалам изготовления различают: аморфные, поликристаллические и монокристаллические. Батареи аморфные могут быть гибкими. Для её установки место не выбирают, а эффективность такого устройства очень низкая. Поликристаллические панели обходятся дешевле, но они более эффективны в несолнечную погоду. Панели из монокристаллических модулей в очень жаркую погоду несколько снижают производство энергии. Если требуется максимальная эффективность, предпочтение можно отдать панелям с монокристаллическими элементами. Монокристаллические панели стоят дороже, так как для производства монокристаллического кремния требуется больше энергии и времени.

Раньше такие устройства обычно устанавливались в небольших частных домах или коттеджах. Сейчас же, существуют мощные электростанции с высоким коэффициентом полезного действия, а сфера использования панелей увеличилась.

Сегодня солнечные батареи активно используются на промышленных объектах, что позволяет существенно экономить электроэнергию. Для изготовления различной бытовой техники используют более мощные панели, которые служат источником энергии, где нет возможности подключиться к центральной сети.

Современные солнечные электростанции эффективны везде: и дома, и на крупных промышленных объектах, если их правильно подобрать по необходимой мощности. Расчет параметров нужно производить профессионально. Несмотря на то, что устройство кажется простым, принцип работы такой электростанции весьма сложен. Он основан на фотоэлектрическом эффекте, достигаемом с помощью фотоэлементов [2].

Солнечные панели собирают лучи, которые попадают в фотоэлектрический слой, а солнечный свет заставляет электроны покидать двойной слой. Пустые места первого слоя заполняют электроны второго слоя, непрерывно двигаясь и приводя к естественному образованию напряжения во внешней цепи. В результате один из фотоэлектрических слоев становится отрицательно заряженным, а второй – положительно. Эти действия активируют батарею, начиная её заряжать. При этом нужно постоянно контролировать уровень заряда аккумулятора. Если заряд низкий, контроллер включает солнечную панель, если же он перезаряжен - панель выключает это устройство. Затем инвертор начинает работать, преобразовывая ток в постоянный. С его помощью на выходе электростанции появляется напряжение 220 В, что позволяет подключить электрооборудование от электростанции и подключить электроэнергию.

Эффективность и корректность работы солнечных батарей зависит не только от их типа и мощности, но также от их установки и подключения. Нужно разработать правильную схему подключения всех элементов электростанции, правильно выбрать расположение солнечных панелей. Для этого работу можно доверить только профессионалам.

Выходное напряжение панели достаточно низкое, поэтому обычно используется одновременно несколько аккумуляторов. Все панели должны быть соединены последовательно-параллельно, что обеспечивает максимальную эффективность работы оборудования [3].

У солнечных панелей есть множество преимуществ: они более дешевые и доступнее для широкого круга потребителей, работают без вреда для окружающей среды, в процессе работы не выделяют вредных веществ и быстро окупаются.

Несмотря на сложную конструкцию и принцип работы, эксплуатация станции очень проста и удобна в использовании. Главное, нужно следить за исправностью его узлов и обслуживать установку.

Недостаток солнечных батарей – это их зависимость от погоды, температурного режима, положения солнца и чистоты места. Строить солнечную электростанцию имеет смысл только в районах, работающих в дневное время. При малом освещении солнца панели можно использовать только как дополнительный источник света, но не как основной [4].

Разработки различных способов применения солнечной энергии продолжаются во всех континентах нашей планеты.

Так, например, Австралийские учёные провели эксперименты с керамическими теплоносителями, температура которых способна достигать 1000 °С. Для этого на небольшом объёме аккумулятора энергии сверху башни сфокусировано четыреста зеркал. Здесь свободно падающие под действием земной гравитации и окрашенные в чёрный цвет керамические частицы, нагреваясь до высочайших температур, пролетают сквозь пронизанных сфокусированными солнечными лучами пространство башни. Разогретые таким образом частички скапливаются в нижнем отсеке башни, где происходит обмен тепла. Частички держатся, нагреваясь в течение 15 часов и могут быть использованы в любой момент в течение этого времени. Чтобы частички керамики размерами меньше половины миллиметра постепенно опускаясь, открывали дорогу солнечным лучам, которые насквозь просвечивают рабочий объём, не передавая свою энергию, нужно создать систему желобов, которые подхватывают падающие частички и повторно распределяют их по рабочему объёму. В ходе этого эксперимента учёным удалось создать накопитель тепла с температурой носителя 803 °С.

Арабские учёные смоделировали архитектурный шедевр, присущий арабскому стилю – «солнечную» башню высотой около 200 м, которая сможет вырабатывать электроэнергию днём и ночью. Вертикально расположенные турбины в башне беспрерывно работая должны приводить в движение вверх и вниз потоки воздуха.

Систему назвали «солнечная система по двойной технологии». Здесь огромный коллектор диаметром 250 м как в теплицах должен собирать с большой территории нагретый воздух и выводить его через отверстие в центре, диаметр которого 13,6 м. Поток воздуха, направленный в башню высотой 200 м, у основания трубы приведёт в действие большую турбину.

Вокруг трубы расположен ряд из 10 секций ширина которых по 1,8 м, которые по окружности охватывают центральную трубу. Так как на высоте воздух будет более холодным, чем внизу, в секциях его направляет вниз. Для резкого потока воздуха в верхней части секций разбрызгивается влага в виде тумана, что сильнее охлаждает воздушный поток. Внизу у каждой секции расположено по одной турбине. Работая круглосуточно, централь-



ная турбина ночью выключается, а за счёт разницы температур поток воздуха направленный сверху вниз сохраняется.

Предусмотрев местные условия можно предположить, что этот проект сможет выработать около 753 МВт·ч электричества в год. Поток воздуха направленный вверх обеспечит 350 МВт·ч (но только при свете Солнца), а вниз – 400 МВт·ч (при круглосуточной работе). Расход воды на охлаждение воздуха туманом, является основным вопросом, поэтому проект предусматривает места установки сооружения. Для использования в районах с жарким климатом, такое предложение представляется заманчивым. А архитектурное строение солнечной башни может придать особое очарование и гармонично сочетаться с пустынной местностью.

Попытки учёных удивлять человечество, в поисках ещё неизведанного потребления солнечной энергии, не прерываются и на достигнутом не останавливаются.

### **Литература**

1. Ахмедов, Р. Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Р. Б. Ахмедов – М.: Знание, 1988. – 146 с.
2. Безруких, П. П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики / П. П. Безруких // Электрика. – 2008. – № 9. – С. 310.
3. От энергии пара до энергии солнца. – М.: Высшая школа, 1969. – 172 с.
4. Уделл, С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии / С. Уделл. – М.: Знание, 1980. – 288 с.

УДК 627.824

### **Результаты численного моделирования стационарной задачи фильтрации методом конечных элементов**

Богославчик П. М., Павколас К. Э.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Предлагается фильтрационные расчёты грунтовых выполнять методом конечных элементов, реализованом при помощи ПК ЛИРА 10.8. Выполнены расчёты по определению положения кривой депрессии для профиля реальной плотины. Для сравнения те же расчёты выполнены гидравлическим методом. Установлено полное совпадение результатов.*

Решение плоской стационарной задачи фильтрации реализовано при помощи ПК ЛИРА 10.8. Расчетная конечно-элементная схема сформирована на основе данных на рис. 1.

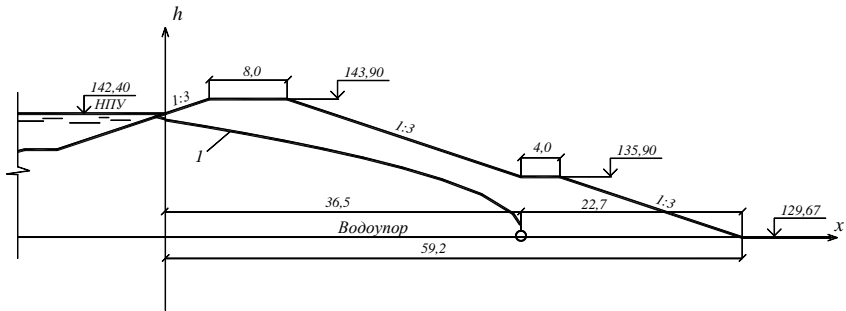


Рис. 1. Схема к определению положения кривой депрессии

Грунт грунтовой плиты моделировался с коэффициентом фильтрации, равным 30 м/сут, грунт основания – 0,00005 м/сут, т. е. рассматривался как водоупор.

Результаты численного моделирования представлены на рис. 2 в виде изополей поровых давлений, где верхняя кривая является депрессионной кривой, и на рис. 3 в виде фрагмента изополей скоростей фильтрации вблизи горизонтальной дрены. Здесь направление наибольших скоростей фильтрации показано стрелками.

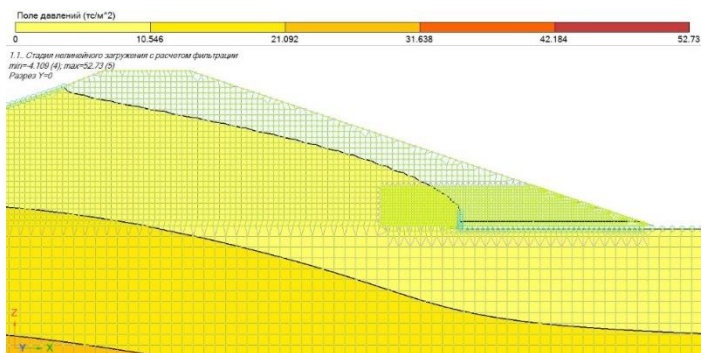


Рис. 2. Фрагмент изополей поровых давлений.

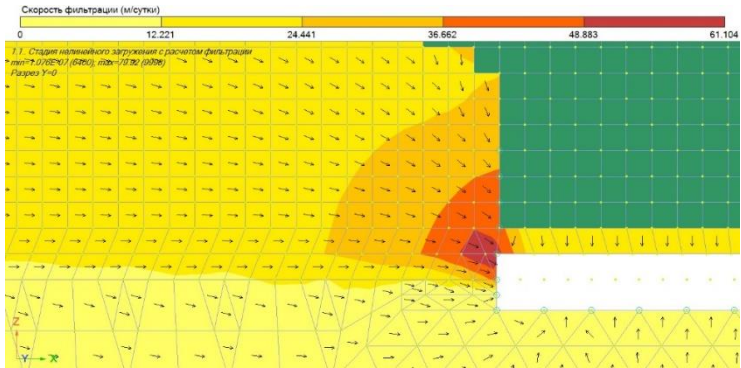


Рис. 3. Фрагмент изополей скоростей фильтраций вокруг дрена.

Для сравнения те же расчёты были выполнены гидравлическим методом, получившим наибольшее распространение в проектной практике и рекомендованным нормативными документами [1]. Гидравлические методы менее точны, чем гидромеханические, но значительно проще и дают решения для самых разнообразных расчетных схем. Они основаны на законе Дарси с применением формулы Дюпюи. Их решение для различных расчетных схем дает расчетные зависимости по определению положения кривой депрессии, фильтрационного расхода и других параметров фильтрационного потока. Для однородной грунтовой плотины на водоупоре расчётная схема (рис. 4) и расчётные формулы имеют следующий вид

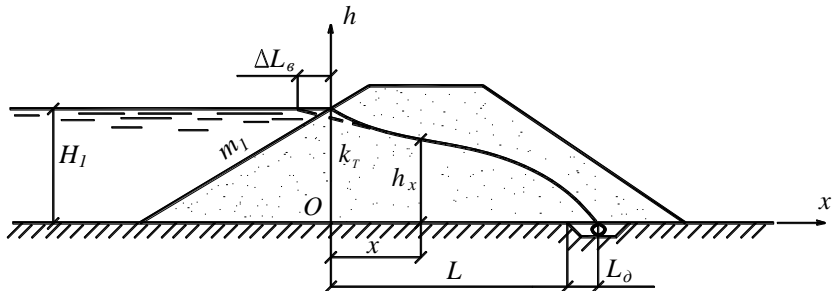


Рис. 4. Расчетная схема

Расчетные формулы:

$$\frac{q}{k_T} = \frac{H_1^2}{2L_p},$$

где  $L_p = L + \Delta L_b$ ;  $\Delta L_b = \beta_b H_1$ ;

$$\beta_b = \frac{m_1}{2m_1 + 1} \quad \left( \text{при } m_1 \geq 2, \quad \beta_b \approx 0,4 \right),$$

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k_T} (L - x + L_\partial)},$$

где  $L_\partial = 0,5q/k_T$ .

Кривую депрессии исправляют визуально в зоне, где  $h_x \geq H_1 - q/k_T$ .

Сравнительные расчёты были выполнены для того же профиля грунтовой плотины (рис. 1). Результаты расчётов приведены в табл.

Таблица

Положение кривой депрессии

$x, \text{ м}$	0	4,06	8,11	12,17	16,22	20,28	24,33	28,39	32,44	36,5
$h, \text{ м}$	141,75	141,08	140,37	139,60	138,77	137,86	136,83	135,62	134,10	131,62

Сравнение положения кривой депрессии, полученного при помощи аналитического метода расчета и МКЭ показало их полную сходимость.

Спектр задач, решаемых МКЭ при помощи ПК ЛИРА 10.8, гораздо шире, чем у традиционных аналитических методов расчета фильтрационных задач. К ним относятся:

- возможность моделирования процессов фильтрации на фоне статического напряженно-деформированного состояния, с оценкой устойчивости склонов;
- определение осадок оснований плотины в процессе ее возведения и эксплуатации;
- определение поровых давлений и скоростей фильтрации в каждой точке тела плотины и ее основания;
- моделирование дренажной конструкции и конфигурации, их оптимизация;

- моделирование многослойных напластований, как в теле плотине, так и в ее основании и анизотропию физико-механических свойств;
- решение задач фильтрации в пространственной постановке;
- моделирование противofильтрационных экранов;
- качественное визуальное отображение результатов расчетов виде мозаик, изополей и изолиний.

### Литература

1. Гидротехнические сооружения общего назначения. Строительные правила: СП 3.04.01-2021. – Введ. 25.12.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 50 с.

УДК 004,69

### **Современные цифровые технологии в проектировании и строительстве: применение и перспективы**

Курчевский С. М.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Приведены направления и перспективы использования цифровых технологий в строительной отрасли, занимающие значимое место на современном этапе развития. Цифровизация в строительной отрасли является драйвером инновационных преобразований, ускоряя внедрение технологических инноваций и сокращая длительность инновационного процесса. Основной акцент сделан на обобщение данных и систематизацию основных направлений применения цифровых технологий в строительной отрасли.*

На сегодняшний день цифровая революция меняет целые отрасли, что не могло не затронуть сферу строительства. Современные цифровые технологии стали неотъемлемой частью перспективного строительства и проектирования, выйдя за рамки простых изменений. Эта трансформация предполагает внедрение новых строительных технологий, которые оптимизируют строительные процессы, сокращают количество отходов и повышают эффективность.

Строительная отрасль быстро развивается, так как современные строительные материалы и технологии открывают огромный мир возможностей (от цифровых инструментов и внедрения программного обеспечения до робототехники). Эти достижения совершают революцию в строительной сфере.

Инновационные технологии, которые повысили качество строительства: информационное моделирование зданий (BIM-технологии), облачное управление проектами, робототехника, дроны, инновационные материалы строительные материалы, 3D-печать, дополненную реальность (AR) и мобильные технологии. [1; 2]

Существует четыре основных типа современных строительных технологий: информационные технологии для управления проектами, программное обеспечение для моделирования и проектирования зданий, автоматизация и робототехника, а также современные строительные материалы. Каждый тип играет роль в повышении эффективности и производительности.

Современные строительные технологии включают в себя цифровые инструменты, которые оптимизируют процессы, сокращают количество отходов и повышают эффективность принятия решений. Все это позволяет получать доступ к данным в режиме реального времени, улучшать совместную работу с помощью облачных платформ, прогнозировать аналитику с интеграцией больших объемов данных и использовать автоматизированные оборудования или робототехнику [3].

**Внедрение облачных технологий.** В современном, быстро меняющемся мире, где используют большой массив данных, в том числе бумажных, облачные технологии управления проектами стали решающим фактором для эффективного решения сложных задач. Эти платформы обновляются в режиме реального времени, облегчая оперативное принятие решений и улучшая взаимодействие между строителями и проектировщиками, что приводит к повышению производительности.

Помимо повышения эффективности, эта технология также значительно снижает затраты на проекты за счет лучшего распределения финансов.

Преимущества облачного программного обеспечения:

1. Улучшенная коммуникация. Облачные программные сервисы обеспечивают быструю и бесперебойную связь между всеми членами команды (от архитекторов до рабочих на стройплощадке) независимо от их местонахождения. Это гарантирует, что они будут в курсе последних изменений в проекте.

2. Доступ к информации в режиме реального времени. Благодаря данным, хранящимся в облаке, доступ к актуальной информации о проекте возможен в режиме реального времени. Это обеспечивает немедленную доступность критически важных данных и позволяет своевременно принимать решения.

3. Улучшенная совместная работа. Эти платформы способствуют улучшению взаимодействию между бригадами, выделяя отдельное место в

центральном хранилище для всех документов, чертежей и графиков, связанных с проектом.

4. Повышенная производительность. Облачное программное обеспечение для управления строительством автоматизирует различные рутинные задачи, что приводит к существенной экономии времени и, следовательно, к повышению производительности.

5. Экономическая эффективность. Она достигается за счет сокращения потребности в физическом пространстве для хранения информации, а также упразднения ручного ввода данных и ведение учета.

6. Качественное управление рисками. Эти платформы предоставляют инструменты для оценки рисков и их снижения, помогая командам выявлять потенциальные проблемы до того, как они станут серьезными.

7. Масштабность. По мере расширения требований к проекту облачное программное обеспечение может быть легко расширено для размещения большего объема данных и большего числа пользователей, обеспечивая возможности устойчивого роста бизнеса.

8. Безопасность данных. Эти системы предлагают надежные меры безопасности, включая шифрование данных и надежную аутентификацию пользователей, что обеспечивает сохранность всех данных, связанных с проектом.

9. Экологичность. Благодаря оцифровке документов и сокращению потребности в бумаге облачное программное обеспечение также улучшает экологию.

Возможности информационного моделирования зданий (BIM)

Строительная отрасль переживает трансформацию, и цифровые технологии, такие как BIM (Building Information Modeling), играют решающую роль. BIM-технология выходит за рамки создания визуально потрясающих 3D-моделей. Она оптимизирует процессы принятия решений на каждом этапе проекта.

Эта новая технология строительства обеспечивает точное цифровое представление как физических, так и функциональных аспектов объекта. Этот бесценный инструмент позволяет архитекторам, инженерам и подрядчикам предвидеть потенциальные проблемы до того, как они станут серьезными.

BIM-технология также помогает сократить отходы и повысить экологичность, контролируя полный цикл проекта, от проектирования до завершения строительства.

Наличие больших объемов операционных данных может значительно повысить уровень эффективности во всех сферах строительства, от этапов планирования до его завершения. Благодаря этому организации могут оперативно принимать решения на основе текущих данных.

Преимущества BIM:

- выявление коллизии и несоответствия;
- внесение корректировок и расчет сметы;
- устранение рисков на объекте ещё до начала работ на стройплощадке;
- оптимизация ресурсов;
- сокращение затраты и упрощение управления строительными процессами [4].

**Мобильные технологии.** Мобильные технологии повышают наглядность и эффективность. Мобильные технологии, позволяющие в режиме реального времени отслеживать данные о ресурсах и рабочей силе в разных местах, еще никогда не были такими простыми и эффективными. Эти инструменты позволяют нам в любой момент держать руку на пульсе и контролировать все то, что происходит на объекте, обеспечивая постоянную максимальную производительность.

**Робототехника в строительстве.** Вопреки распространенному мнению, внедрение робототехники в строительное производство не направлено на замену работников. Напротив, роботы повышают производительность и безопасности на стройплощадке.

Роботы с легкостью справляются с рутинными задачами, которые со временем могут стать физически тяжелыми для человека. Кроме того, они доказывают свою ценность, безопасно работая в опасных условиях, где присутствие человека может представлять значительный риск для здоровья и жизни.

**Беспилотные летательные аппараты.** В последние годы дроны стали жизненно важным компонентом современных строительных технологий. Они открывают уникальные возможности передовая бесценные данные с высоты птичьего полета. Благодаря комплексному обследованию территории и постоянному мониторингу хода строительных работ беспилотные летательные аппараты значительно повышают общую эффективность управления строительством.

Дроны оснащаются передовыми камерами и датчиками, способными снимать изображения или видео с высоким разрешением под недоступными ранее углами. Эксперты в данной отрасли предполагают, что благодаря использованию дронов экономия средств в различных отраслях, включая строительство, может достигать миллиардов долларов.

Представители этой отрасли отмечают, что беспилотные летательные аппараты обеспечивают возможность руководителям проектов удаленно отслеживать текущий строительный процесс в режиме реального времени. Благодаря чему можно оценить объем и качество работ, сравнить с утвержденным строительным проектом и достаточно рано выявить потенциаль-



ные проблемы, тем самым снижая факторы риска, связанные с задержками или превышением финансового бюджета.

**Инновационные материалы.** В строительной индустрии все чаще традиционные строительные материалы уступают место более совершенным (инновационным материалам). Самой впечатляющей из этих инноваций стал самовосстанавливающийся бетон. Этот уникальный материал использует бактерии для автоматического заделывания трещин, которые появляются со временем, что является распространенной проблемой для бетонных изделий. Помимо самовосстанавливающегося бетона, в строительной отрасли существует еще несколько инновационных материалов:

1. Прозрачный алюминий. Этот новый материал, также известный как оксинитрид алюминия, отличается исключительной прочностью и почти такой же прозрачностью, как стекло. Его применение в строительстве может включать пуленепробиваемые окна или прозрачные конструктивные элементы.

2. Углеродное волокно. Известное своей высокой прочностью на разрыв и малым весом, все чаще используется в строительной отрасли. Его обычно используют в качестве армирующего материала, особенно при строительстве мостов и реконструкции существующих объектов.

3. Изоляционный аэрогель. Аэрогель, который часто называют «замороженным дымом», представляет собой чрезвычайно легкий материал, обеспечивающий впечатляющую теплоизоляцию. Использование аэрогеля при утеплении зданий может значительно снизить затраты на электроэнергию в течение всего срока службы объекта.

5. Графен. Материал рекламируемый как «чудо-материал» невероятно прочен, но при этом легок и гибок. Хотя его использование в строительстве все еще находится в зачаточном состоянии, но потенциальные области применения включают создание более прочных и легких конструкций и возможность применения его в фильтрации воды.

6. Биомиметические материалы. Искусственные материалы имитирующие физические или химические характеристики природных материалов. Основным примером является ракушечный бетон, материал, который имитирует прочность и долговечность морских ракушек.

Эти материалы, наряду со многими другими, все еще находящимися в разработке, предвещают новую эру в строительной отрасли, где экологичность, эффективность и инновационный дизайн станут нормой.

**3D-печать в строительстве.** 3D-печать – это чудо инженерной мысли, которое открывает новые горизонты для массового производства в строительной отрасли. Этот процесс включает в себя создание трехмерных объектов на основе цифровых моделей путем послойного нанесения строительных материалов. Это обеспечивает непревзойденный уровень свободы

проектирования, позволяя воплощать в жизнь сложные геометрические конструкции, которые когда-то считались невозможными при использовании традиционных методов.

Помимо ускорения производственных процессов, 3D-печать также значительно снижает количество отходов, образующихся во время производства, что является важным преимуществом в глобальной строительной деятельности, которая негативно воздействует на окружающую среду.

**Дополненная реальность.** Будущее строительство за инновационным внедрением дополненной реальности (AR). Эта технология предлагает уникальный подход к визуализации больших физических объектов и изучению их до начала каких-либо реальных работ, тем самым повышая эффективность и сокращая количество ошибок.

По сути, эти технологии кардинально меняют то, как обычно планируют и реализуют проекты, предлагая беспрецедентный уровень прозрачности и контроля над различными аспектами.

Благодаря таким достижениям, как смешанная реальность, сочетающая в себе элементы технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной (AR), появляется потенциал для дальнейших инновационных внедрений в новые области строительства.

**GPS-слежения.** Внедрение GPS-слежения позволило существенно улучшить безопасность, оптимизировать логистику и повысить эффективность бизнеса. Данная технология позволяет подрядчикам мгновенно находить оборудование или транспортные средства, сокращать время простоя и обеспечивать лучшее использование ресурсов.

Помимо этой функциональности, GPS также способствует повышению техники безопасности на рабочих местах, поскольку позволяет руководителю объектов эффективно контролировать перемещения рабочих, тем самым гарантируя, что они будут находиться в безопасных условиях в течение рабочего времени.

Основные преимущества GPS-слежения:

1. Обеспечивает мгновенный доступ в любое время. Благодаря надежному хранению информации, в режиме он-лайн, доступному через смартфоны или планшеты в любое время и в любом месте, все участники строительного процесса будут в курсе последних событий, даже находясь за пределами офисных помещений.

2. Способствует эффективному взаимодействию. Позволяет всем заинтересованным сторонам (архитекторам, инженерам, субподрядчикам и т. д.) мгновенно обмениваться информацией что, не только экономит время, но и приводит к более бесперебойной работе в целом.

3. Защита важной информации. Поскольку резервные копии всех данных автоматически сохраняются на защищенном сервере, вероятность по-

тери важных файлов из-за человеческой ошибки или неисправности устройства практически невозможно, что делает его идеальным выбором для решения сложных задач.

Внедрение цифровых технологий в строительстве играет важную роль в современном мире. Они позволяют повысить эффективность и безопасность строительного процесса, а также улучшить качество и точность работ. Цифровизация на различных этапах строительства позволяет сократить время и финансовые затраты, а также улучшить взаимодействие между участниками проекта. Однако, внедрение цифровых технологий также сопряжено с определенными проблемами и вызовами, которые требуют дополнительных усилий и ресурсов для их решения. В будущем, цифровые технологии в строительстве будут продолжать развиваться и прогрессировать, открывая новые возможности и перспективы для данной индустрии.

### Литература

1. Миронова, Л. И. Современные цифровые технологии и возможность их применения в процессе цифровой трансформации строительной отрасли / Л. И. Миронова [и др.] // Росс. журнал строит. наук и технологий. – 2022. – Т. 8, №1. – С. 55–65.

2. Байбурин, А. Х. Применение цифровых технологий в строительстве: учеб. пособие / А. Х. Байбурин, Н. В. Кочарин. – Челябинск: Библиотека А. Миллера, 2020. – 167 с.

3. Травуш, В. И. Цифровые технологии в строительстве / В. И. Травуш // Строительные науки. – 2018. – № 3. – С. 107–117.

4. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 410 с.

УДК 628.112

### Устройство для тампонирования поврежденного участка ствола водозаборной скважины

Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А., Кондратович А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлено устройство для тампонирования поврежденного участка обсадной трубы или фильтра водозаборной скважины, а также технологическая схема тампонажа места притока песка в пескующей скважине.*

Основными причинами снижения дебита водозаборных скважин являются кольматация и пескование фильтров. Поэтому восстановительные работы на скважинах должны включать в себя комплекс работ по декольматации фильтров и ремонту пескующих скважин. В свою очередь ремонт пескующих скважин предусматривает работы по установлению причин пескования, удалению песчаной пробки и ликвидации причин пескования. Если обнаружится, что фильтр пескует по всей длине, то одним из вариантов ремонта является установка фильтра меньшего диаметра внутри существующего и создание гравийной обсыпки в межфильтровом пространстве [1]. В результате проведения этого вида ремонта существенно снижается удельный дебит скважины из-за роста сопротивления двойного фильтра, и тогда есть вероятность, что дебит скважины будет восстановлен, но при большом понижении динамического уровня при работе насоса. Если в результате обследования пескующей скважины будет обнаружен локальный участок притока песка в ствол скважины, то возможно проведение ремонта путем тампонажа кольцевой зоны ствола скважины на этом участке [2]. В этом случае в стволе образуется местное кольцевое сужение, которое не создаст существенного уменьшения удельного дебита скважины.

Предложенная технологическая схема тампонажа места притока песка в скважину представлена на рис. 1. В скважине искусственно создают песчаную пробку, достигающую до места притока песка, и с помощью лебедки опускают в ствол скважинное устройство для ремонта, представленное на рис. 2 и производят тампонаж кольцевой зоны ствола скважины на этом участке.

Устройство конструктивно состоит из желонки с подвижным дном, кольцевой опалубки и посыльного груза. Корпус желонки и кольцевая опалубка жестко соединены между собой. В нижней части желонки находятся срезаемые шпильки, на которых установлено сверху подвижное коническое дно, к которому жестко соединен шток. Верхний конец штока выведен за пределы желонки и имеет диск, который соединен с тросом лебедки, вдоль которого перемещается посыльный груз.

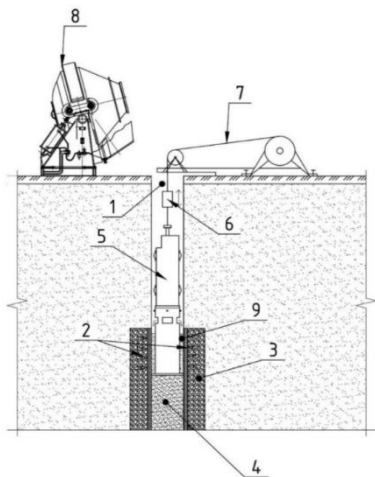


Рис. 1. Технологическая схема тампонажа пескующего участка фильтра:  
 – скважина; 2 – пескующий участок фильтра; 3 – гравийная обсыпка; 4 – песчаная пробка; 5 – скважинное устройство для ремонта; – посыльный груз; 7 – лебедка; – смеситель

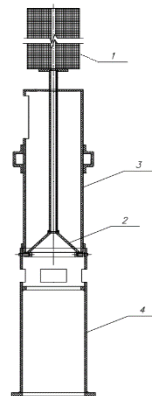


Рис. 2. Скважинное устройство для ремонта:  
 – посыльный груз;  
 – подвижное коническое дно;  
 – желонка;  
 – кольцевая опалубка

Ремонт производят следующим образом. В смесителе готовят тампонажный раствор, который загружают в желонку через окно в ее верхней части. Скважинное устройство на тросе опускают в скважину и устанавливают на песчаную пробку так, чтобы кольцевая опалубка оказалась напротив ремонтируемого участка ствола (фильтра). Затем по тросу сбрасывают в скважину посыльный груз, который наносит удар по диску штока. Ударное усилие передается через шток на подвижное коническое дно, которое срезает шпильки. Дно смещается вниз до упоров снаружи корпуса опалубки и тампонажный раствор из желонки перетекает через специальные отверстия в ее нижней части внутрь кольцевой опалубки. После ожидания затвердевания тампонажного раствора, песчаную пробку откачивают эрлифтом. В скважине остается местное сужение. Опалубка не извлекается.

Опалубка представляет собой металлическую трубу с приваренным на нижнем конце фланцем. Толщина цементационного кольца зависит от диаметра фильтра и в среднем составляет 25 мм. Исходя из толщины цементации определяют необходимый диаметр опалубки. Высота опалубки зависит от площади поврежденного участка фильтра. Высота опалубки увязывается с объемом цементного раствора, который требуется поме-

стить в опалубку. Для предотвращения вытекания тампонажного раствора через окно желонки в ствол скважины, необходимо предусмотреть запас по высоте. Подвижное дно представляет собой металлический элемент в форме усеченного конуса. Оно необходимо для удержания цементного раствора в полости желонки в процессе ее транспортировки, а также для высвобождения его при ремонте. Коническая форма дна должна обеспечить беспрепятственный выход смеси из полости желонки.

Крепление подвижного дна к корпусу желонки осуществляется при помощи четырех срезаемых шпилек. Их располагают вдоль всей окружности опалубки на равном расстоянии. Ось шпилек должна быть перпендикулярна продольной оси желонки. Длина шпилек определяется толщиной стенки желонки, а также толщиной нижнего обода дна. Диаметр должен быть таким, чтобы с одной стороны шпильки могли выдержать раствора во время транспортировки, а с другой – беспрепятственно срезаться при достижении ее рабочего положения.

Для центровки устройства в стволе скважины, в процессе транспортировки, на внешней поверхности желонки приварены специальные направляющие. Груз может быть выполнен в виде стальной болванки с отверстием, диаметр которого должен быть на 2–3 мм больше диаметра троса. Массу посыльного груза определяют исходя из условия прочности шпилек на срез.

### **Вывод**

Разработана технологическая схема и устройство для тампонажа пескующего участка фильтра водозаборной скважины. Устройство отличается простотой и надежностью в работе и может быть использовано на водозаборах подземных для ремонта скважин.

### **Литература**

1. Алексеев, В. С. Учебная книга мастера по ремонту скважин на воду / В. С. Алексеев, Г. А. Волоховский, В. Т. Гребенников. – М.: Колос, 1983. – 255 с.
2. Устройство для тампонирования поврежденного участка обсадной трубы или фильтра водозаборной скважины: пат. ВУ 18849 / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко. – Опубл. 30.12.2014.

**Применение композитных материалов при бестраншейном  
производственном восстановлении трубопроводов**

Можаровский В. В.<sup>1</sup>, Василевич Ю. В.<sup>2</sup>, Неумержицкая Е. Ю.<sup>3</sup>,  
Киргинцева С. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>3</sup>Академия образования  
Минск, Республика Беларусь

*Изложены методики применения высокопрочных полимерных рукавов по ремонту труб без проведения земляных работ и расчету давления жидкости на конструкционные элементы из композита. Результаты работы могут найти применение в производстве труб из композита, используемых в транспортном машиностроении, теплоэнергетике, строительстве и других отраслях.*

В настоящее время наряду с традиционными материалами интенсивно разрабатываются искусственные материалы – так называемые композиты. К их числу относят гетерогенные материалы, состоящие из не менее двух фаз. Композиты можно охарактеризовать как определенную комбинацию разнородных материалов, обладающих специфической структурой и геометрической формой. При создании композита стремятся реализовать наивысшие эксплуатационные характеристики материала, недостижимые при использовании каждого из компонентов в отдельности. Довольно часто удается получить композиты с уникальными структурами, формами и свойствами, которые значительно превосходят свойства компонентов.

Текстильные композиты представляют комбинацию полимерного связующего и системы волокон или нитей, либо с тканью, полученной текстильными методами. Текстильные композиты могут быть гибкими (надувные плоты, конвейерные ленты и т. п.) и жесткими. Многие системы волокнистых армированных пластиков являются жесткими текстильными композитами. Эти материалы появились в качестве заменителей металла и дерева. С тех пор волокнистые армированные пластики широко применяются для изготовления внешних и внутренних деталей кузовов автомобилей, фюзеляжей летательных аппаратов, корпусов судов, труб, элементов строительных конструкций и т. п.

Непропитанные волокнистые материалы (волокно, нити или ткани), образующие определенную плоскую или пространственную структуру,

называют текстильными армирующими каркасами. Текстильные каркасы различаются ориентацией волокон, видом переплетения и геометрическими параметрами. Строение текстильного каркаса может изменяться в широком диапазоне от простого плоского листа до сложной пространственной много направленной структуры.

При проектировании текстильного конструкционного композита выбор исходных материалов и технологии получения композита должен соответствовать требованиям, предъявляемым к свойствам композита, производительности процесса и его стоимости.

Важную роль в пластике играет характер и ориентация расположения наполнителя в матрице, приводящие к анизотропии свойств композита. Анизотропия стеклопластиков (конструктивная анизотропия) оказывается еще одним регулируемым параметром, дополнительной степенью свободы при конструировании полимерных материалов и конструкций на их основе. Другим преимуществом перед обычными изотропными материалами является эффективное управление анизотропией их механических, теплофизических и других свойств в плоскости армирования. Это дает дополнительные резервы в повышении надежности конструкций, снижении их массы и расширении области применения. Управление анизотропии свойств осуществляется варьированием укладки арматуры.

Появляется возможность формировать свойства материала под конкретную деталь под ее напряженно- деформированное состояние, что обеспечивает повышение несущей способности изделия и приводит к существенному снижению его массы. При этом использование композиционного материала предоставляет возможность широкого выбора исходных композитов и структурных схем армирования, технологических способов формообразования изделия и получения требуемой геометрии поверхности конструкции, что дает большую степень свободы разработчику при проектировании изделий.

На основании разработанных теорий и компьютерных расчетов [1; 2] можно усовершенствовать технологию создания высокопрочных полимерных рукавов для трубопроводов.

Многолетняя эксплуатация трубопроводов неразрывно связана с такими явлениями как коррозия, утечка, разрывы, пренебрежение которых могут вызывать просадки дорог и экологические аварии, что, в свою очередь, имеет социальные последствия. Обслуживание и ремонт подземных трубопроводов чаще всего проводится путем извлечения поверхностных слоев грунта и раскопки. Эти процедуры могут нанести ущерб окружающей среде. Решением этой проблемы могут быть бестраншейные методы восстановления трубопроводов, которые заключаются в ремонте существующих трубопроводов без выемки грунта.



Одним из таких методов является футеровка (технология CIPP, «Cured-in-place pipe») или метод полимеризации на месте трубы [3], процесс использования которой заключается во вставке пропитанной смолой гильзы в изношенный заглубленный трубопровод, расширение хвостовика и закрепление его на месте, используя ультрафиолетовый свет или другие технологии (закачивания горячего воздуха или воды). В результате получается новая труба внутри изношенной трубы. Технология CIPP была впервые разработана британским инженером Эриком Вудом, в 1971 г. получила международный стандарт ISO 9000 [4]. Например, наглядно схема бестраншейного производственного восстановления трубопроводов представлена на рис. 1 [4].

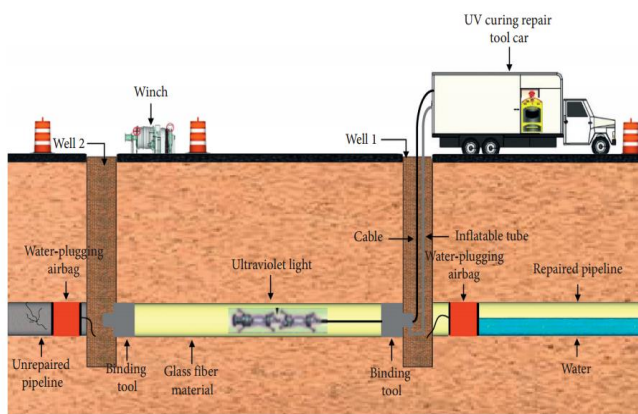


Рис. 1. Новая производственная технология CIPP ремонта трубопроводов [4]

В Беларуси также имеются фирмы, оказывающие такие услуги, например, ООО «ГеоЦентрГрупп» филиал Российской компании (Санкт-Петербург), Компания «ГРАДИСС» обладает собственным оборудованием для производства полимерных рукавов для санации трубопровода. Так, например, в «ГРАДИСС» и «РосПайп» [1–5] используются трехкомпонентный – из пленочного (защитного), армирующего (из синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки); предназначен для труб диаметром 150–200 мм; а также четырехкомпонентный – из пленочного (защитного), комбинированного стеклоармирующего полотна, армирующего (из синтетического войлока) и раздувочного (из полимерной пленки); предназначен для труб диаметром от 300 до 450 мм. Из описания технологии компании [1] в основе «изготовления рукава состоит в раскройке стек-

ло-холста до нужной ширины, складывании и прошивке внахлест на рукавной машине (например, японской фирмы «Brotcher»). Диаметр полученной заготовки должен быть меньше диаметра ремонтируемого участка трубы на 1–3 % для избегания складок. В то же время подвижность шва и материала должна обеспечивать плотное прилегание рукава к внутренней стенке трубы. В процессе сшивки армирующего рукава в него помещается прочная капроновая лента. После сшивки рукав свертывается в рулон и поступает на сборку. Сборка включает два этапа: протягивание армирующего рукава в наружный полиэтиленовый и протягивание внутреннего раздувочного рукава в армирующий...». В процессе изготовления и эксплуатации таких реанимируемых труб возникают динамические ударные эффекты, типа гидроудара, которые нужно рассчитать и создать компьютерную программу определения напряженно-деформированного состояния изделий, скорость волны удара. Такие расчеты необходимы для оптимального выбора материала композита с целью предотвращения разрыва, разрушения трубопровода. Дальнейшие разработки найдут применение на предприятиях теплоснабжения и водоканализации Республики Беларусь (Витебскэнерго, Могилевский завод полимерных труб и др.). Кроме того, разрабатываются алгоритмы и программы, реализующие расчет и хранение различных характеристик стальных труб ППУ (водопоглощение, прочность на сдвиг в осевом направлении, прочность на сдвиг в тангенциальном направлении и т. д.) и применения для ПИ-труб.

Предлагаются исследования об определении параметров эксплуатации футерованных труб из современных композиционных материалов согласно новой современной технологии CIPP по ремонту труб без проведения земляных работ. Эта технология достаточно проста и начала широко применяться во всем мире. Суть этой технологии такая же, как было описано ранее, и заключается в том, что в поврежденный участок трубы вводится футеровка из волоконистых композитных материалов со смолой (пропитанная труба, изготовленная из стекловолокна, углеродного волокна или другого пропитанного смолой вещества), которая прикрепляется к трубе под действием давлений воды или пара, и получается новая слоистая отремонтированная труба. Ключевым моментом этой технологии является расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) в сечении трубы с композитной футеровкой и нахождение допустимой толщины покрытия, а также определение скорости волны при гидроударе [6–8].

Методика расчета давления струи жидкости на неподвижную вертикальную пластину из композита (или на внутреннюю поверхность трубы, диаметр которой можно считать обеспечивающим в месте удара жидкости также вертикальную неподвижную поверхность) изложена ниже.

Конечный результат расчета является основанием для оценки прочностных и деформационных характеристик композитного материала, используемого для проектирования и изготовления цилиндрических оболочек (труб). Воспользуемся общей теоремой динамики об изменении количества движения. Предположим, что вода вытекает из брандспойта диаметром  $d$  со скоростью  $v$  перпендикулярно неподвижной поверхности. За время  $t_1$  количество воды в первоначальном объеме  $abc$  переместится в положение  $a_1b_1c_1$ , рис. 2 [9].

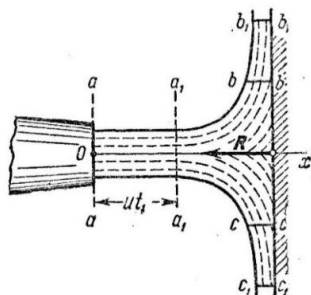


Рис. 2. Перемещение объема воды из положения  $abc$  в положение  $a_1b_1c_1$  за время  $t_1$

Изменение количества движения упомянутого объема за время  $t_1$  будет равно

$$Q_1 - Q_0 = -mv = -Rt_1,$$

тогда

$$mv = Rt_1 \quad \text{и} \quad R = mv/t_1,$$

т. к. перемещение  $aa_1 = vt_1$ , то  $m = \pi d^2 vt_1 / 4$  и  $R = \pi d^2 v^2 / 4$ , где  $Q_1$  – количество движения объема жидкости за промежуток времени  $t_1$ ,  $Q_0$  – количество движения объема жидкости при  $t = 0$ ;  $m$  – масса объема  $aa_1$ ;  $\rho$  – масса единицы объема, т.е. плотность жидкости;  $R$  – реакция неподвижной поверхности, численно равная искомому давлению. Например, при  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $d = 8 \text{ см}$ ,  $v = 15 \text{ м/с}$ , получим  $R = 1130,4 \text{ Н}$ .

### Выводы

Изложены методики применения высокопрочных полимерных рукавов по ремонту труб без проведения земляных работ и расчета давления

жидкости на конструкционные элементы из композита. Результаты работы могут найти применение в производстве труб из композита или другого материала используемых в транспортном машиностроении, теплоэнергетике, строительстве и других отраслях.

### Литература

1. Ремонт труб методом санации полимерным рукавом [Электронный ресурс]. – Дата доступа: 10.01.2024.
2. Гидрополимер. Услуги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hydropolymer.by/services/>. – Дата доступа: 10.01.2024.
3. Wave celerity in hydraulic transients computation for cipp-rehabilitated pipes / F. Evangelista [et al.] // Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas. – 2020. – Vol. 8, №4. – P. 326–340.
4. Parameter analysis of wall thickness of cured-in-place pipe linings for semistructured rehabilitation of concrete drainage pipe / F. Hongyuan [et al.] // Mathematical Problems in Engineering. – 2020. – ID 5271027. – P. 1–16.
5. Санация полимерным рукавом (чулком) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.smgbr.ru/articles/sanaciya-polimernym-rukavom-nosti-tehnologii-i-etapy-vosstanovleniya-truboprovoda.html> – Дата доступа:
6. Можаровский, В. В. Напряженно-деформированное состояние слоистых цилиндрических труб / В. В. Можаровский, С. А. Марьин, Н. А. Марьина // Вестник ХНТУ. – 2008. – № 2(31). – С. 304–309.
7. Киргинцева, С. В. Влияние температуры и анизотропии материала на напряженное состояние двухслойных труб, применяющихся при футеровке (технология CIPP) / С.В. Киргинцева // Творчество молодых–2022: сборник науч. работ студентов и аспирантов УО «ГГУ им. Ф. Скорины» / мельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Ч. 1. – Гомель, 2022. – С. 216–220.
8. Ghazaryan, K. B. Shear surface wave propagation in stratified media with slip interfaces / K. B. Ghazaryan; V. V. Mozharovsky; S. V. Sarkisyan; S. K. Ohanyan // International Journal of Materials and Structural Integrity. – 2021. – Vol.14, №2/3/4. – P. 120–126.
9. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М.: Наука, 1974. – 480 с.

**Совершенствование средств измерения деформаций конструкций  
судоходных шлюзов**

Моргунов К. П.

Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Представлены результаты использования электронного тахеометра для определения деформаций конструкций секций камеры судоходного шлюза. Установлено, что изменения трехмерного положения контрольных точек в моменты шлюзования определяются достаточно надежно, причём наиболее точно определяется относительное расстояние между парой контрольных точек. Рекомендовано использование тахеометра в системе мониторинга состояния гидротехнических сооружений*

При мониторинге состояния конструкций судоходного шлюза, работающего в составе действующего гидроузла, одной из наиболее проблемных позиций является измерение перемещений стен камеры под воздействием различных эксплуатационных нагрузок. Основной причиной таких трудностей является то обстоятельство, что имеющимися в составе штатной контрольно-измерительной аппаратуры геодезическими средствами определять деформации стен камер практически невозможно. При работе шлюза элементы конструкций камер претерпевают динамические (меняющиеся в течение процесса) деформации, однако проводимые на объектах измерения позволяют получать только конечные значения относительных перемещений стен камер при наполнении–опорожнении. Определить независимые перемещения каждого элемента конструкции в процессе изменения уровня воды в камере существующими методами нельзя. Интерес представляют также деформации, вызываемые температурными воздействиями, изменяющимися в течение суток. Такие данные интересны для оценки напряженно-деформированного состояния конструкций и устойчивости сооружения. Кроме того, зная характер деформирования стен по мере роста нагрузки, можно было бы оценить, как ведет себя и днище камеры.

Появление новых средств измерения перемещений – автоматических тахеометров создает потенциальную возможность приблизиться к решению обозначенной выше задачи. Не смотря на незначительность перемещений верха стен камер при наполнении и опорожнении (1,5–2,0 мм), с использованием такого прибора можно будет оценить перемещения стен камеры при сезонных температурных колебаниях. Получение даже этих

сведений было бы достаточным успехом в совершенствовании системы мониторинга, расширило бы представления о процессах деформирования камеры шлюза в период эксплуатации.

Для оценки возможностей использования электронного тахеометра для наблюдения за динамикой деформирования камер шлюзов в качестве пилотного проекта был выполнен цикл измерений на судоходных сооружениях Волгоградского гидроузла.

Электронный тахеометр – это геодезический прибор для измерения расстояний и углов по разности фаз испускаемого и отражённого лучей. С использованием встроенного программного обеспечения (ПО) тахеометр в автоматическом режиме рассчитывает координаты и высоты наблюдаемых точек. Управляющее ПО системы дает возможность многократно перепределять координаты, отслеживая их изменение во времени, вычислять трехмерные изменения координат, скорость смещения наблюдаемых точек и другие величины.

#### ***Установка оборудования и процедура измерений***

Судопропускные сооружения Волгоградского гидроузла – двухкамерные двухниточные железобетонные шлюзы (№ 30 и № 31 по нумерации Волжских шлюзов) с распределительной системой питания. Для проведения измерений на сооружениях шлюзов был использован электронный тахеометр Leica TM30, обеспечивающий в соответствии с техническими данными прибора [1] угловую точность измерения 0,5" и точность измерения расстояния – до 1 миллиметра на расстояниях до 1000 м.

Тахеометр устанавливался в районе нижней головы шлюза № 30 на пилоне трубчатой конструкции, управляющий компьютер размещался в специальном коробе в непосредственной близости от пилона и соединялся с тахеометром кабелем (рис. 1).



Рис. 1. Тахеометр на пилоне



Рис. 2. Отражательные призмы на секциях шлюзов

В процессе выполнения измерений предполагалось контролировать положение верха секций 2, 4, 5 и 8 на каждом из шлюзов. В контрольных точках на конструкциях камер устанавливались отражающие призмы: на шлюзе № 30 – на ограждении рымных ниш, на шлюзе № 31 – на парапете секций камеры (рис. 2).

На рис. 3 приведена схема размещения измерительного оборудования на гидроузле.

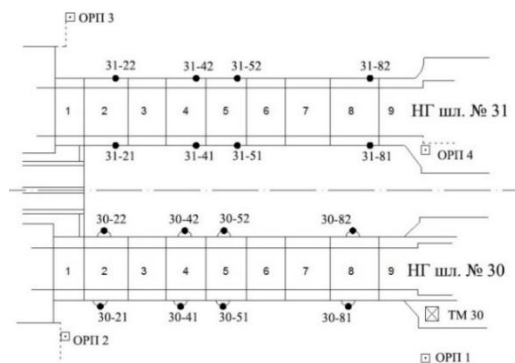


Рис. 3. Схема размещения оборудования на гидроузле:  
ТМ 30 – тахеометр; ОРП 1 ÷ ОРП 4 – опорные ориентирные пункты;  
30–21 ÷ 31–82 – места установки отражающих призм

Для периодического переопределения координат точки установки тахеометра в каждом цикле измерений на неподвижных конструкциях шлюзов были установлены 4 ориентирных неподвижных пункта ОРП 1 ÷ 4 (рис. 3). Расстояние от тахеометра до самой дальней контрольной точки (31–22) составило 266,5 метра, до самой ближней (30–81) – 46,7 метра (рис. 3).

Программа наблюдений предполагала следующий алгоритм измерений:

- периодическое переопределение координат базовой точки размещения самого тахеометра и ориентирование прибора методом обратных засечек перед началом очередного цикла наблюдений;
- определение координат контрольных точек полярным способом при двух кругах каждые 5 минут;
- снятие отсчетов с комбинированного датчика температуры и давления каждые 10 минут; полученные данные используются для автоматического введения поправок в измеренные тахеометром линии.

Относительное плановое положение контрольных точек, как за длительный период, так и в периоды шлюзований определялось посредством

вычислений или непосредственных измерений горизонтальных проложений между парными точками на противоположных стенках секций. Горизонтальные проложения в данном проекте получались с использованием двух способов, основанных на разных принципах. Сходимость результатов, полученных разными способами, подтвердила их надежность.

Первый способ заключался в периодическом вычислении расстояний между двумя контрольными точками по их координатам, полученным тахеометром. Способ был реализован при помощи виртуального датчика (вставленной в управляющее ПО формулы) для которого назначалась программа наблюдений (вычислений) с периодичностью 5 минут. Способ характерен тем, что количество определяемых расстояний может быть достаточно велико без существенного увеличения стоимости оборудования. Однако при этом точность полученных полярным методом координат контрольных точек и, соответственно, вычисленных расстояний зависит от внешних условий. В проекте вычислялось 8 линий.

Другой способ – непосредственное измерение расстояний между двумя противоположными стенками с помощью тахеометра. Тахеометр устанавливался в створ, в котором расположена пара контрольных точек, запускалась управляющая программа и выполнялись автоматические измерения взаимного расстояния между точками с заданной периодичностью. Затем оборудование может быть переставлено на следующую пару точек.

Во время проведения работ по измерению контролировалось положение самого тахеометра. В начале каждого рабочего дня засечка координат места расположения тахеометра выполнялось вручную, затем – автоматически с периодом от 15 до 40 минут. В процессе проведения измерений выяснилось, что пилон с тахеометром перемещается вместе с сооружением. Поэтому с учетом перемещения самого тахеометра корректировались измеряемые величины перемещений контрольных точек.

#### ***Анализ результатов наблюдений***

Характерные трехмерные перемещения контрольных точек, соответствующие данным по трем шлюзованиям, приведены на рис. 4. Среднее расстояние для данных контрольных точек от тахеометра составляет 46,7 м.

Возвратные деформации в плане по точке 30–81 в среднем составляют 0,4–0,5 мм, по точке 30–82 в среднем 4,2–4,5 мм в направлении перпендикулярном оси шлюза. В направлении вдоль оси шлюза – в среднем 0,3–0,5 мм для обеих точек. По высоте видны четко зафиксированные упругие деформации величиной 2 мм для обеих точек.

Результаты измерений за длительный период (за 25 дней) для контрольной точки 30–82 приведены на рис. 5. Измерения выполнялись только в рабочее время с 8 часов утра и до 17 часов, поэтому на графике видны



группы измерений по каждому такому отрезку времени. Выбросы вверх от каждой группы – это зафиксированные в момент шлюзования смещения. На графиках зафиксированы смещения относительно нулевого цикла наблюдений, направленные перпендикулярно оси шлюза (белый цвет) и вдоль оси шлюза (голубой).

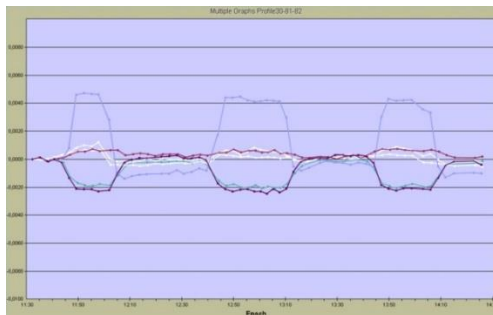


Рис. 4. Графики перемещений контрольных точек на шлюзе № 30:



- смещение точки 30–81 перпендикулярно оси шлюза;
- смещение точки 30–82 перпендикулярно оси шлюза;
- смещение точки 30–81 вдоль оси шлюза;
- смещение точки 30–82 вдоль оси шлюза;
- смещение точки 30–81 по высоте;
- смещение точки 30–81 по высоте

Из рис. 5 видно, что колебания величины смещения точки 30–82 за весь период наблюдений лежат в диапазоне плюс-минус 2 мм, а возвратные деформации при шлюзовании не превышают 5 мм (с учетом того, что все замеры выполнялись днем при средней температуре около плюс 35 градусов Цельсия).

Оценка влияние внешних условий на точность измерения показала существенное зависимость показаний от удалённости контрольной точки от прибора и наличия солнечной рефракции (наблюдения выполнялись в солнечную погоду при сильной рефракции). Однако значение вычисленного относительного расстояния между контрольными точками менее подвержено такому влиянию, расстояние между стенками определяется более надежно, чем собственно координаты контрольных точек, по которым оно вычислено, при одинаковых внешних условиях наблюдений. Среднее изменение расстояния на секциях шлюза № 30 при наполнении и опорожнении составило 4,2 мм.

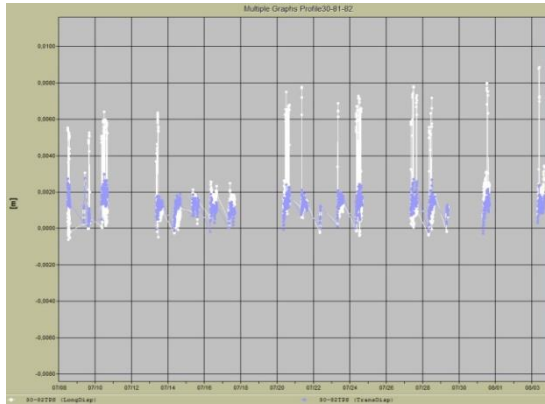


Рис. 5. Графики перемещения контрольной точки 30–82

Измерения тахеометром, установленным в створе измеряемой линии, были проведены для цикла наполнения и опорожнения камеры шлюза, данные представлены на рис. 6. Среднее изменение горизонтального положения между призмами на противоположных стенках шлюза в момент шлюзования составило 4,3 мм.

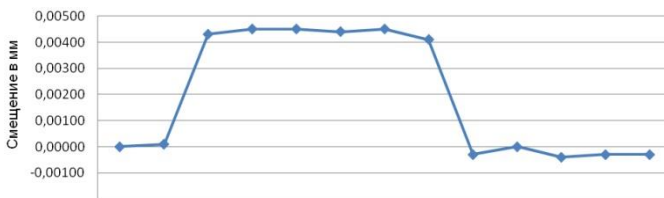


Рис. 6. Линейные измерения в створе восьмой секции шлюза № 30

Выполненная работа подтвердила, что система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений стен камер шлюзов, основанная на использовании высокоточных тахеометров-автоматов, позволяет фиксировать относительные пространственные перемещения контрольных точек с точностью 1 мм и меньше. Для обеспечения точности измерений в течение длительного периода наблюдений необходимо обеспечивать периодическое переопределение координат тахеометра, что подразумевает организацию стабильной опорной геодезической сети.

Изменения трехмерного положения контрольных точек в моменты шлюзования при помощи высокоточного электронного тахеометра определяются достаточно надежно. Опытным путем для конкретных условий проведения эксперимента и расположения оборудования установлено, что наилучшие результаты получены при удалении контрольных точек от тахеометра не более 170–180 м. Максимальное удаление от тахеометра контрольных точек составило 260 м., оценка трехмерных смещений в этом случае оказалась затруднена из-за сильных искажений результатов измерений вертикальной и горизонтальной рефракцией. Но относительное расстояние между парой контрольных точек определялось достаточно хорошо и совпадало с результатами, полученными при ручных измерениях. Система надежно фиксировала горизонтальные перемещения в моменты шлюзования в пределах 4–5 мм, высотные перемещения составили 2 мм.

Результаты эксперимента оценивались по сводным таблицам значений результатов за определенный период и построенным по ним графикам. Такая «визуальная» оценка результатов оказалась серьезно затруднена сложностью происходящих при работе шлюза процессов и влиянием их друг на друга. Например, «всплески», показывающие смещения на графиках в моменты шлюзования, затрудняют оценку процесса в целом. Поэтому при долгосрочном (постоянном) использовании тахеометра в системе мониторинга состояния гидротехнических сооружений целесообразна разработка методики оценки результатов, внесение ее в базу данных и использование в дальнейшем. При этом измерения могут выполняться как в автоматическом режиме при стационарной (долгосрочной) установке оборудования, так и в режиме временной установки оборудования на заранее подготовленные места, а также в «ручном режиме», устанавливая тахеометр-автомат в створе измеряемой линии. Метод измерения расстояний между стенками шлюзов, когда тахеометр устанавливается в створе измеряемой линии, хотя и не дает общего представления о деформациях всего объекта в целом, но вполне может заменить устаревшие способы с применением инварных проволок.

### **Литература**

1. Описание и характеристики электронного тахеометра Leica TM30 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gfk-leica.ru/files/catfiles/tps/TM30>.

## Повышение эффективности экскаватора-струга при очистке каналов под водой

Султанмурадов С., Ходжаев А. Дж., Курбансахедов К. А.  
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

*В статье дается общая характеристика очистки каналов от заиления и предложение очистки каналов с помощью модернизированного экскаватора-струга, предложенного на кафедре Туркменского государственного архитектурно-строительного института.*

При очистке каналов от заиления наряду с другим способом применяются одноковшовые экскаваторы, в частности, экскаваторы-струги. Их использование позволяет производить очистку каналов от заиления с высоким качеством. Однако при копании под водой вязкого с низкой водопроницаемостью грунта на малых глубинах экскаватором-стругом происходят нагрузки в технологическом процессе:

- 1) Затруднение движения стружки грунта по растущей кромке и днищу ковша;
- 2) Наполнение ковша грунтом составляет 0,3–0,4 от его емкости.

Такие нарушения снижают производительность экскаваторов-строгов на 35-40%, возрастают тяговые сопротивления при наборе.

На кафедре «Технологические машины и оборудование» Туркменского государственного архитектурно-строительного института разработана и испытана усовершенствованная конструкция ковша к экскаватору-струго для работы под водой (рис. 1).

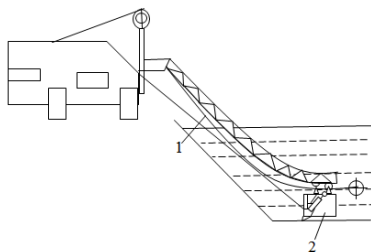


Рис.1. Рабочее оборудование экскаватора для очистки каналов от заиления под водой:  
1 – ковш; 2 – балка стрелы

Ковш (рис. 2) имеет режущую кромку, коллектор водяной смазки, водоподводящий рукав. Ковш перемещается вдоль балки стрелы при помощи роликов. Режущая кромка состоит из верхней и нижней частей. Под верхней частью имеется полость и щелевидные перегородки. Подача воды из водоподводящего рукава в полость осуществляется через коллектор при помощи привода механизма подачи воды на режущую кромку. Он состоит из цилиндра, поршня, штока, на свободном конце которого размещена кремальберная шестерня, и зубчатой рейки, закрепленной внизу направляющей балки стрелы. В местах выпуска и нагнетания воды установлены всасывающий и нагнетательный клапаны.

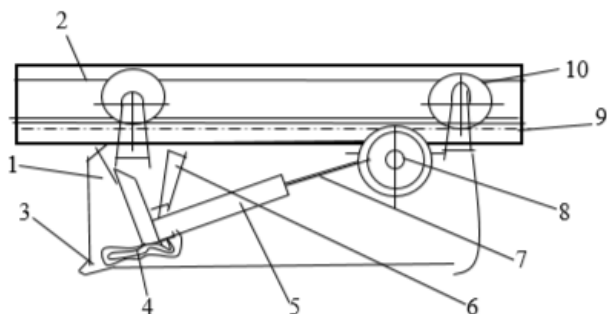


Рис. 2. Ковш для копания грунта под водой:

- 1 – ковш; 2 – балка стрелы; 3 – режущая кромка; 4 – коллектор водяной смазки;  
 5 – цилиндр с поршнем; 6 – водоподводящий рукав; 7 – шток;  
 8 – кремальберная шестерня; 9 – зубчатая рейка; 10 – ролики

Цилиндры могут быть установлены с обеих сторон ковша с возможностью работы в асинхронном режиме. Устройство работает следующим образом: при тяге ковша кремальберная шестерня, находясь в зацеплении с рейкой, вращается и приводит в движение шток и поршень. Когда поршень находится в крайнем правом положении, в рабочей камере образуется разрежение, всасывающий клапан открывается, и вода через водоподводящий рукав попадает в рабочую камеру цилиндра. При движении поршня в крайнее левое положение всасывающий клапан закрывается и открывается нагнетательный. Тогда вода по коллектору попадает в полость режущей крошки, а из полости поступает через щелевидные перегородки на режущую кромку ковша. Это приводит к смачиванию поверхности режущей кромки и стружки грунта. В таком режиме резания грунта связываются тяговые сопротивления и повышается коэффициент наполнения ковша грунтом. Применение усовершенствованного ковша к экскаватору при очистке каналов под водой вязкого с низкой проницаемостью грунта при

малых глубинах увеличивает производительность работ на 40% и более. Годовой экономический эффект от внедрения одного усовершенствованного ковша к экскаватору зависит от состояния заросшего канала и рассчитывается по стандартной методике.

### **Литература**

1. Машины для земляных работ / Под редакцией Н. Г. Гаркави. – М., 1982.
2. Строительные машины /Под редакцией Д. П. Волкова. –М.: Высшая школа., 1988.
3. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер. – М., 1973.
4. Гузенков П. Г. Деталей машин / П. Г. Гузенков. –М.: Высшая школа, 1986.

УДК626.862.7

### **Повышение эффективности системы охлаждения бульдозерных двигателей в аридной зоне**

Ходжаев А. Дж., Султанмурадов С., Тыллануров Ы. М.  
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

*В статье приводятся температурные данные по Туркменистану и связанные с этим проблемы охлаждения бульдозерных двигателей и предложения изменение потока охлаждающего воздуха, а также корректировка технических обслуживаний.*

Надежная работа двигателей землеройных машин в первую очередь зависит от условий эксплуатации.

Эксплуатация автотракторных двигателей в Туркменистане имеет свои особенности, из которых наиболее характерными являются:

1. Высокая температура, пониженная влажность окружающей среды.
2. Песчаная структура грунтов с большим содержанием мелкодисперсной пыли.
3. Некачественность воды в естественных и искусственных водоемах, наличие большого количества солей и механических примесей.

Температура воздуха в летние дни утром и вечером находится на уровне 25–30 °С, а в полдень доходит до 40–47 °С при относительной

влажности воздуха 5–10 %. Такие температуры всего лишь на 7° ниже максимальных на земном шаре.

При подобных условиях перепад температуры в радиаторе резко уменьшается, вследствие чего повышается температурный режим деталей двигателя.

Во время работы двигателя в рубашке охлаждения около наиболее нагретых поверхностей происходит образование пара, который переносится в верхний бачок радиатора, создавая там избыточное давление. Через пробку радиатора часть пара выходит в атмосферу, оставшаяся часть захватывается циркулирующим потоком воды и образуется газожидкостная смесь. Этот процесс называется аэрация воды.

Аэрация охлаждающей воды приводит к изменению ее теплофизических свойств, в частности к уменьшению коэффициента теплоотдачи. В результате этого эффективность теплоотдачи радиатора снижается, а температурный режим системы охлаждения повышается.

Усиленное испарение охлаждающей воды из системы приводит к уменьшению количества теплоносителя и в свою очередь к повышению температурного режима деталей.

Эксплуатация двигателей затрудняется также тем, что в летние месяцы очень велико количество мелкодисперсной пыли, находящейся в воздухе во взвешенном состоянии. Такое условие характерно для эксплуатации землеройных машин, особенно бульдозеров, т. к. при разработке такыров, солончаков и т.п., рабочие органы и гусеничные движители машин разбивают пересушенный верхний слой почвы в мелкую пыль.

В дальнейшем пыль, находящаяся перед двигателем, засасывается вентилятором и оседает на ячейках радиатора и на двигателе, особенно при наличии подтекания охлаждающей жидкости, топлива и масла. При засыхании в этих местах образуется плотная корка, ухудшающая теплоотдачу от нагретых деталей и радиатора в окружающую среду.

Большой вред двигателю причиняет отложение накипи в системе охлаждения. Вода, применяемая в качестве охлаждающей жидкости, содержит примеси. Примеси эти могут быть растворимыми в виде различных солей, газов (кислород и углекислый газ) и других веществ, а также в виде нерастворимых твердых частиц, взмученных в воде. Количество примесей в водоемах Ашхабадского района достигает значительной величины.

Накипь, образующаяся при нагревании воды, откладывается не только в виде слоя на стенках рубашки охлаждения и радиатора, но также находится в воде во взвешенных состояниях в виде шлама.

Низкая теплопроводность накипи резко изменяет тепловой режим двигателя. При слое накипи толщиной 1 мм температура стенок цилиндра выше, чем при отсутствии накипи на 100–200 °С.

Повышение теплового режима работы двигателя из-за ухудшения отвода тепла при наличии накипи приводит к снижению мощности двигателя до 7 % при повышенном расходе топлива на 9 % (при слое накипи 0,5–0,6 мм). При увеличении толщины слоя накипи до 1,2 мм перерасход топлива достигает 18–19 %, при снижении мощности до 12–13 %.

Из вышеизложенного следует, что основными факторами, снижающими надежность, долговечность и экономичность работы двигателя являются перегрев двигателя из-за недостаточно эффективной работы системы охлаждения.

Наиболее сильное влияние на работу системы охлаждения оказывают образование накипи в системе и загрязнение ячеек радиатора.

Наиболее распространенным средством повышения эффективности работы системы жидкостного охлаждения двигателей следует считать применение всесезонной охлаждающей жидкости (антифриза). Такая жидкость, применяемая в герметически закрытой системе охлаждения, позволяет намного продлить срок службы деталей и узлов системы и снизить затраты на проведение ремонта и обслуживания отдельных деталей и узлов.

Антифриз, как известно, не замерзает при температурах до 40°, имеет высокую температуру кипения, не образует накипи, не вызывает повышенной коррозии деталей.

Однако, исследования произведенные Г. А. Амановым на дизельном и на бензиновом двигателе показали, что в связи с тем, что антифриз обладает теплопроводностью меньшей чем вода, отвод тепла от наиболее нагретых деталей ухудшается. Поэтому необходимо вносить изменения в существующую конструкцию системы охлаждения.

Бульдозеры, двигатели которых обычно имеют радиаторные вентиляторы всасывающего типа (подающие воздух через радиатор в сторону двигателя), обычно работают при повышенной запыленности воздуха, достигающей 1,4+12,6 г/м<sup>2</sup> и попадании транспортируемого грунта в радиатор.

Научный и практический интерес представляет исследование влияния радиаторного вентилятора выталкивающего типа на эффективность системы жидкостного охлаждения и показатели работы двигателей, устанавливаемых на бульдозерах. Оно показало, что также является эффективным методом снижения температуры топлива в головке топливного насоса и в топливных фильтрах, уменьшения температуры воздуха во всасывающем тракте двигателя и под его капотом является использование в системе охлаждения радиаторного вентилятора выталкивающего типа, наклон лопастей которого обеспечивает направление потока воздуха от двигателя к радиатору.



Эффективность использования в системе жидкостного охлаждения двигателя бульдозера радиаторного вентилятора выталкивающего типа может быть оценена энергетическими и экономическими показателями двигателя, а также критерием Т.В.Т.К. и количеством тепла, отводимым радиатором в окружающий воздух.

Радиаторный вентилятор выталкивающего типа системы жидкостного охлаждения может быть установлен на двигателе бульдозера за радиатором или перед радиатором.

Использование радиаторного вентилятора выталкивающего типа на двигателе бульдозера позволит уменьшить падение мощности двигателя при повышенных температурах окружающего воздуха, а также исключить возможность засорения сердцевины радиатора транспортируемым грунтом и пылью. Следовательно, при этом будут устранены причины, снижающие эксплуатационную надежность системы жидкостного охлаждения двигателя бульдозера.

При установке на двигателе бульдозера радиаторного вентилятора выталкивающего типа также улучшаются условия работы водителя вследствие отсоса от кабины нагретого воздуха.

Сравнительные исследования стандартного и опытного (выталкивающего) радиаторных вентиляторов были выполнены в четырех скоростных режимах в диапазоне 1250–1950 об/мин и показали, что в условиях Туркменистана при максимальной температуре окружающего воздуха +45 °С система охлаждения двигателя с выталкивающим вентилятором обладает достаточной тепловой эффективностью и значительно большей эксплуатационной надежностью.

### Литература

1. Козловский, М. Т. Дизельные двигатели ЯМЗ / М. Т. Козловский. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Касандрова, О. Н. Обработка результатов наблюдений / О. Н. Касандрова, В. В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 140 с.
3. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

## Определение оптимального схмотехнического решения системы завоздушивания микроГЭС сифонного типа

Шейкин М. О., Дружинин А. А.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Москва, Российская Федерация

*В работе рассматривается применение вакуумного клапана для завоздушивания сифонного водовода при остановке гидроагрегата. Описывается схема водовода и основные требования к системе завоздушивания. Представлены две конструкции клапана - с пневмо- и электроприводом. Проведен анализ энергопотребления электроклапана на основе математической модели. Численные расчеты показали, что клапан с пневмоприводом потребляет существенно меньше энергии. Сделан вывод о целесообразности использования клапана с пневмоприводом в системе завоздушивания.*

Вакуумный клапан завоздушивания сифонного водовода главным образом предназначен для впуска воздуха в проточную часть гидроагрегата, выполненной в виде сифона с целью нарушения сплошности потока и опорожнения водовода. Использование данного клапана предполагается в случаях необходимости останова агрегата в штатном и/или аварийном режиме. Схема сифона представлена на рис. 1.

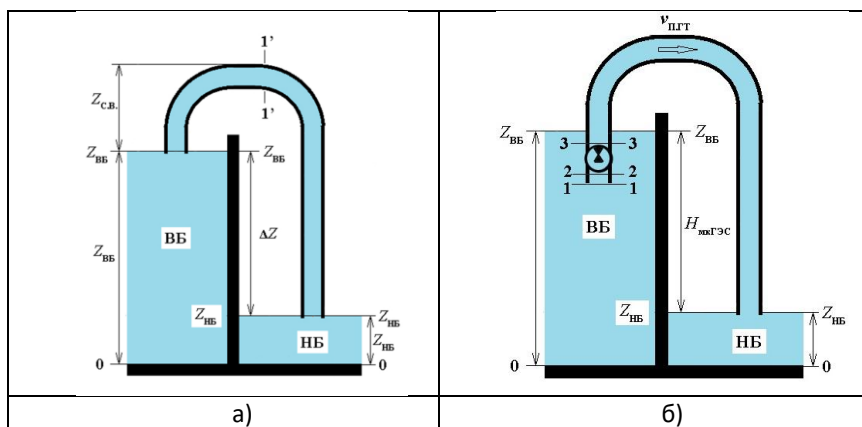


Рис. 1. Схема сифонного водовода

Местом расположения клапана завоздушивания является сечение 1'–1', поскольку именно в данном сечении давление в водоводе данной формы является минимальным, что сопутствует более динамичному процессу впуска воздуха в водовод и последующему нарушению сплошности потока.

Такая схема расположения гидроагрегата выбрана согласно анализу по критерию кавитационного анализа [1].

Поскольку завоздушивание является основным методом останова агрегата, то к такой системе был предъявлен ряд требований:

- 1) система завоздушивания должна быть надежной и простой в
- 2) исполнении;
- 3) необходимо наличие автономного источника питания в случаях
- 4) отсутствия электропитания в сети;
- 5) необходимо наличие дублированного, ручного метода
- 6) завоздушивания водовода;
- 7) малое потребление электроэнергии системы.

Общая пневматическая схема системы завоздушивания представлена на рис. 2.

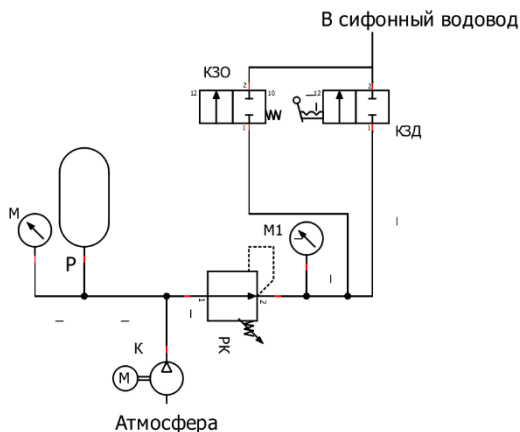


Рис. 2. Пневматическая схема пневмопривода развоздушивания

На рис. 2: К – компрессор; Р – ресивер; М – манометр ресивера; РК – клапан редукционный; М1 – манометр редукционного клапана; КЗО – клапан завоздушивания основной; КЗД – клапан завоздушивания дублирующий.

Работа данной системы основана на следующем принципе: для остановки агрегата оператор переключает клапан завоздушивания КЗО, подключенный к линии высокого давления. При открытии КЗО воздух под давлением поступает в сифонный водовод, что нарушает равномерность потока. Регулирующий клапан (РК) используется для установки оптимального давления воздуха, необходимого для быстрого завоздушивания водовода. В случае невозможности открытия КЗО удаленно, оператор вручную открывает клапан КЗД, через который в систему поступает воздух с давлением из ресивера Р.

Клапан КЗО может быть реализован с различным исполнением приводной части. Возможны 2 типовых исполнения, стандартно использующихся в трубопроводной арматуре:

- а) использование пневмопривода клапана;
- б) использование электропривода клапана.

В данной работе рассматривается исполнение на основе отсечного клапана с электроприводом, поскольку они имеют самую простую конструкцию, в связи с чем, у данных типов приводов самый высокий ресурс. Для данного исполнения, пневматическая схема клапана с электроуправлением в составе системы завоздушивания представлена на рис. 3.

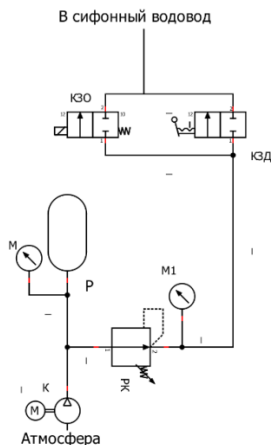


Рис. 3. Пневматическая схема системы завоздушивания с электроприводом:

К – компрессор; Р – ресивер; М – манометр ресивера; РК – клапан редуцирующий; М1 – манометр редуцирующего клапана; КЗО – клапан завоздушивания основной; КЗД – клапана завоздушивания дублирующий

Однако, такие приводы, как правило, потребляют большое количество электроэнергии, если необходимо преодолеть большое усилие при смещении. В связи с этим имеет смысл провести анализ энергопотребления.

Для анализа энергопотребления была составлена упрощенная математическая модель соленоида, не включающая в себя электрические преобразователи тока, которые будут установлены в сети. На рис. 4 представлена функциональная блок-схема математической модели, выполненная в математическом пакете Matlab.

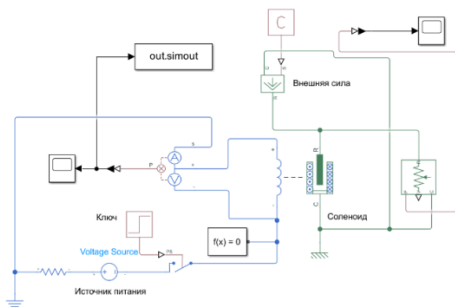


Рис. 4. Математическая модель соленоида

В качестве моделирования соленоида, стоящего в схеме с электроприводом, выбран клапан КВМ-63. Для данного клапана в табл. 1 представлены основные исходные данные моделирования.

Таблица 1

Данные для численного расчета

Напряжение, В	
Максимальный ток потребления, А	
Усилие на якоре, Н	
Коэффициент жесткости пружины, Н/м	
Масса якоря, кг	

В результате численного расчета в течении 11 с, где на 1 с происходит включение, получаем график потребления питания представленные на рис. 4.

Интегрируя численными методами кривую потребления получаем суммарную активную мощность потребления в 70,56 Вт. Однако надо сделать замечание, что основное потребление приходит на пиковое значение при переходном процессе, равное 62 Вт, длящегося порядка 100–200 мс, а на удержание уходит 6,5 Вт. Причиной малого значения потребления при

удержании является питание от источника переменного напряжения (рис. 5).

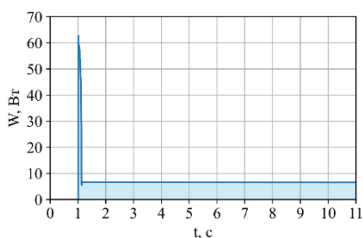


Рис. 5. График потребления питания электроклапана

Для распределителя, стоящего в схеме с клапаном с пневматическим приводом в качестве аналога выбран распределитель ХСРС ХС24635 питающийся от 24 В постоянного напряжения. Для данного клапана в табл. 2 представлены основные исходные данные моделирования.

Таблица 2

Данные для численного расчета

Напряжение, В	
Максимальный ток потребления, А	
Усилие на якоре, Н	
Коэффициент жесткости пружины, Н/м	
Масса якоря, кг	

В результате численного расчета, получаем график потребления питания, представленный на рис. 6.

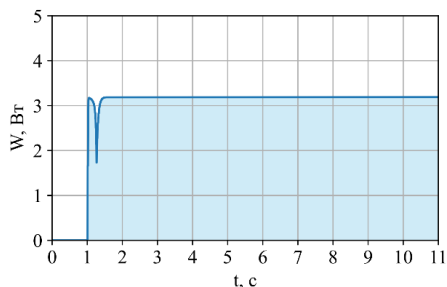


Рис. 6. график потребления питания соленоида распределителя

Интегрируя численными методами кривую потребления получаем суммарную мощность потребления в 31,72 Вт.

### **Вывод**

Проведенное исследование показало, что для реализации системы завоздушивания сифонного водовода в случае остановки гидроагрегата наиболее рациональным решением является применение клапана с пневмоприводом. Данный тип привода обеспечивает более низкое энергопотребление по сравнению с электроприводом, что особенно важно при работе системы в аварийных ситуациях при возможном отсутствии внешнего электропитания. Кроме того, пневматические приводы, как правило, имеют более простую конструкцию и, соответственно, более высокую надежность. Таким образом, использование клапана с пневмоприводом позволяет создать эффективную и надежную систему завоздушивания сифонного водовода, удовлетворяющую всем предъявляемым к ней требованиям.

### **Благодарность**

Материалы, вошедшие в данный доклад, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение №075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

### **Литература**

Топаж Г. И. Лопастные гидромашины и гидродинамические передачи. Основы рабочего процесса и расчета гидротурбин: учеб. пособие / Г. И. Топаж. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 154 с.

УДК 626.862

### **Основные виды и причины повреждений элементов закрытых осушительных систем**

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Изложены основные виды и причины повреждений элементов закрытых осушительных систем. Показана важность своевременного выявления и устранения замеченных неисправностей.*

Долговечность и работоспособность закрытой осушительной сети в большой степени зависит от своевременного выявления причин повреждений основных элементов закрытой осушительной системы (дрен-осушителей, закрытых коллекторов, закрытых собирателей, ловчих дрен, открытых каналов, принимающих воду из закрытой сети, и сооружений на закрытой осушительной сети (смотровые колодцы, колодцы-поглотители и др.) и каналов) и принятия мероприятий по их устранению.

*Деформация закрытого дренажа и устьев может быть обусловлена:*

а) физическими и биологическими процессами, происходящими в грунтах после отвода избыточной воды: осадкой торфа, просадкой минерального грунта в траншеях, оползнями, обрушениями откосов каналов и др.;

б) воздействием природных факторов (промерзание и пучение грунта, размывы, зарастание корнями растений полостей коллекторов и дрен и др.).

Возможные дефекты дренажных сооружений приведены на рис. 1.

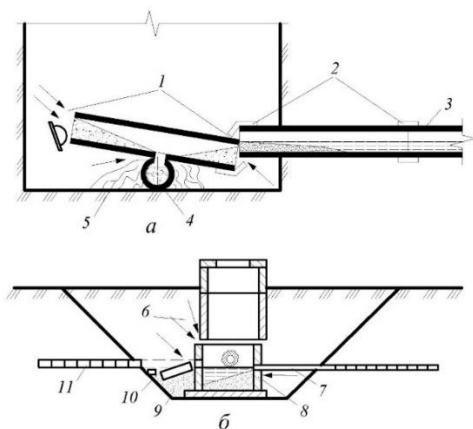


Рис. 1. Возможные дефекты дренажных сооружений:

*а* – при соединении дрен с коллектором; *б* – при устройстве колодца;

1 – поступление грунта в дренажные трубы; 2 – защитный фильтрующий материал;

3 – дренажная труба; 4 – труба коллектора; 5 – просадка грунта дренажной

засыпки; 6 – поступление грунта в колодец; 7 – сопрягающие (асбестоцементные)

трубы; 8 – некачественная заделка зазоров; 9 – просадка грунта обратной засыпки;

10 – смещение асбестоцементной трубы; 11 – гончарные трубы коллектора

**Основными видами и причинами повреждений закрытого дренажа, приводящих (при их несвоевременном устранении) к выходу его из строя, являются:**

1) закупорка (механическое заиливание) сечения коллекторов и дрен частицами грунта вследствие а) превышения допустимых размеров зазоров



между стыками керамических трубок (1–2 мм) или водоприемных отверстий пластмассовых дрен; б) недостаточного уклона коллекторов и дрен, т. е. при малой транспортирующей скорости дренажного стока или наличия обратных уклонов дренажных линий, вызывающих застой воды и отложение наносов; в) несоответствия качества и свойств защитно-фильтрующих материалов грунтовым и гидрогеологическим условиям и конструкции труб; г) некачественного соединения дрен с закрытыми коллекторами, закрытых коллекторов с устьями и колодцами, в результате которых возможны просадки и смещения дренажных труб и проникновение грунта в полость дрен; д) ненадлежащей защиты стыков дренажных труб фильтрующими материалами, особенно проложенных в мелкозернистых, пылеватых и илистых грунтах, где необходима круговая защита труб; е) смещения и просадки отдельных керамических трубок из-за низкого качества строительства или неравномерной осадки грунта по длине дрен (особенно на торфяных почвах); ж) отсутствия своевременного ухода за каналами, устьями, колодцами и др.;

2) закупорка сечения коллекторов и дрен, защитных фильтрующих материалов и водоприемных отверстий дренажных труб отложениями в результате химических и биохимических процессов – химическое (биохимическое) заиливание или заохривание – при содержании в грунтовой воде соединений закисного железа ( $Fe^{2+}$ ) более 5 мг/л, реже – соединениями Са, Мп, Mg, особенно в местах обратных уклонов дренажных линий или уклонах менее 0,005, при наличии в трубах ила и корней растений. Наиболее интенсивно отлагаются железистые соединения в устьевой части дренажных линий;

3) закупорка (зарастание) устьевой части коллекторов, коллекторов и дрен корнями растений (через зазоры в стыках трубок при расположении деревьев ближе 10–20 м от коллекторов и дрен), мелкими животными (мыши, лягушки); наиболее часто проникают в дрены корни ивы, реже корни ольхи, осины, тополя, березы и других деревьев (рис. 2), из сорных травяных растений – корни хвоща полевого, осота и щавеля конского, и из сельскохозяйственных культур – корни кукурузы, клевера и др.;

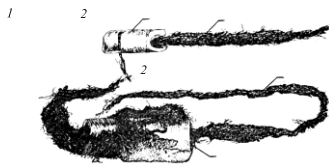


Рис. 2. Проникновение корней растений в дрены:  
1 – дренажная труба; 2 – корни

4) сдвиг и разрушение коллекторов и дрен в процессе строительства при засыпке траншей грунтом, содержащим камни и крупные древесные остатки;

5) деформация (сплющивание) пластмассовых коллекторов и дрен при недостаточной прочности материала труб, а также от воздействия тяжелой сельскохозяйственной и иной техники;

6) дефекты муфт и переходников пластмассовых дренажных линий;

7) недоброкачественная укладка, плохое качество труб, их поломки;

8) несвоевременная или недостаточная присыпка растительным грунтом и засыпка мешаным грунтом дренажных траншей, что приводит к обвалам грунта, расстраивающим дренажные линии;

9) укладка труб на слабое основание, из-за чего деформируется дренажная линия в высотном положении;

10) нарушение сопряжений устьев, коллекторов и дрен;

11) некачественная заделка торцов концевых труб;

12) уменьшение глубины дрен и каналов от осадки торфа;

13) пучение грунта при замерзании и оттаивании;

14) разрушение керамических дренажных труб при замерзании в них воды;

15) выход из строя дренажных линий может быть обусловлен подпором высокими уровнями воды в примыкающих каналах, например, из-за несвоевременной очистки их от наносов, влаголюбивой растительности, кустарника и посторонних предметов или в результате неправильного гидравлического расчета параметров канала;

16) повреждение устьев в связи с размывом откосов каналов, деформацией под воздействием промерзания и оттаивания грунта, при ремонте каналов и водоприемников, в которые они впущены;

17) повреждения устьев и самих коллекторов из-за несогласованности трассы коллекторов (обычно их согласовывают) с местными понижениями, по которым происходит интенсивный сосредоточенный сток поверхностных вод. Если в этих местах укрепленные водосбросные воронки не устроены, то поверхностные воды размывают рыхлый грунт засыпки почти до основания устьевой трубы. В этом случае размыв распространяется выше по коллектору, и разрушается не только устье, но и сам коллектор;

18) оползание дренажных устьев в канал из-за обрушения откоса, осадки устьев, поломки устьевых труб или нарушения сопряжения устья с дренажной линией; одной из причин оползания является устройство устьевого оголовка без надлежащей подготовки основания, что способствует его подмыву и разрушению устья;

19) использование при строительстве коротких устьевых труб, что приводит к замерзанию и разрушению коллекторных трубок и их смещению;

20) некачественное соединение дренажной линии с устьевой трубой ведет к обходу последней дренажными водами и, в конечном итоге, к разрушению устья;

21) повреждения дрен и коллекторов возможно при устройстве линий связи и энергоснабжения из-за несогласованности места их прокладки с предприятиями мелиоративных систем или землепользователями;

22) промоины, провалы и просадка засыпки над дренажными линиями, особенно около устьев, смотровых колодцев и в местах пересечения дрен с ликвидируемыми старыми каналами (вследствие выноса грунта через щели между трубами, повреждения в местах соединения коллекторов со стенками колодцев, а также при слабых грунтах в основании); для предупреждения просадки дрены укладывают на прокладки, укрепляют основания шлаком, щебнем или гравием, используют при прохождении таких участков длинномерные трубы;

23) продавливание и выпаживание дренажных трубок сельскохозяйственными машинами при мелкой закладке дренажа в местных понижениях и западинах; в местах пересечения дренажных линий с дорогами во избежание деформаций этих линий следует прокладывать асбестоцементные трубы или пропускать дренажные линии внутри специально уложенных под дорогой труб;

24) отсутствие надлежащего ухода за смотровыми колодцами (если нет крышек, то в дренажные линии попадают лягушки, кроты и другие мелкие животные, которые закупоривают внутреннюю полость трубы, а зимой колодцы заполняются снегом, и в коллекторах образуются снежно-ледяные пробки; несвоевременная очистка колодцев от ила и наносов ведет к заилению коллекторов; при смещении железобетонных колец колодцев происходит заплывание колодца и полости закрытого коллектора грунтом; колодцы могут повреждаться также при неосторожной вспашке). Поэтому необходимо своевременно их чистить и поддерживать в исправном состоянии.

Заиление труб чаще всего наблюдается в минеральных мелкозернистых и пылеватых грунтах, реже – в связных суглинистых и глинистых грунтах. Большое влияние на интенсивность заиления дрен оказывают подпор воды со стороны водоприемника и качество укладки дренажа. При неправильной планировке дна траншей во время строительства на коллекторах и дренах образуются местные понижения, которые являются своеобразными отстойниками, где и осаживается ил.

В результате повреждений дренажных систем ухудшается водный режим на осушаемой площади, что ведет к значительному снижению продуктивности мелиорированных земель вплоть до выбытия из сельскохозяйственного использования.

Обслуживающий персонал в процессе надзора и ухода за дренажными системами обязан выявлять и своевременно устранять замеченные неисправности.

УДК 627.824

### **Динамика развития прорана при размыве грунтовых плотин переливом**

Богославчик П. М.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Рассмотрен вопрос о расчете размыва плотины при переливе воды через гребень. Сделан вывод о несовершенстве существующих методов. Предлагается компромиссный вариант, заключающийся в использовании взгляда является использование теории размыва грунтовых вставок с эмпирическими зависимостями по определению ширины прорана.*

При переливе воды через гребень грунтовой плотины происходит её разрушение. Это происходит достаточно быстро, но не мгновенно. Существуют эмпирические формулы по определению окончательных размеров прорана и скорости его развития. В частности, международной комиссией по большим плотинам (SIGB) были рекомендованы формулы для определения максимальной ширины прорана  $B$  (м) и времени его развития  $T$  (ч) [1]:

$$B = 0,66k_0(V_W H_W)^{0,25}, \quad (1)$$

$$T = 0,0071V_W^{0,47} H_W^{-0,9}, \quad (2)$$

где  $V_W$  – объём излива ( $\text{м}^3$ );  $H_W$  – начальное превышение отметки верхнего бьефа над конечным положением дна прорана (м);  $k_0$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при образовании прорана за счёт перелива через гребень плотины.

Но в ряде случаев такого расчёта бывает недостаточно. В частности, при расчёте параметров волны прорыва в нижнем бьефе необходимо иметь динамику образования и развития прорана. Это сложный процесс, зависящий от ряда факторов. Наиболее полно этот процесс исследован применительно к размываемым вставкам резервных водосбросов. В качестве примера ниже приведены формулы, полученные ранее на основании экспериментальных исследований размыва вставок из песчаных грунтов [2].

$$\frac{dM}{dt} = 0,055 \frac{m^{1,45} i^{1,275} (2g)^{0,725}}{n^{2,55}} (z - y)^{2,175} \quad (3)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F(z)} \quad (4)$$

$$Q = \sigma m b \sqrt{2g} (z - y)^{1,5} \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{Bm^{0,43} \varepsilon_1}{\rho_1} (z - y)^{0,6} \quad (6)$$

где  $M$  – масса размываемого грунта низовой упорной призмы, кг;  $t$  – время, с;  $m$  – коэффициент расхода размываемого водослива, на первой стадии (формула (3)) определяется как для водослива с широким порогом, на второй (формула (6)) – как для водослива практического профиля;  $i$  – уклон дна по низовому откосу;  $n$  – коэффициент шероховатости, рекомендуется определять по формуле В.Н. Гончарова, а именно  $n = 0,0324d^{0,125}$  [3];  $z$  – уровень верхнего бьефа, м;  $y$  – отметка гребня размываемой плотины, м, (для первой стадии размыва  $y = y_1 = const$ );  $y_1$  – отметка гребня плотины, м;  $Q_0$  – расход воды в верхнем бьефе, м<sup>3</sup>/с;  $F(z)$  – площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке  $z$ , м<sup>2</sup>.  $Q$  – расход воды через размываемую вставку, м<sup>3</sup>/с;  $\sigma$  – коэффициент подтопления;  $\rho_0$  – плотность грунта тела плотины, кг/м<sup>3</sup>;  $d$  – средний диаметр частиц размываемого грунта, м;  $\varphi$  – параметр турбулентности (отношение расчетной скорости падения частицы в воде к ее действительной гидравлической крупности), в соответствии с рекомендациями [4] для мелкозернистых песков принимается равным 2,25;  $\beta$  – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,5 – 2,0.

Особенности расчёта по формулам (3) – (6) следующие. Во-первых, рассматривается быстрое повышение уровня верхнего бьефа, что предполагает начало размыва одновременно по всей ширине. Во-вторых, ширина прорана является величиной известной.

При расчёте размыва грунтовой плотины физическая картина иная. Размыв начинается в какой-то точке при  $B = 0$ . На гребне и низовом откосе образуется проран, который в процессе размыва увеличивается в глубину и ширину. Качественная картина размыва в глубину примерно такая же, как при размыве грунтовых вставок.

Кроме приведенных выше существует ряд других предложений по определению ширины прорана в процессе размыва. Выделим следующие, наиболее на наш взгляд интересные.

В работе Херхеулидзе И.И. и др. [5] приведены результаты исследований размыва завальных плотин на горных реках. Авторами предложены следующие зависимости

$$\frac{dy}{dt} = 0,47 \frac{h^{1/2}}{d^{1/6}}, \quad (7)$$

$$\frac{dB}{dt} = 0,0115 \frac{h^{0,47}}{d}, \quad (8)$$

где  $y$  – отметка гребня плотины, м;  $t$  – время в минутах;  $B$  – ширина прорана, м;  $h$  – глубина потока над гребнем, м;  $d$  – средний диаметр частиц размываемого грунта, м.

А. М. Прудовским получена следующая зависимость [6], подтвержденная результатами многих экспериментов:

$$\frac{dB}{dt} = K_p \frac{h^{2,5}}{\Omega}. \quad (9)$$

Здесь  $B(t)$  – ширина прорана, м в момент времени  $t$ , с;  $\Omega$  – площадь поперечного сечения плотины, м;  $h(t)$  – разность уровня воды в верхнем бьефе и отметки основания плотины, м. Коэффициент интенсивности размыва  $K_p$  зависит от свойств материала тела плотины. Для песчаных грунтов он близок к  $0,07 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$ .

В работе Пономарчук К. Р. [7] по итогам гидравлического моделирования были построены графики изменения во времени ширины прорана  $B = B(t)$ , на основании которых была выведена эмпирическая формула развития ширины прорана  $B$  от времени  $t$ :

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{g^{1/2} \cdot h_t^{3/2}}{W_{\text{уд}}^2}, \quad (10)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $W_{\text{уд}}$  – площадь поперечного сечения плотины между её гребнем и дном прорана, м<sup>2</sup>;  $h_t$  – разность уровней воды между верхним бьефом и дном прорана, м.

Сложно говорить о высокой достоверности этих формул, т.к. для их получения использовано недостаточное количество натурных наблюдений. Кроме того, имеется очень слабая связь их с картиной размыва в глубину.

Развитие прорана в ширину происходит путем периодического обрушения его откосов. Количественная оценка этого процесса затруднена, в силу его стохастичности. При этом точность расчета деформаций по вертикали по формулам (3) и (6) также существенно снижается, так как обрушение откосов прорана резко меняет мутность потока и соответственно его транспортирующую способность. В настоящее время нет достаточно обоснованных гипотез для разработки практически применимых более-менее достоверных методов расчёта данного явления. Верификация указанных выше зависимостей весьма сложна в силу того, что нет возможности достаточно точно опереться на экспериментальный материал. Наиболее компромиссным вариантом в настоящее время на наш взгляд является использование теории размыва грунтовых вставок с эмпирическими зависимостями по определению ширины прорана. В качестве последней наиболее удобной является формула (10), которая хорошо вписывается в предложенную математическую модель размыва (формулы (3) – (6)).

### Литература

1. Dam-Break Flood Analysis. ICOLD. Committee in hydraulics for dams. Bulletin 111. 1998.
2. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018, – №4. – С. 292–296.
3. Богославчик, П. М. К определению коэффициента шероховатости при расчете размыва грунтовых вставок / П. М. Богославчик // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республиканский межведомственный сборник. – Минск, Вышэйш. шк., 1989. Вып.18. – С. 74 – 76.
4. Гончаров, В. Л. Динамика русловых потоков / В. Л. Гончаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1962, 373 с.
5. Херхеулидзе, И.И. Эмпирические зависимости для расчета элементов прорыва завальных плотин / И. И. Херхеулидзе, В. И. Виноградова, Н. В. Рухадзе / Труды Закавказского НМГИ. – 1972. – вып. 40(46). – С. 131– 206.
6. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений. – 1998. – № 2. – С. 67–69.
7. Пономарчук К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины // Природообустройство. – 2011. – № 3. – С. 77–82.

**Применение резервных водосбросов для пропуска  
паводковых расходов**

Богославчик П. М., Евдокимов В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Предложены и проанализированы возможные варианты включения в напорный фронт гидроузла резервного водосброса с размываемой вставкой. Показано, что применение такого водосброса может снизить стоимость водосбросного фронта, позволит уменьшить опасность перелива воды через гребень и возникновения аварийной ситуации в случае большого катастрофического расхода. Предложена схема секционирования резервного водосброса по ширине с целью ограничить размыв всей вставки при небольшом превышении паводкового расхода над расчётным.*

При проектировании резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой открытым остаётся вопрос о том, на какую пропускную способность следует его предусматривать. Такой водосброс будет эффективным, если не будет включаться в работу слишком часто, так как затраты по его восстановлению в таком случае существенно увеличивают эксплуатационные издержки. Вопрос о том, какими должны быть размеры водопропускного отверстия резервного водосброса остаётся открытым. Здесь возможны два варианта применения такого водосброса.

По первому варианту резервный водосброс обеспечивает совместно с основным пропуск расчётного нормативного расхода, которым в данном случае является поверочный расход расчётной обеспеченности, пропускаемый при уровне верхнего бьефа равном ФПУ [1]. Общая пропускная способность водосбросного фронта гидроузла по этому варианту не увеличивается и равна расчётному максимальному расходу. Наличие резервного водосброса позволяет пойти на уменьшение пропускной способности основного водосброса, что может существенно снизить единовременные затраты на строительство гидроузла [2]. Это возможно по той причине, что резервный водосброс должен рассматриваться как сооружение временное, которое включается в работу достаточно редко, только в аварийной ситуации при больших расходах и играет роль предохранительной вставки. Поэтому затраты на его возведение могут быть минимальны. Как указывалось ранее [3], удельные единовременные затраты на строительство водосброса с размываемой вставкой в 5–10 раз меньше, чем для водосбросов традиционных конструкций. Однако при каждом срабатывании резервного



водосброса требуются затраты на его восстановление. При увеличении частоты его срабатывания эти затраты значительно увеличиваются. Эта частота зависит от соотношения пропускных способностей основного и резервного водосбросов, сумма которых равна расчетному паводковому расходу. Оптимальное соотношение определяется на основании анализа приведенных затрат по этим двум сооружениям для различных вариантов, определяемых по формуле:

$$З = \Pi + E_n K_0,$$

где  $З$  – приведенные затраты;  $\Pi$  – текущие (эксплуатационные) затраты;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $K_0$  – капиталовложения. На рис.1 представлен график оптимизации пропускной способности основного и резервного водосбросов, позволяющий установить их оптимальное соотношение.

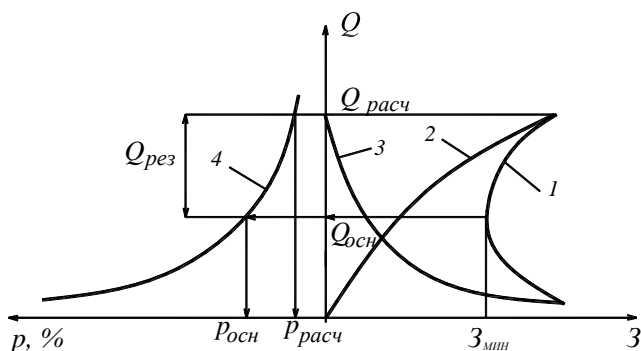


Рис. 1. График оптимизации основного и резервного водосбросов:  
 1 – суммарные затраты; 2 – затраты по основному водосбросу;  
 3 – то же по резервному; 4 – кривая обеспеченностей максимальных расходов.

Кроме этого следует отметить, что антропогенные факторы за последние десятилетия изменила гидрологические данные, определяемые на основании длинных рядов наблюдений. Иногда возникает проблема достоверности величины расчетного максимального расхода. Нередки случаи, когда водосброс за весь срок службы гидроузла ни разу не включается в работу на полную пропускную способность. Резервные водосбросы позволяют практически без дополнительных затрат уменьшить пропускную способность основного водосброса и одновременно увеличить безопасность гидроузла в условиях паводка.

Второй вариант – резервный водосброс обеспечивает пропуск расхода, превышающего максимальный расчётный. Этот вариант позволяет уменьшить опасность перелива воды через гребень и возникновения аварийной ситуации в случае большого катастрофического расхода, то есть повышает надёжность гидроузла в условиях паводка. Поскольку затраты на создание резервного водосброса значительно меньше затрат на создание любого из традиционных водосбросных сооружений, повышение надёжности за счёт резервного водосброса не приведёт к существенному удорожанию водосбросного фронта. То есть повышение надёжности можно достичь без существенного увеличения затрат. Но вопрос о величине расчётного расхода резервного остаётся открытым. Совершенно понятно, что сравнительно небольшое увеличение стоимости гидроузла за счёт резервного водосброса может значительно уменьшить опасность перелива воды через гребень, вплоть до исключения этой опасности. Но в какой мере следует решать этот вопрос, то есть какие размеры резервного водосброса предусматривать, должен решать проектировщик при отсутствии подсказки со стороны нормативных документов. На данном этапе исследований дать какие-либо общие рекомендации по данному вопросу не представляется возможным.

Здесь основными являются местные условия, главным образом топографические, которые дают возможность дать анализ следующих факторов: возможность на ту или иную величину развернуть по фронту пропускное отверстие резервного водосброса; условия нижнего бьефа, допускающие сброс продуктов размыва размываемой вставки и др.

При большой ширине водосливного фронта резервного водосброса полезным может оказаться разбивка его на отдельные секции (рис. 2). Отметка гребня размываемой вставки разных секций различны. Поэтому размыв вставки будет происходить по секциям, и при небольшом превышении паводкового расхода над расчётным такая схема позволяет избежать размыва всей вставки.

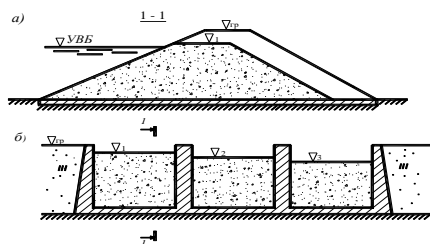


Рис. 2. Схема секционированного резервного водосброса.

## Литература

1. СН 3.04.01-2020 Строительные нормы. Гидротехнические сооружения общего назначения. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск, 2021. – 133 с.

2. Богославчик П. М. Особенности проектирования резервных водосбросов (тезисы доклада) / П.М. Богославчик // Наука образованию, производству, экономике. Материалы 14-й Международной научно-технической конференции. Т. 1. – 2016. – С. 168 – 169.

3. Богославчик, П. М. Эффективность применения резервных водосбросов на малых гидроузлах / П. М. Богославчик, Рам Бабу Прасад // Наука – образованию, производству, экономике. Материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 157.

УДК 626.86:631.442

### Становление и развитие мелиоративной науки

Митрахович А. И.<sup>1</sup>, Казьмирук И. Ч.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Институт мелиорации»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены этапы развития мелиорации как науки. Приведены основные направления работ ученых-мелиораторов и значимые исследования. Рассмотрены существующие и перспективные мелиоративные мероприятия. Показано влияние мелиорации на превращение Полесья в высокоразвитый индустриально-аграрный регион. Выполнен анализ влияния мелиорации на уровень жизни людей.*

Мелиорация земель является важнейшим фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Современное высокопродуктивное земледелие невозможно без проведения мелиоративных мероприятий. Их начали проводить задолго до возникновения мелиоративной науки. В России мелиорация как наука начала развиваться с 1891 года. Она базируется таких постулатах как геодезия, почвоведение, механика грунтов, гидравлика, гидрология, гидрогеология и др. В условиях гумидного и аридного климата применяются различные виды мелиорации.

Российское государство начало финансировать исследования в области мелиорации. Так с 1894 по 1900 гг. была отправлена экспедиция для поднятия земледелия в южных районах Украины, Поволжья, в Крыму, на Кав-

казе. Возглавил экспедицию В. В. Докучаев. Он заложил основу мелиоративной науки в России.

В Беларуси первые сведения о мелиоративных мероприятиях относят к началу XVI века, когда в районе г. Кобрин начали строить навигационные каналы, которые оказали влияние на осушение прилегающих болот. Позднее под руководством И. И. Жилинского в 1873 г. были проведены работы по осушению Полесья. С 1873 по 1898 г. вручную прокопано 4,5 тыс. км мелиоративных каналов, улучшены сотни тысяч гектаров естественных сенокосов и лесных угодий.

Первым научным учреждением в нашей стране стала Минская опытная болотная станция. Возглавил станцию магистр ботаники Александр Фёдорович Флёров. В 1930 г. на базе станции и отдела осушения и культуры болот Белорусского государственного института сельского и лесного хозяйства организован Всесоюзный НИИ болотного хозяйства, ныне РУП «Институт мелиорации». Одним из первых белорусских ученых, начавших изучать культуру болот и вопросы мелиорации был один из организаторов и второй директор МОБС Александр Трофимович Кирсанов. Кирсанов – ученый в области агрохимии и почвоведения. Он изучал болотные массивы Беларуси, занимался вопросами окультуривания болот, известен разработкой методов определения потребности почв в калийных удобрениях [1]. Плечом к плечу с А. Т. Кирсановым трудился Александр Давыдович Дубах – учёный в области мелиорации и гидрологии, академик Академии наук Белорусской ССР. Благодаря работам Дубаха А. Д. гидрология болот выделилась в самостоятельную отрасль науки. Он опубликовал более 70 научных работ, в т. ч. 14 монографий [2].

Особое место в истории осушительных мелиораций принадлежит Горы-Горецкому сельскохозяйственному институту (ныне Белорусская государственная сельскохозяйственная академия). В 1853-1860 гг. на территории участка «Иваново» на большой площади профессором А. Н. Козловским был заложен первый на территории Республики закрытый гончарный дренаж – один из первых и старейших в Восточной Европе, представляющий огромный интерес для специалистов. Усилиями коллектива преподавателей и студентов академии дренаж поддерживается в работоспособном состоянии по настоящее время. Здесь трудился Михайлов Герц Иванович. Он занимался осушением земель и расчетами параметров дренажа на суглинистых почвах. Доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Народного образования БССР Голченко Михаил Герасимович изучал увлажненность территории и поливной режим сельскохозяйственных культур на минеральных почвах.

Теоретическими исследованиями в области гидрогеологии, изучением притока воды к гончарным дренам занимался В. В. Ведерников. Его опубли-

кованные труды «Учет влияния капиллярности грунта на фильтрацию из каналов», «Методы решения некоторых задач по фильтрации со свободной поверхностью» и др. стали теоретической основой ведения мелиоративных работ. Иосиф Ильич Агроскин – советский учёный-мелиоратор, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР изучал гидравлику каналов, предложил их гидравлический расчет методом абстрактной модели. Степан Титович Алтунин учёный-гидротехник, член-корреспондент АН УзССР, лауреат Сталинской премии третьей степени занимался регулированием русел рек при заборе воды на орошение, защите берегов от размыва, созданием выправительных и регулировочных сооружений на реках.

Наибольший вклад в мелиорацию как науку внес Алексей Николаевич Костяков – советский учёный-мелиоратор, член-корреспондент АН СССР, действительный член ВАСХНИЛ, доктор технических и сельскохозяйственных наук, профессор. Он явился основоположником советской мелиоративной науки. Впервые организовал проведение гидромодульных опытно-мелиоративных исследований. Костяков разработал теоретические основы осушительных и ирригационных мероприятий. Теоретически обосновал режимы орошения и технику полива сельскохозяйственных культур для создания оптимального для растений водо-воздушного режима почв. Вершиной творческой научной деятельности А. Н. Костякова по обобщению теоретических разработок и опыта мелиоративных работ в аридной и гумидной зонах страны явился его капитальный труд, изданный в 1927 г. «Основы мелиорации».

В БелНИИМиВХ ученые гидротехники, агрономы, географы и др. трудились совместно над решением актуальных задач и развитием теоретических основ. Печкуров А. Ф., Эркин Г. Д., Ивицкий А. И. продолжили изучать осушение болотных массивов. Печкуров А. Ф. изучал устойчивость русла рек и каналов осушительных систем БССР. Афанасик Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент ААН Республики Беларусь занимался разработками в области теории комплексного регулирования водно-воздушного, теплового и пищевого режимов почв. Зубец Василий Мартынович доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии сельскохозяйственных наук БССР изучал вопросы мелиорации и эксплуатации переувлажненных земель. Закржевский Петр Иосифович, доктор технических наук разработал способы прогноза режима грунтовых вод осушаемой и прилегающей территорий, методы расчета параметров дренажа. Черник Петр Константинович кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент Международной академии экологии и природопользования, академик Белорусской инженерной академии разрабатывал методы расчета и технологии строительства гидrome-

лиоративных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Минаев Иван Васильевич доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Белорусской инженерной академии освятил свою жизнь изучению водного хозяйства, мелиорации сельскохозяйственных земель и охране природы. Трибис Валерий Павлович кандидат технических наук, доцент, член Нью-йоркской академии наук проводил исследования по сельскохозяйственному использованию торфяных почв. Афанасик Г. И. занимался исследованием водно-теплового режима низинных торфяников в зимний период. Лауреат первой премии Совета Министров СССР, доктор технических наук, профессор Шебеко Васса Федоровна изучала водный баланс мелиорируемых низинных болот. Климков В. Т. исследовал конструктивные особенности пластмассового дренажа, совершенствовал конструкции мелиоративных систем на основе полимерных материалов.

Огромный вклад в развитие мелиоративной науки Беларуси внес академик Национальной академии наук Беларуси, академик Академии сельскохозяйственных наук БССР, академик ВАСХНИЛ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Степан Гордеевич Скоропанов. Научные исследования Степана Гордеевича посвящены изучению торфяно-болотных почв, известкованию кислых почв и другим вопросам осушения Белорусского Полесья. Под его руководством создана база для научных и учебных заведений сельскохозяйственного профиля, выполнено и защищено 48 диссертаций, в том числе 12 докторских. Скоропанов С. Г. является автором более 650 научных и научно-популярных трудов, в т. ч. 15 монографий, одна из которых издана в Иерусалиме.

Карловский Владислав Филиппович доктор технических наук, профессор, член-корреспондент ВАСХНИЛ, академик Академии аграрных наук Республики Беларусь и НАНБ, иностранный член РАСХН исследовал, разрабатывал и создавал поточные технологии гидромелиоративного строительства. Под руководством и с личным участием В. Ф. Карловского создана система машин и механизмов для эксплуатации и строительства гидромелиоративных систем.

Для проведения научных исследований в 1945 г. была основана Полеская опытная мелиоративная станция (ПОМС) в Лунинецком районе Брестской области как структурное подразделение БелНИИМиВХ [3]. Большинство мелиоративных систем на Полесье проектировались и строились как осушительно-увлажнительные. На ПОМС была построена мелиоративная система с автоматизированным управлением уровня воды в проводящей и регулирующей сети. Андрей Игнатьевич Ивицкий доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АСХН БССР разработал методику определения времени предпосевного периода и методику расчета предпосевного стока, принципы мелиорации. А. И. Ивицкий – крупный ученый в области

мелиорации торфяных и минеральных почв. Им проведены экспериментальные и теоретические исследования по водному режиму болот. Русецкий Алик Павлович – доктор технических наук разработал методы расчетов основных элементов польдерных систем, насосных станций, магистральных каналов, проводящей и регулирующей сети, дамб ограждения, наливных водоемов [3].

Один из перспективных способов мелиорации – вертикальный дренаж в сочетании с орошением подземными водами каптируемыми из скважин. Применение этого способа позволяет наиболее экономно расходовать водные ресурсы. Мурашко Анатолий Иванович не только внедрил пластмассовый дренаж на осушаемые угодья в нашей республике, а и явился основоположником применения в Беларуси осушительно-оросительных систем вертикального дренажа. Мурашко – академик ВАСХНИЛ, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники БССР. А. И. Мурашко была проведена большая научно-исследовательская, опытно-конструкторская и организационная работа по созданию и широкому внедрению новых принципов, методов и способов мелиорации сельскохозяйственных угодий, применению полимерных и других новых материалов в мелиоративном и водохозяйственном строительстве, созданию мелиоративных систем двустороннего действия. Является одним из создателей теоретических и практических основ проектирования, расчетов и строительства горизонтального и вертикального дренажа. Под его руководством разработаны новые конструкции дренажных труб и защитных фильтров, организовано их производство. Теоретически обоснованы и внедрены в производство автоматизированные осушительно-увлажнительные системы на базе вертикального дренажа на болотах Полесья.

В настоящее время в РУП «Институт мелиорации» разрабатываются новые конструктивные элементы мелиоративных систем с применением полимерных материалов, которые позволят более эффективно и оперативно обеспечивать требуемый водный режим почв на реконструируемых мелиоративных системах: это и полимерные трубы большого диаметра, и регулирующие сооружения на каналах в виде вертикальных пластмассовых труб диаметром 1000 мм с запорными устройствами и колонками-поглотителями. Все это позволит интенсивно использовать мелиорируемые земли.

Исследования в области мелиорации позволяют компенсировать неблагоприятные природные и климатические условия, снижать влияние неблагоприятных погодных условий на рост и развитие растений. Позволяют получать устойчивый урожай сельскохозяйственных культур как в засушливые, так и в избыточные по влажности годы.

## Литература

1. Белорусская сельскохозяйственная библиотека им. И. С. Лупиновича Национальной академии наук Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belal.by/resursy/elektronnaya-biblioteka/item/1382-kirsanov-aleksandr-trofimovich>. – Дата доступа 01.09.2024.

2. Центральной научной библиотеки им. Якуба Коласа НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://csl.basnet.by/personalii/70788/dubah-aleksandr-davydovich/>. – Дата доступа 01.09.2024.

3. 95 лет истории развития мелиоративной науки в Беларуси (75-летию Института мелиорации и луговодства НАН посвящается) / Под общ. ред. А. П. Лихацевича. – Минск, 2005. – 256 с.

УДК 626.86:631.442

### Возникновение и развитие осушительных и ирригационных мероприятий

Селезнев В. И., Казьмирук И. Ч.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*Приведены основные вехи развития мелиоративных работ в мире. Ирригационные мероприятия в аридной зоне и осушительные в гумидной.*

Одним из главных условий существования человека на земле является наличие земель, пригодных для произрастания продукции растениеводства, употребляемой как непосредственно в пищу человеком, так и служащей кормовой базой для производства мясо-молочной продукции.

**Ирригация.** В аридном климате применялись оросительные мероприятия. Первые известные в мире работы по орошению культур были осуществлены в IV тысячелетии до н. э. древними земледельцами из Геоксюра (современная Туркмения). Ими была создана система каналов длиной до 2,5 километра, глубиной около 1,5 метра и шириной до 4 метров. Обозначение канала впервые встречается в пиктографическом письме в Шумере (Месопотамия) в конце IV – начале III тысячелетия до н. э. Согласно Геродоту, уже в IV тысячелетии до н. э. благодаря плотине, построенной в районе гор Ливии, река Нил изменила свое течение, и на месте старого русла был возведен город Мемфис. Письменные документы сообщают о сооружении двух больших каналов в Месопотамии – Арахту, который шел через всю страну, и Наршарри, соединявшего реки Тигр и Евфрат. Ци-



стерны использовались не только для водоснабжения, а и для ирригации [1].

Наиболее простым и эффективным мероприятием было задержание речного стока при разливе рек. Нижняя Месопотамия располагалась в долине Тигра и Евфрата. Малый уклон этих рек обуславливал частые миграции их русел, образование многочисленных рукавов, мелководных стариц, заболоченных участков. Ландшафт представлял собой опустыненную плоскую равнину с тростниковыми зарослями у заболоченных водоёмов. Аллювиальные почвы Месопотамии отличались особым плодородием, но их использование под выращивание культур было возможно только при условии орошения. Из-за частых ливневых дождей разливы рек Тигр и Евфрат проходили бурно и непредсказуемо, зачастую уничтожали посевы. Чтобы защититься от стремительных наводнений, жители Двуречья строили береговые насыпи и дамбы, а для орошения полей и садов создавали систему каналов и водохранилищ. Урожайность в долине двух рек благодаря ирригации была очень высокой, в хорошие годы можно было собрать два урожая.

Древний Египет также находился на пустынных землях. Плодородной являлась только долина реки Нил. Среди пустынь встречались и оазисы. Древние египтяне с помощью сети каналов расширяли оазисы, делая окружающие земли пригодными для земледелия. Файюм, крупнейший оазис в Западной пустыне, был связан с Нилом каналом, вырытым в XVII в. до н.э., он сохранился до наших дней под названием Бахр-Юсуф. Наиболее раннее и самое известное упоминание об орошении в египетской археологии найдено на вершине булавы фараона Скорпиона (ок. 3100 год до н.э.). Вершина булавы изображает фараона с мотыгой в руках, стоящего над каналом, который являлся частью сети орошения [2]. Египтяне воспользовались естественным циклическим характером разлива Нила. Из-за того, что паводок р. Нил был предсказуем, египтяне могли развивать на его основе свою сельскохозяйственную деятельность. Уровень воды в реке поднимался в августе и сентябре, оставляя пойму и дельту, погруженную на 1,5 метра в воду на пике затопления. Древние египтяне разработали и использовали особую форму управления водными ресурсами, известную как бассейновое орошение. Эта практика позволяла контролировать подъём и снижение уровня реки, и таким образом удовлетворять потребности сельского хозяйства в поливе. В области посева была сформирована перекрёстная сеть земляных валов. После разлива Нила вода задерживалась в бассейнах, образованных валами. Оставшаяся в бассейнах паводковая вода шадуфами перенаправлялась в другие бассейны, до которых не распространялся уровень Нила.

Экономическое устройство Урарту зависело от земледелия, которое требовало централизованных усилий по орошению. В нескольких регионах сохранились остатки древних оросительных каналов, сооружённых урартами, главным образом во времена Аргишти I и Менуа, некоторые из них до сих пор используются для орошения полей. В конце 9 века до н. э. в Ванском Царстве (Урарту) был построен 72-километровый оросительный водоканал, представляющий собою сложное ирригационное сооружение. Так, Аргишти, основав Армавир, провел для орошения Эриванской равнины канал, о чем сообщил в найденной в 1895 г. у Каракалы надписи. Руса I устроил озеро для своего города у Топрак-калэ. Но особенно много проводил каналов Менуа; из них наиболее известен грандиозный канал, снабжавший столицу Ван питьевой водой (вода из озера негодна для питья). Он действует и в настоящее время, нося имя канала Семирамиды.

Ещё в глубокой древности Китайцы достигли больших успехов в орошении. Китайские изобретатели создали много разнообразных машин для подъема воды на орошаемые участки. Во II в. н. э. появились большие водочерпальные колеса, сделанные из бамбука. Колеса приводились в движение течением реки. Черпаками служили поставленные косо отрезки бамбука. Иногда такие машины состояли из двух колес, несущих цепь, на которые были насажены те же отрезки бамбука. Нижнее колесо использовалось для забора воды, верхнее же было направляющим и применялось для опорожнения ковшей. Их можно видеть и теперь в некоторых местностях Китая. В Древнем Китае применялся ударно-канатный способ бурения скважин. Его использовали для вскрытия напорного пласта и выведения на поверхность напорных грунтовых вод. В 486 году до н. э. в царстве Чу был проведен так называемый Ханьгу, или Ханьский канал, соединявший реку Янцзы с рекой Хуанхэ, русло которого стало впоследствии частью знаменитого Великого канала. В 316 году до н. э. был прорыт канал, воды которого оросили земли в районе Чэнду. Здесь же в конце III века до н. э. была построена сложная ирригационная система, которую питали воды реки Миньцзян. В 247 году до н. э. в царстве Цинь был проведен величественный по тому времени канал «Чжэн Го» длиной около 120 километров. Он орошал около 200 тысяч га полей. Позже этот канал стал центральным звеном огромной ирригационной системы, созданной во второй половине II века до н. э.

Древних жителей Шри-Ланки тоже можно отнести к величайшим строителям ирригационных систем. В хрониках сообщается, что в 494 году до н. э. король Пандувааса в Анурадхапуре – первой столице страны – соорудил водохранилище площадью 223 квадратных мили. Воду в нем удерживала дамба длиной 15 миль и шириной у основания – 300 футов.

В других частях земного шара, где была развита цивилизация, так же проводились оросительные мероприятия. По своему характеру земледелие в империи инков было поливным. Территории, где в основном происходило выращивание культур, выбирались тщательно: обычно это были склоны гор, на которых сооружались террасы. Необходимость орошения почвы при имеющихся природных условиях компенсировалась тем, что сооружались каналы, отведённые от горных рек. Такая система ирригации позволяла довести необходимый объём воды до места взращивания и обеспечить вала устойчивую терморегуляцию земель древнего Перу.

Осушение. Осушительные мелиоративные мероприятия возникли гораздо позже оросительных и имеют более скромную историю. Римские дренажи. Имеются археологические раскопки, свидетельствующие о том, что керамический дренаж использовался более 2000 лет назад, и, вероятно, был частью комбинированной системы, отводящей поверхностные воды, и иногда их можно найти, все еще функционирующими, на объектах, датированных XVII-XIX вв. Структура дрен довольно простая. Обычно было основание из плитняка с параллельными каменными краями, а затем крышка из плитняка, все из которых служили для создания «отверстия» прямоугольного сечения, через которое могла течь вода. По форме напоминает первый дощатый дренаж, который укладывался в Беларуси в начале XX века.

Французские стоки. Еще одна распространенная форма дренирования земли с давних времен – это так называемый французский дренаж, который, по сути, представляет собой не что иное, как траншею, заполненную гравием. Для определения работоспособности дренажа и отслеживания уровня грунтовых вод французы применяли дренажные стержни.

Первые сведения о водохозяйственных работах на территории Беларуси относятся к началу XVI века. В районе г. Кобрин был прорыт канал длиной около 20 км. В 1770-1784 гг. осуществлялось строительство канала Огинского протяженностью 54 км, который соединил реки Припять и Неман. Канал существует и в настоящее время. Строительство Днепробугского канала протяженностью 196 км началось в 1775 г. и продолжалось почти 68 лет. Каналы строили в основном для навигации и лесосплава, но они оказали большое влияние и на осушение прилегающих болот. Западная экспедиция по осушению болот, организованная в 1873 г. под руководством И. И. Жилинского и проводившая работы в центральных губерниях и в Полесье. Самые большие мелиоративные работы по тем временам выполнены Западной экспедицией. С 1873 по 1898 г. вручную построено 4,5 тыс. км мелиоративных каналов, улучшены сотни тысяч гектаров естественных сенокосов и лесных угодий.

Мелиоративные мероприятия проводились с целью получения устойчивого урожая сельскохозяйственных культур. Даже в древности люди понимали необходимость регулирования водно-воздушного режима почв и создания оптимальной влажности в корнеобитаемом слое почвы.

### **Литература**

1. Ирригация и орошение в древности [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [https://www.water.gov.kg/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=1974:irrigatsiya-i-oroshenie-v-drevnosti&Itemid=1437&tmpl=component&print=1&lang=ru](https://www.water.gov.kg/index.php?option=com_k2&view=item&id=1974:irrigatsiya-i-oroshenie-v-drevnosti&Itemid=1437&tmpl=component&print=1&lang=ru). – Дата доступа^ 02.09.2024.

2. Черезов, Е. В. Техника сельского хозяйства Древнего Египта / Е.В. Черезов. – Черновцы: ИГУ, 1969. – 34 с.

**Инновационные технологии  
в развитии естественных наук  
и современного образования**

## **Вертикально ориентированная солнечная батарея**

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Солнечные батареи могут стать отличной заменой традиционным источникам энергии, таким как ископаемые топлива. Вертикально ориентированные солнечные батареи – это один из новых подходов к генерации солнечной энергии. Вертикальное расположение солнечных панелей обеспечивает максимальное поглощение солнечного света на протяжении всего дня. В данной работе предложена трехмерная модель вертикально ориентированной солнечной батареи, а также выполнен расчет и произведена оценка ее температурных характеристик.*

Одним из путей увеличения генерации электричества и стабилизации его производства является выбор географического месторасположения и угла наклона солнечных панелей. Исследования показали, что выработка энергии увеличится, если ставить панели под углом  $90^\circ$  [1]. Вертикально ориентированные солнечные батареи представляют собой инновационное решение, которое может иметь значительные преимущества в сравнении с традиционными горизонтально ориентированными панелями. Они помогают уменьшить или даже полностью исключить необходимость использования ископаемых топлив в энергосистемах, что особенно важно в часы пик спроса на электроэнергию, такие как утро и вечер. Это способствует экологической устойчивости и содействует переходу к более чистым источникам энергии. Кроме того, вертикально ориентированные солнечные батареи экономят ценное земельное пространство, так как они могут быть установлены на стенах зданий или столбах. Это делает возможным использование ограниченных территорий более эффективно и эстетично. Гибкая конструкция таких батарей позволяет размещать их на различных поверхностях, что открывает новые возможности для их применения в городской среде и других местах [2; 3].

Целью работы является разработка трехмерной модели и оценка основных параметров солнечной батареи с вертикальной ориентацией ее модулей в условиях изменения температуры окружающей среды и мощности концентрированного солнечного излучения.

Конструкция предлагаемой солнечной батареи с вертикальной ориентацией ее модулей приведена на рис. 1. Солнечная батарея включает в себя радиатор 8 с вертикальными пазами, термически связанный с тыльной

стороной фотоэлектрического преобразователя 4 через вертикальные электродные слои 5 и 7, между которыми находится термоэлектрический преобразователь 6. Фронтальная сторона фотоэлектрического преобразователя 4 соединена с корпусом 2 из силикатного стекла посредством герметика 3. На внешней вертикальной поверхности корпуса 2 расположена нанопленка окиси кремния 1. Для увеличения интенсивности проникающего солнечного света и уменьшения потерь энергии коэффициент преломления герметика должен быть равен (или близок) коэффициенту преломления силикатного стекла. Это позволит повысить эффективность преобразования солнечной энергии.

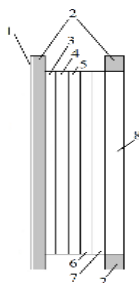


Рис. 1. Структура вертикально ориентированной солнечной батареи:

1 – наноплёнка окиси кремния; 2 – корпус из силикатного стекла, 3 – герметик; 4 – фотоэлектрический преобразователь на основе  $\text{CuInSe}_2$ ; 5 и 7 – электродные слои; 6 – термоэлектрический преобразователь на основе  $\text{CuInSe}_2$ ; 8 – радиатор

Трехмерная модель вертикально ориентированной солнечной батареи была разработана и оптимизирована в программной среде COMSOL Multiphysics [5; 6]. Используя модуль Heat Transfer (Теплопередача) исследовано функционирование солнечной батареи в течении определенного дня (например, 15 января и 15 июля) в заданном месте (например, г. Минск). Кроме того, в разработанной модели солнечной батареи учтена радиационная теплопередача между ее элементами.

В условиях изменения температуры окружающей среды и плотности мощности солнечного излучения (максимальное значение  $P_{\text{max}}$  - от 1 до  $10 \text{ кВт/м}^2$ ) солнечная батарея нагревается равномерно, за исключением торцевых сторон, температура которых в полдень значительно больше температуры остальных поверхностей батареи (рис. 2).

Увеличение мощности концентрированного солнечного излучения приводит к увеличению рабочей температуры солнечной батареи и гради-

ента температуры внутри нее (рис. 3). Кроме того, градиент температуры в январе достигает больших значений, чем в июле.

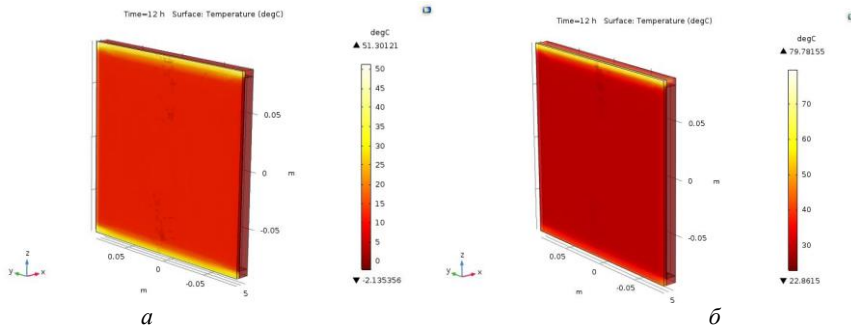


Рис. 2. Распределение максимальных значений температуры поверхности солнечной батареи при воздействии солнечного излучения с  $P_{\max} = 10 \text{ кВт/м}^2$ :  
*a* – в полдень 15 января; *б* – в полдень 15 июля

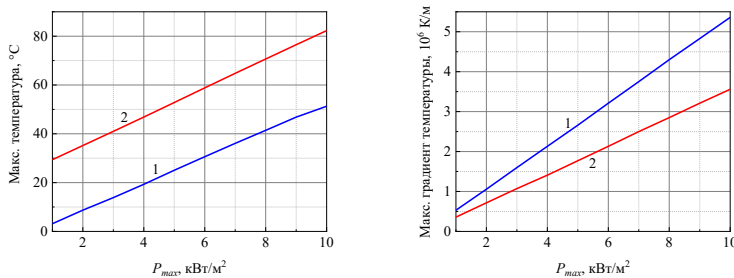


Рис. 3. Зависимости максимальных значений:  
*a* – температуры; *б* – градиента температуры внутри солнечной батареи в серединах января (кривая 1) и июля (кривая 2) от плотности мощности солнечного излучения с  $P_{\max}$  от 1 до 10 кВт/м<sup>2</sup>

Рассчитанные температурные характеристики трехмерной модели, предложенной вертикально ориентированной солнечной батареей, позволили оценить возможности ее работы в условиях изменения температуры окружающей среды и плотности мощности солнечного излучения.

Использование вертикально ориентированных солнечных батарей позволит повысить эффективность производства электроэнергии и сократить расходы, связанные с обслуживанием таких батарей, за счет снижения оседания на них пыли, капель дождя и налипания снега,



уменьшения периодичности их очистки и замены, а также уменьшения или полного отказа от использования ископаемого топлива.

### Литература

1. Reker, S. Investigation of vertical solar power plants into a future German energy system / S. Reker, J. Schneider, C. Gerhards // Smart Energy. – 2022. – Vol.7. – P. 100083-1–100083-12.

2. Fang, H. Radiative cooling for vertical solar panels / H. Fang [et al.] // eScience. –2024. –Vol. 27, Iss. 2. – P. 108806-1–14.

3. Есман, А. К. Исследование вертикально ориентированной солнечной батареи при воздействии концентрированного солнечного излучения / А.К. Есман, Г.Л. Зыков, В.А. Потачиц, В.К. Кулешов // Наука и техника. – 2023. – Т.22, № 5. – С. 405–410.

4. Heat Transfer Module. Analyze Thermal Effects with Advanced Simulation Software. COMSOL, Inc. USA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.com/heat-transfer-module>. –Дата доступа: 03.03.2024.

5. Есман, А. К. Моделирование тонкопленочных солнечных элементов со структурой халькопирита  $\text{CuInSe}_2$  / А.К. Есман, В.К. Кулешов, В.А. Потачиц, Г.Л. Зыков // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2020. – Т. 63, № 1. – С. 5–13.

УДК 621.396:535.8

### **Продольные домены в ЖК пикселях матричных устройств, не имеющие флексоэлектрической природы**

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Жидкие кристаллы обладают ориентационной упорядоченностью и высокой подвижностью, что приводит к их широкому применению в различных сферах жизнедеятельности. Исследования показали, что в слое жидкого кристалла формируется новый тип продольных доменов, связанных с начальным азимутальным отклонением молекул кристалла от планарной ориентации на подложках ЖК-устройств.*

В 1888 году были открыты некоторые органические вещества, обладающие свойствами текучести и анизотропии, получившие название в 1904 г. «жидкие кристаллы» (ЖК). Долгое время научная общественность не признавала ЖК. Только после того, как Дж. Фергюсон использовал в 1963 г. их для обнаружения невидимых невооруженным глазом тепловых полей,

к ЖК возник практический интерес. Начиная с 1973 г. эти вещества получили применение в разных сферах жизни человека: в промышленности, медицине, транспорте и т.д. В настоящее время жидкокристаллические дисплеи (ЖК) стали чрезвычайно популярными благодаря своей эффективности и качеству изображения [1]. Разработка первого цветного ЖК-дисплея в 1987 году является значимым событием в истории технологий дисплеев и показала новые возможности в отображении цветной графики и видео. Это открытие имело огромное значение для мобильной техники, телевизоров, мониторов и других устройств, которые мы используем ежедневно [2]. Современные дисплеи представляют собой сложную структуру, объединяющую огромное число отдельных пикселей.

Данная работа посвящена исследованию формирования в жидкокристаллических пикселях продольных доменов. Были использованы лабораторные образцы многоканальных ЖК-устройств с различной шириной (20–500 мкм) и толщиной (0,05–0,1 мкм) прозрачно-проводящих ( $\text{In}_2\text{O}_3+\text{SnO}_2$ ) электродов. В качестве ЖК использовались смеси на основе толанов с низкочастотной (20 кГц) инверсией знака диэлектрической анизотропии  $\Delta\epsilon$  (от +1 до -1,5). Толщина ЖК-слоя выбиралась от 5 до 20 мкм. Оптическая анизотропия слоя составляла 0,2. Молекулы данного жидкого кристалла не обладают дипольными моментами. Начальная планарная ориентация молекул ЖК задавалась пленками поливинилового спирта, создавались *T* и *S* ориентации [3; 4]. В качестве управляющего электрического поля использовались прямоугольные импульсы положительной полярности. Начальные азимутальные отклонения в ориентации молекул ЖК приводят к тому, что различные части слоя располагаются под разными по знаку углами по отношению к направлению управляющего электрического поля, что приводит к их беспороговой переориентации. При увеличении управляющего поля в этот процесс вовлекаются соседние молекулы, обладающие меньшим преднаклоном, так возникают две области. Эти области молекул с противоположными искажениями встречаются в центральном по толщине ЖК слое и компенсируют друг друга. Толщину этой области обозначим через  $2D$ . Молекулы жидкого кристалла в этой области отклоняются на угол от  $+\theta_0$  на верхнем крае области до  $-\theta_0$  на нижнем. Таким образом, образуются две области с противоположной ориентацией. Граничная область между ними является согласно [5] клиновидной дисклинацией “силы”  $m = 1/2$ . Дисклинация располагается перпендикулярно направлению ориентации молекул ЖК в центральной области слоя вдоль диагонали квадратного пикселя. На рис. 1 представлена схема расположения молекул ЖК в пикселе для *S*-эффекта в электрическом поле.

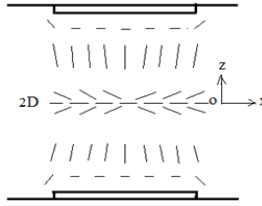


Рис. 1. Схема распределения молекул ЖК в квадратном пикселе

Внешнее электрическое поле направлено вдоль оси  $OX$ , а две области, разделенные линией дисклинации (положительная и отрицательная), обладают электрической энергией на единицу площади в плоскости пикселя. Эта энергия согласно [5] равна:

$$F = -\frac{\Delta\varepsilon}{8\pi}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E})^2,$$

где единичный вектор  $\mathbf{n}$  описывает искаженное состояние молекул ЖК, в нашем случае  $n_x = \cos\theta$ .

Тогда, например, положительная область толщиной  $2D$  будет обладать плотностью энергии

$$F^+ = -\frac{\Delta\varepsilon E^2}{8\pi} \int_{-D}^{+D} \cos^2\theta \cos^2(90-\theta) dz.$$

Вычислив это выражение, получаем, с учетом линейной зависимости азимутального угла отклонения молекул кристалла от планарности в переходной области  $\left(\theta = \frac{\theta_0}{D} z\right)$ :

$$F^+ = -\frac{\Delta\varepsilon E^2 D}{32\pi} \left(1 - \frac{\sin(4\theta_0)}{4\theta_0}\right).$$

Аналогичное выражение получаем для отрицательной области. Рассмотрим теперь полную энергию положительной области площадью  $l^2/4$  ( $l$  – диагональ квадратного пикселя)

$$\psi = -F^+ \frac{l^2}{4} + l\psi + \text{const},$$

где  $\psi$  – энергия на единицу длины дисклинации, зависящая только от упругих постоянных ЖК [6].

Положительная область будет в равновесии если

$$\frac{\partial \psi}{\partial l} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{2\psi}{l} = F^+.$$

Таким образом, электрическая энергия на единицу площади положительной области (она способствует увеличению площади при росте управляющего поля) уравнивается силой натяжения дисклинации. Аналогичное заключение получаем для отрицательной области. Значит, в этом случае линия дисклинации будет располагаться строго по диагонали квадратного пикселя. При уменьшении диэлектрической анизотропии ЖК электрическая энергия областей  $F^+$  и  $F^-$  уменьшается, что приведет к уменьшению силы натяжения линии дисклинации, в результате две области придут в движение навстречу друг другу. Значения величин  $F^+$  и  $F^-$  равны, поэтому площади полученных областей останутся равными. Границей между этими областями будет растянутая линия дисклинации.

На рис. 2 представлена динамика образования продольных доменов в ЖК пикселе при уменьшении диэлектрической анизотропии ЖК.

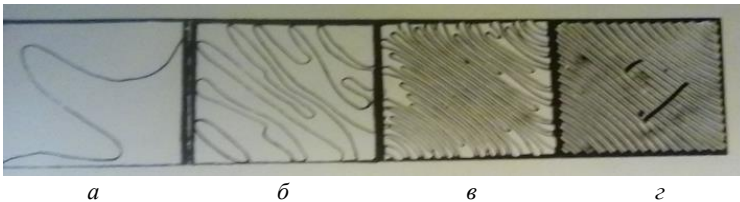


Рис. 2. Динамика образования продольных доменов в ЖК пикселе при частоте импульсов управления электрического поля:

$a$  – 18 кГц;  $б$  – 19 кГц;  $в$  – 19,5 кГц;  $г$  – 19,8 кГц;  
амплитуда – 10 В; создавалась  $T$ -ориентация; толщина ЖК-слоя 10 мкм;  
ширина электродов 100 мкм

Проведенные исследования показывают, что в слое ЖК возникает новый тип продольных доменов, не имеющих флексоэлектрической приро-

ды, а связанных с начальным азимутальным отклонением молекул кристалла от планарной ориентации на подложках ЖК-устройств.

### Литература

1. Самарин, А. Тенденция развития сектора ЖК-телевизоров со светодиодной подсветкой / А. Самарин // Компоненты и технологии. – 2010. – № 4. – С. 98–102.
2. Инфракрасный многоспектральный матричный преобразователь: пат. № 12175 Респ. Беларусь: МПК G01J 5/02, G01K 11/00 / А. К. Есман, В. А. Пилипович, В. К. Кулешов, Г. Л. Зыков; дата публ. 30.08.2009.
3. Развин, Ю. В. Эффект сжатия твистовой ЖК-структуры в импульсном электрическом поле / Ю. В. Развин, В. А. Потачиц // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й междунар. науч.-техн. конф., 2009. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 375.
4. Развин, Ю. В. Роль поверхности в электрооптике твист-эффекта в жидких кристаллах / Ю. В. Развин, В. А. Потачиц // Актуальные проблемы естественных наук и их преподавания: материалы междунар. науч.- практ. конф., посвященной 100-летию МГУ им. А. А. Кулешова, 2013. – Могилев, 2013. – С. 18–21.
5. Де Жен, П. Физика жидких кристаллов / П. де Жен. – М.: Мир, 1977. – 400 с.
6. Пикин, С. А. Структурные превращения в жидких кристаллах / С. А. Пикин. – М.: Наука, 1981. – 336 с.

УДК 538.945

### Условия получения и пьезоэлектрические свойства керамических материалов на основе системы $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbZrO_3-PbTiO_3$

Савчук Г. К., Юркевич Н. П.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены результаты исследований влияния условий получения керамики системы  $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbZrO_3-PbTiO_3$ , модифицированной цинком и медью, на их пьезоэлектрические параметры. Показано, что наличие оксида меди изменяет механизм спекания на жидкофазный, снижая температуры спекания на (200-240) °С. Установлено, что высокими пьезопараметрами керамики обладают при введении микродобавок в соотношении 3 масс. % ZnO + 1масс. % CuO и температуре спекания 960 °С.*

Изучение физических свойств пьезокерамических материалов непрерывно продолжается, поскольку до настоящего времени они имеют широкое практическое применение [1–2].

На сегодняшний день исследовано большое количество пьезокерамических материалов на основе систем:  $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$  (PZT),  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$  (PNN-PT-PZ),  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  (PNN-PT),  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  (PMN-PT). Указанные материалы имеют высокие значения пьезомодулей, однако, при этом спекаются при высоких температурах (выше 1200 °С) и не отличаются высокой надежностью при работе устройств на их основе.

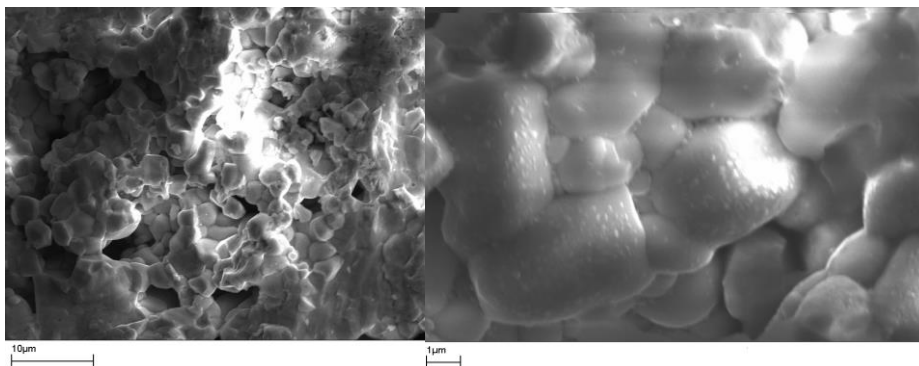
По настоящее время актуальны разработки керамик для ультразвуковых преобразователей, пьезоэлектрических приводов и датчиков акустической эмиссии [3–6]. Пьезоматериалы для этих устройств должны обладать высокими значениями пьезоэлектрических параметров и низкими температурами спекания. Низкие температуры обеспечат снижение энергетических затрат при получении материалов и возможность нанесения контактов в условиях процесса спекания, что приведет к уменьшению себестоимости изделий.

В [4] на основе системы PNN-PT, модифицированной оксидом сурьмы  $\text{Sb}_2\text{O}_5$ , были получены при температуре спекания 910 °С керамики с коэффициентом механической связи  $k_p = 0,64$ ; диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 1120$ ; пьезомодулем  $d_{33} = 379 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н. Авторы работы [5], при допировании системы  $\text{Pb}(\text{Ni}_x\text{Nb}_y)\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Zn},\text{Ti})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Mg},\text{W})\text{O}_3$  самарием, параметры керамических материалов улучшили ( $k_p = 0,67$ ,  $\epsilon_r = 2824$ ,  $d_{33} = 630 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н), при этом температура спекания составляла 980 °С.

Целью данной работы являлось изучение условий получения и их влияния на значения пьезоэлектрических параметров керамических материалов на основе системы  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$ , модифицированной оксидами меди и цинка.

Исследования проводились на образцах, полученных по двухстадийной керамической технологии [7]. Для изучения были приготовлены составы, имеющие, согласно фазовой диаграмме системы PNN-PT-PZ, монофазную кубическую структуру с наиболее высокими значениями пьезопараметров.

В синтезируемые твердые растворы PNN-PT-PZ оксиды меди  $\text{CuO}$  и цинка  $\text{ZnO}$  вводились на стадии процесса спекания. Наличие  $\text{CuO}$  формировало жидкую прослойку (рис. 1), что привело к изменению механизма спекания с твердофазного на жидкофазный и, соответственно, к снижению температур спекания керамик.

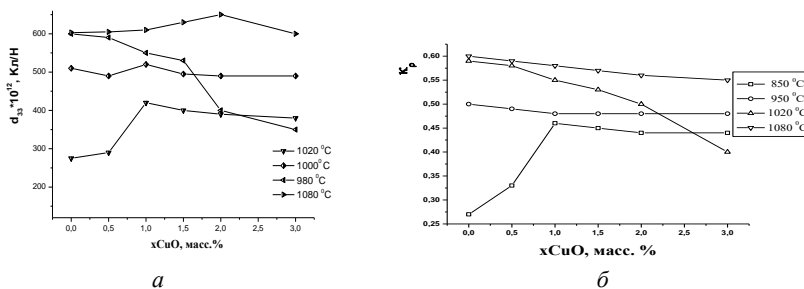


*a*

*б*

Рис. 1. Микроструктура керамики состава 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ + 3 масс. % ZnO + 1 масс. % CuO:  
*a* – увеличение 5 000; *б* – увеличение 20 000

Введение оксида меди позволило значительно снизить температуры спекания, но при этом происходило уменьшение всех пьезоэлектрических параметров материалов (рис. 2, *a*, *б*).



*a*

*б*

Рис. 2. Пьезоэлектрические параметры керамики 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ в зависимости от содержания оксида меди CuO и температур спекания:  
*a* – пьезомодуль  $d_{33}$ ; *б* – коэффициент электромеханической связи  $k_p$

С целью улучшения пьезоэлектрических свойств образцов одновременно с оксидом меди вводился оксид цинка. При этом образцы с наиболее высокими параметрами имели состав 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ + 3 масс. % ZnO + 1 масс. % CuO, оставались однофазовыми с кубической кристал-

лической структурой пространственной группы  $R\bar{3}m$  в диапазоне температур (960–1020) °С (рис. 3). Плотность образцов достигала (96–98) % от теоретической.

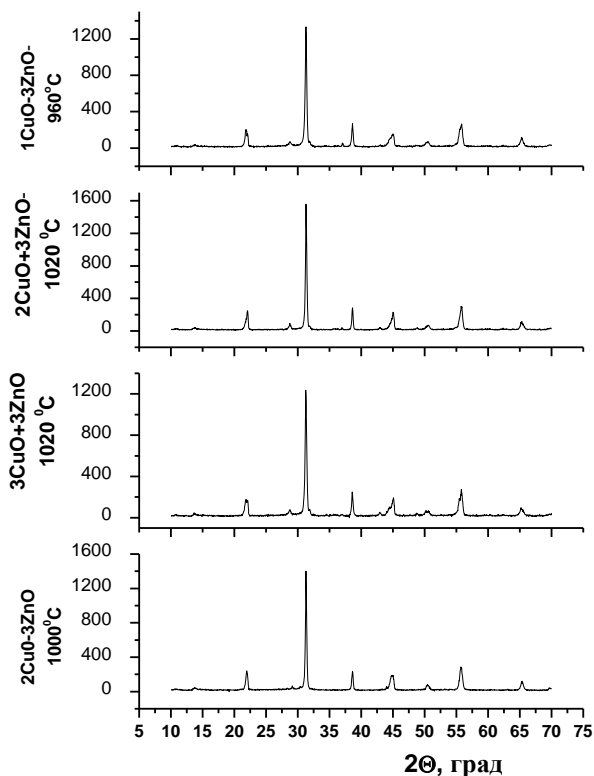


Рис. 3. Вид рентгенограмм для керамик состава  $0,41\text{PNN}-0,36\text{PT}-0,23\text{PZ} + 3 \text{ масс. \% ZnO} + x \text{ масс. \% CuO}$  в зависимости от температуры спекания

Сравнительный анализ параметров кристаллической структуры исследуемых керамик, уточненных методом Ритвельда (рис. 4), показал (табл.), что при жидкофазном механизме спекания происходит уменьшение параметра  $a$  элементарной кристаллической ячейки. Данный результат говорит о том, что микродобавки не входят в элементарную кристаллическую



ячейку в виде дефектов замещения, а распределены в межзерённом пространстве.

Таблица

Параметры кристаллической структуры керамик состава 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ в зависимости от механизма спекания

Добавки	$a$ , Å	$V$ , м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Pb-(Ti,Zr,Ni,Nb), Å	Pb-O, Å	Ti-O, Å
0 масс.%	4,04136	66,06	8,089(1)	3,49992(6)	2,85767(1)	2,02068(4)
3масс.%ZnO +1масс.%CuO	4,03396	65,644	8,094(2)	3,49351(3)	2,85244(7)	2,01698(3)

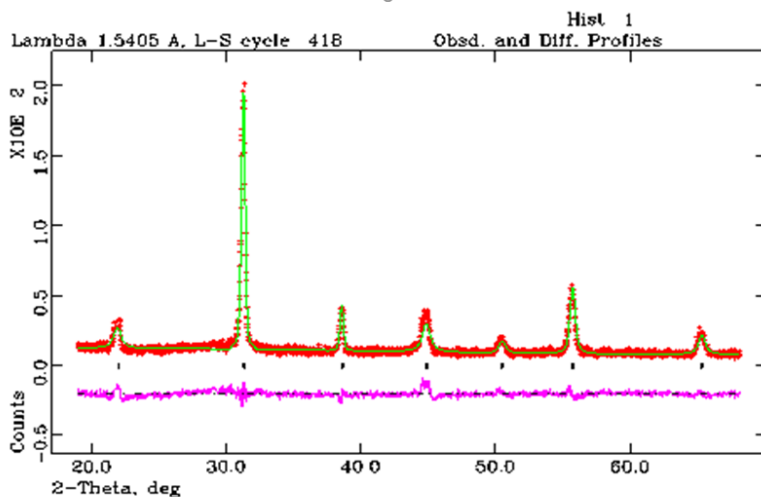


Рис. 4. Экспериментальный, теоретический и разностный графики для образцов 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ + 3 масс. % ZnO + 1 масс. % CuO

При спекании по жидкофазному механизму происходит уменьшение основных межатомных расстояний, при этом сокращение длины связи между кислородом и титаном для образцов, полученных по жидкофазному механизму, приводит к уменьшению дипольного момента элементарной кристаллической ячейки, и, соответственно, к снижается температура Кюри.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены пьезокерамические материалы с высокими пьезоэлектрическими параметрами ( $k_p = 0,62$ ,  $\epsilon_{33}^t/\epsilon_0 = 3300$ ,  $d_{33} = 630 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н) на основе состава 0,41PNN-0,36PT-0,23PZ, допированного на стадии спекания микродобавками в со-

отношении 3 масс. % ZnO и 1 масс. % CuO. Температура спекания составляла 960 °С.

Установлено, что керамические образцы являются однофазными с псевдокубической кристаллической структурой, сохраняют высокие значения пьезопараметров, термостабильны в интервале температур (–50–110) °С, поэтому могут быть эффективно использованы для изготовления многослойных устройств с одновременным нанесением серебряных электродов, у которых температура плавления порядка 970 °С.

### Литература

1. Akhmedov, A. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / Abduraxman Akhmedov, Galina Sauchuk, Natallia Yurkevich, Sardorbek Khudoyberganov, Mahammatyakub Bazarov, Karimberdi Karshiev // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – V. 264. – P. 04020.

2. Sauchuk, H. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov, S. Khudoyberganov, S. Kayumov, U. Berdiyarov // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 401. – P. 05076.

3. Yapar, O. Structural health monitoring of bridges with piezoelectric AE sensors. / O. Yapar, P. K. Basu, P. Volgyesi, A. Ledeczki // Eng. Fail. Anal. – 2015. – V. 56. – P. 150–169. doi: 10.1016/j.engfailanal.201503009.

4. Yoo, J. Microstructure and Piezoelectric Properties of  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$  System Ceramics doped with  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  for Ultrasonic Nondestructive Testing Transducer. / J. Yoo, et.al. // Transactions on Electrical and Electronic Materials. – 2021. – V. 22, № 6. – P. 913–918.

5. Kim, H. J. The Effects of Kettlebell Exercise and Ultrasound Treatment on Body Mass Index and Percent Body Fat in 20's Adults. / H. J. Kim, M. H. Kim // J. Korean Phys. Ther. Sci. – 2018. – V. 25. – P. 804–808.

6. Yoo, J. The Effects of  $\text{MnO}_2$  Addition on the Physical Properties of  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ - $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/2}\text{W}_{1/2})\text{O}_3$ - $\text{BiFeO}_3$  Ceramics. / J. Yoo, J. Lee // Crystal. – 2021. – V. 11. – P. 29–39.

7. 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.

**Моделирование электромагнитных колебаний  
в компьютерном эксперименте**

Юркевич Н. П.<sup>1</sup>, Савчук Г. К.<sup>1</sup>, Ахмедов А. П.<sup>2</sup>,

Худойбергганов С. Б.<sup>2</sup>, Махмудова Д. Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В работе рассмотрена методика изучения электромагнитных колебаний в колебательном контуре при проведении физического практикума в курсе общей физики для студентов технических специальностей. Показано, что компьютерное моделирование позволяет визуально наблюдать характер изменения зависимостей от времени колеблющихся величин в колебательном контуре, что позволяет наиболее эффективно использовать данную методику для изучения студентами решений дифференциальных уравнений свободных колебаний, а также свободных затухающих колебаний в колебательном контуре.*

Целью данной работы является разработка методического сопровождения компьютерного эксперимента для изучения свободных электромагнитных колебаний, направленного на формирование научно-исследовательских навыков у студентов технических вузов [1–3].

Для раскрытия творческих возможностей студентов, стимулирования их к научно-исследовательской работе используется участие студентов в постановке задач исследования и анализе информации, получаемой во время проведения самостоятельного компьютерного эксперимента [4–6].

В представленном компьютерном эксперименте изучаются зависимости от времени заряда конденсатора  $q(t)$ , электрического тока в катушке  $I(t)$ , напряжения на конденсаторе  $U_C(t)$ , напряжения на катушке  $U_L(t)$ , энергии магнитного поля  $W_M(t)$  и энергии электрического поля  $W_E(t)$  для интервала времени, равного периоду колебаний  $T$  в идеальном и реальном колебательных контурах. Программа позволяет студентам визуально наблюдать все этапы возникновения и совершения свободных электромагнитных колебаний от зарядки конденсатора до его перезарядки. В графическом режиме выводятся на экран временные зависимости физических величин (рис. 1).

Студенту предлагается с помощью программы варьировать значения параметров как идеального, так и реального контуров. Изменение величин

электроемкости конденсатора  $C$ , индуктивности катушки  $L$  и сопротивления резистора  $R$  в контуре выполняется в специальном меню, а результаты зависимостей электромагнитных колебаний физических величин от времени выводятся на экране (рис. 1) в цветном изображении.

Таким образом, при проведении компьютерного эксперимента у студентов имеется возможность самостоятельного изучения зависимостей собственной частоты колебаний  $\omega_0$  идеального контура от значений емкости  $C$  и индуктивности  $L$ , частоты затухающих колебаний  $\omega$  реального контура от величины сопротивления резистора  $R$ . Переход к реальному контуру осуществляется введением значений активного сопротивления  $R$  отличных от нуля, что позволяет моделировать и визуализировать затухание электромагнитных колебаний, вплоть до аperiodических. При этом студенты могут определять логарифмический декремент затухания и анализировать его зависимость от величины активного сопротивления  $R$ . В заключении работы обучающимся необходимо сделать обоснованные выводы по результатам компьютерного моделирования.



Рис. 1. Электромагнитные колебания в идеальном колебательном контуре при изменении величины электроемкости  $C$  контура

Цветная визуализация электромагнитных колебаний способствует лучшему пониманию и образному восприятию студентами сложных колебательных процессов, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка.

Данная методика позволяет студентам эффективно изучить электромагнитные колебания в рамках программы технических специальностей вузов, а также сформировать навыки и умение анализировать информацию

научного исследования, проводить сравнительный анализ получаемых результатов. Использование различных способов поиска новой информации для обоснования результатов проделанной работы способствует формированию у студентов технических вузов научно-исследовательских навыков и общего представления по практическому применению изучаемого материала.

### Литература

1. 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-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию каф. «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020 г. – Минск, 2020. – С. 329–332.

2. Sauchuk, G. K., Yurkevich N. P. 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, No 19. – P. 15–20.

3. 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.

4. 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

5. Кужир, П. Г. Электричество и магнетизм. Сборник задач: учебное пособие / П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск: Из-во Грещова, 2013. – 272 с.

6. Ахмедов, А. П. Совмещение реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергенов, Н. П. Юркевич // Актуальные проблемы современного естествознания: материалы XI Респ. научн.-методолог. семина., Минск, 3 дек. 2020. – Минск, 2020. – С. 91–95.

**Возможность выработки электроэнергии ветрогенераторами  
в Республике Каракалпакистан**

Ахмедов А. П.<sup>1</sup>, Худойберганов С. Б.<sup>1</sup>, Юркевич Н. П.<sup>2</sup>, Савчук Г. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Ветровая энергетика занимает достаточно важное место в балансе глобальной «зеленой» генерации. В настоящий момент достоверно доказано, что собирать ветровую энергию можно прямо на улицах городов или междугородних трасс. В статье предлагается установить с обеих сторон, вдоль трасс международного значения Республики Каракалпакистан ветротурбинные генераторы с контроллером МРРТ. Полученную электроэнергию можно использовать по-разному, например, для освещения дорог и улиц, зарядки электромобилей и электробусов.*

В настоящее время проблемы использования возобновляемых источников энергии мировым сообществом являются очень важными и насущными. Запасы традиционных источников энергии почти истощены, и человечество прилагает серьезные усилия по разработке альтернативных источников электроэнергии. Кроме этого, с каждым днем потребление электроэнергии в мире растет [1–3].

Ветровая энергетика занимает важное место в балансе глобальной «зеленой» генерации, но до сих пор турбины устанавливаются в основном в прибрежных зонах, где ветер постоянный и более сильный. При движении транспортных средств [4; 5] возникают волны давления и разряжения воздуха, что может способствовать работе ветряных турбин. Специалисты из Стамбула создали вертикальную ветровую турбину ENLIL, которая работает от воздушных потоков, создаваемых быстро движущимися автомобилями. Завихрения от проходящих грузовых автомашин и современных автобусов заставляют ветрогенератор вращаться еще сильнее, а вертикальное расположение длинных лопастей обеспечивает максимальный захват потока.

Турбины ENLIL занимают относительно немного места на земле, легки в сборке-разборке и эксплуатации (рис. 1). Турбина подключена к генератору, и произведенная энергия может поступать в сеть или храниться в аккумуляторах до момента, когда она понадобится [6].



Рис. 1. Турбины Enlil, установленные в Стамбуле

В работе предлагается устанавливать вдоль автомобильных дорог международного значения Республики Каракалпакстан ветротурбинные генераторы с контроллером МРРТ. Полученную электроэнергию можно использовать по-разному, например, для освещения дорог и улиц, зарядки электромобилей и электробусов. Республика Каракалпакстан занимает особое место среди регионов Республики Узбекистан. Она имеет самую большую площадь – 166600 км<sup>2</sup>. Автомобильные дороги Республики Каракалпакстан – 4262,1 км, в том числе международного значения – 664 км.

В Республике Каракалпакстан средние значения скорости ветра в течение года одни из самых высоких среди регионов Узбекистана [7; 8].

Средние значения скорости ветра по областям Республики Узбекистан в течение года приведены в табл. 1.

Мощность воздушного потока, создаваемого естественным ветром, составляет

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{C_p \cdot m \cdot v^3}{2} = \frac{C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3}{2} \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $C_p$  – коэффициент использования энергии ветра, для выбранного ВЭУ  $C_p = 0,19$ ;  $v$  – скорость воздушного потока, м/с;  $S$  – ометаемая площадь, м<sup>2</sup>, для выбранного ветрогенератора  $S = 2 \text{ м}^2$ .

Таблица 1

Средние значения скорости ветра в областях  
Республики Узбекистан в течение года

№	Название области	Средние значения скорости ветра в течение года	
		км/час	м/сек
1	Республика Каракалпакстан	15,73	4,37
2	Андижанская область	7,68	2,13
3	Бухарская область	15,85	4,40
4	Джизакская область	9,16	2,54
5	Кашкадарьинская область	13,44	3,73
6	Навоийская область	15,63	4,34
7	Наманганская область	9,73	2,70
8	Самаркандская область	11,90	3,31
9	Сурхандарьинская область	11,21	3,11
10	Сырдарьинская область	10,35	2,88
11	Ташкентская область	9,75	2,71
12	Ферганская область	8,47	2,35
13	Хорезмская область	15,48	4,30

Предлагается использовать в качестве ветрогенераторной установки китайский ветротурбинный генератор с контроллером МРРТ. Эффективность таких ветрогенераторов очень высокая. На примере метрополитена можно видеть, что 7–8 % электроэнергии в общем балансе метрополитена потребляется осветительными устройствами. Энергию, вырабатываемую ветрогенераторами, можно использовать для питания осветительных устройств перегона, а также станций метрополитена [9–12].

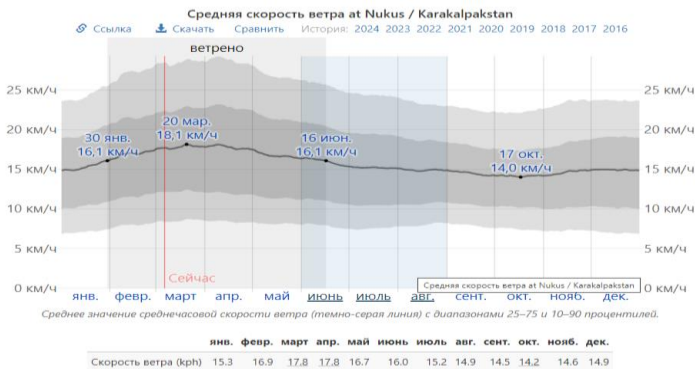


Рис. 2. Средняя скорость ветра в Нукусе (Каракалпакстан)



В табл. 2 приведены технические характеристики и цена ветротурбинного генератора с контроллером МРРТ (рис. 3).

Таблица 2

Технические характеристики и цена ветроустановок ветротурбинного генератора с контроллером МРРТ

Изготовитель	Напряжение, В	Мощность, Вт	Цена
			сум
Китай	12,24	400	1486255,40



Рис. 3. Ветрогенератор с контроллером МРРТ

Ветрогенераторы с контроллером МРРТ очень чувствительны даже к небольшим скоростям ветрового потока и начинают вырабатывать энергию даже при скоростях ветра 2 м/с. Имеется возможность для подключения к сети. Такие ветрогенераторы могут быть расположены вдоль трасс с высоким транспортным потоком (рис. 4).

Произведем расчет естественной генерации за счет ВЭУ в предположении, что ВЭУ работают в обычном режиме за счет естественных ветров.

По результатам исследования скорость воздушного потока, создаваемого проезжающим автомобилем, составляет около 60 км/ч или 16,67 м/с. Тогда мощность воздушного потока, рассчитанная по формуле (1):

$$P = \frac{0,19 \cdot 1,226 \cdot 2 \cdot 16,67^3}{2} = 1371,12 \text{ Вт.}$$

За время проезда автомобиля, т. е. за 0,267 с, имеем реальную полученную электрическую энергию

$$E = Pt,$$

$$E = 1371,12 \cdot 0,267 = 366 \text{ Вт}\cdot\text{с}.$$

Тогда получаем 152,5 Вт·ч энергии от 15000 автомобилей в сутки с перекрестка, а эта энергия в год равна

$$E = 152,5 \cdot 365 = 556,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$



Рис. 4. Ветряные установки, установленные вдоль дороги

Предположим, что ветряные турбины работают нормально за счет естественных ветров, и что естественная генерация осуществляется за счет ветряных турбин (рис. 4).

Мощность воздушного потока, создаваемого естественным ветром, составляет

$$P = \frac{0,19 \cdot 1,226 \cdot 2 \cdot 4,4^3}{2} = 19,84 \text{ Вт}.$$

Электроэнергия, произведенная одним ветрогенератором в течение года из-за естественного ветра:

$$E_{\text{ест}} = 19,84 \cdot 24 \cdot 365 = 173,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Если построить на 100 километрах сети автодорог международного значения в Каракалпакистане ветропарк из 10000 ветрогенераторов по обочинам дорог международного значения то можно подсчитать количество выработанной электрической энергии за сутки и за целый год.

Составляем табл. 3 расчетов электрической энергии и суммарную стоимость выработанной электрической энергии ветрогенераторами.

Таблица 3

Таблица характеристик ветряных генераторов при естественном ветре и при ветре от проезжающих автомобилей

№	Наименование характеристики	Характер ветра		
		Естественный	От проезжающих автомобилей	Совокупный ветер
1	Скорость воздушного потока, км/час (м/с)	15,73(4,37)	60 (16,67)	75,73(21)
2	Мощность воздушного потока, Вт	19,84	1371	1390,84
3	Электроэнергия, произведенная одним ветрогенератором в сутки, кВтч	0,476	32,9	33,376
4	Электроэнергия, произведенная одним ветрогенератором в течение года, кВтч	173,8	556,6	730,4
5	Электроэнергия, произведенная всеми (10000) ветрогенераторами в течение года, кВтч	$10000 \times 173,8 = 1738000$	$10000 \times 556,6 = 5566\ 000$	7304000
6	Стоимость электроэнергии, произведенная одним ветрогенератором в течение года, сум	$173,8 \times 900 = 156420$	$556,6 \times 900 = 500940$	657360
7	Стоимость электроэнергии, произведенная всеми (10000) ветрогенераторами в течение года, сум	1564200000	5009400000	6573600000
8	Средняя стоимость одного ветрогенератора, сум	1486255,40		
9	Средняя стоимость всех ветрогенераторов, сум	$1486255,40 \times 10000 = 14862554000$		
10	Срок окупаемости всех ветрогенераторов, год	2,26 лет (2 года и 3 месяца)		

Как видно из табл. 3, срок окупаемости всех ветрогенераторов, установленных вдоль автомобильных дорог международного значения

Республики Каракалпакистан составляет 15 месяцев (2 года и 3 месяца). Полученную электроэнергию можно использовать по-разному, например, для освещения дорог и улиц, зарядки электромобилей и электробусов.

### Литература

1. Ахмедов, А. П. Выработка электрической энергии путем использования ветра, поднятый движущимися транспортными средствами / А. П. Ахмедов, Ш. П. Жовлиев, С. Б. Нормуродов // Точная наука. – 2019. – № 68. – С. 18–22.

2. Ахмедов, А. П. Способ получения электроэнергии от ветра проезжающих транспортных средств / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергандов, О. М. Угли Кутбидинов, Д. Ф. Угли Усмонов // Universum: технические науки. – 2022. – Vol. 104, № 11-3. – <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-polucheniya-elektroenergii-ot-vetra-proezzhayuschih-transportnyh-sredstv>.

3. 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 науч.-техн. конф., 28–29 апреля 2022 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 393–397.

4. Мирошниченко, А. А. Исследование воздушных потоков, возникающих вследствие прохождения железнодорожного состава, и рассмотрение возможности их использования / А. А. Мирошниченко, Е. В. Соломин // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конф. Секции технических наук, 2018. – Челябинск: ЮУрГУ, 2018. – С. 475–483.

5. Ахмедов, А. П. Определения потенциала и способ получения электроэнергии от ветра в ветряных регионах Республики Узбекистан / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергандов, Н. П. Юркевич // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы III республиканской научно-технической конференции, 27–28 апреля 2023 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 442–447.

6. Инновационный ветрогенератор Enlil работает от проезжающих мимо автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sgs-company.de/v/#home>. – Дата доступа: 12.07.2022.

7. 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. – Vol. 4, № 2. – P. 208–217. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7820228>.

8. Ahmedov, 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 of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 461. - P. 01073.

9. Akhmedov, A. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / Abduraxman Akhmedov, Galina Sauchuk, Natallia Yurkevich, Sardorbek Khudoyberganov, Mahammatyakub Bazarov, Karimberdi Karshiev // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Vol. 264. – P. 04020.

10. Sauchuk, H. Dielectric and microwave properties of ceramics of the Bi-Ti-O system / H. Sauchuk, N. Yurkevich, A. Akhmedov, S. Khudoyberganov, S. Kayumov, U. Berdiyarov // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401. – P. 05076.

11. Ахмедов, А. П. Применение пьезоэлектрических преобразователей для освещения зданий / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганоу // Точная наука. – 2018. – № 25. – С. 2–5.

12. 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. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 433–437.

УДК 629.423.31

### **Инновационное применения солнечных панелей для резервирования электроснабжения на железнодорожном транспорте**

Иксар Е. В., Каюмов С. Н.

Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассматриваются возможные варианты применения солнечных панелей для резервирования и альтернативного энергоснабжения устройств железнодорожной автоматики. Климатические и географические условия Узбекистана позволяют активно использовать энергию солнца для получения электрической и тепловой энергии в промышленных масштабах. Предложены возможные варианты применения солнечных панелей на железнодорожном транспорте. Приведен зарубежный опыт применения солнечных панелей. Описаны преимущества альтернативной энергетики в производственной деятельности железнодорожного транспорта*

Развитие современного железнодорожного транспорта Узбекистана связано с эффективностью и доступностью энергетических ресурсов. Электрификация транспортной структуры Узбекистана постоянно модернизируется. Первоначально приоритетными были технологии с использованием постоянного тока, с развитием преобразовательной техники и модернизации систем управления они стали уступать место технологиям, ориентированным на использование переменного тока. На сегодняшний день, во всем мире особое внимание уделяется использованию «зеленых» технологий, которые являются наиболее энергоэффективными [1–3]. Для железнодорожного транспорта солнечную энергию можно использовать для обеспечения тяги поездов, резервирование объектов автоматики, питание систем управления, питание цепей вспомогательного оборудования. Направление стратегии энергоэффективности железнодорожного транспорта разделены по принципу отношения к тяговым и нетяговым показателям. К тяговым показателям относят:

- повышение энергоэффективности перевозочного процесса;
- совершенствование методов управления движением поездов;
- •повышение показателей использования локомотивов;
- •повышение показателей тягового электроснабжения.

Нетяговые показатели:

- улучшение технического состояния подвижного состава и путевого хозяйства;
- повышение уровня возврата энергии рекуперации на электрической тяге;
- повышение энергоэффективности;
- оптимизация питания вспомогательного оборудования.

Климатические и географические условия Узбекистана позволяют активно использовать энергию солнца для получения электрической и тепловой энергии в промышленных масштабах. Потенциал солнечной энергии Узбекистана оценивается в 50973 млн. тонн нефтяного эквивалента, что составляет 99,7 % от суммарного потенциала всех исследованных к настоящему времени на территории республики ВИЭ, технический потенциал – 176,8 млн. т.н.э. (98,6 % от суммарного технического потенциала ВИЭ). Ежегодное количество солнечного излучения, которое приходится на территорию Узбекистана, по абсолютному значению превышает энергетический потенциал разведанных запасов углеродного сырья страны. Тем не менее, в настоящее время освоено только 0,6 млн. т.н.э. солнечной энергии, что составляет всего 0,3 % от общего технического потенциала. Использование солнечной энергии даёт большие перспективы.

Таблица 1

## Показатели солнечного излучения по регионам [4]

	Регионы	$\Sigma_{\text{сд}}$ , кВт час/м <sup>2</sup>	n, час	n/n <sub>2</sub> , час
1	2	3	4	5
1	Север Республики (Республика Каракалпакстан, Хорезмский вилоят и север Навоийского вилоята)	1900-2100	2900-3000	11/4
2	Юг республики (Кашкадарьинский и Сурхандарьинский вилояты)	1900-1960	2950-3050	12,6/4,6
3	Ферганская долина (Ферганский, Андижанский и Наманганский вилояты)	1500-1550	2650-2700	11,2/3,9
4	Зеравшанская долина (Самаркандский, Джизакский, Бухарский вилояты и юг Навоийского вилоята)	1910-1980	2930-3000	12,6/3
5	г.Ташкент	1943	2852	12,6/3

Энергосистема Узбекистана при генерации электроэнергии 66,4 млрд кВтч требует необходимого потребления 69,14 млрд кВтч. В перспективе индустриального развития Узбекистана эта цифра может достичь 117 млрд кВтч, а доля альтернативной энергетики в общем объеме производства электроэнергии в республике в 2030 году должна увеличиться до 25 %. Для решения энергетических проблем в последние годы разрабатывается новая энергетическая политика Узбекистана, основанная на использовании гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии (HRES – Hybrid Renewable Energy System), в которых традиционные источники электроэнергии объединяются с фотоэлектрическими модулями. В существующих гибридных энергетических системах не учитываются требования эффективности, не учитывается стоимость электроэнергии, вырабатываемой различными поставщиками. Инновационное развитие современных солнечных панелей позволяет снизить себестоимость солнечной энергии и тем самым решить вопрос применения их на железнодорожном транспорте.

Природные условия всех регионов Республики Узбекистан позволяют получить максимальное концентрирование солнечного излучения. Продолжительность солнечного сияния составляет 2200–3000 часов в год, энергия солнечного излучения – 1200 кВт/м<sup>2</sup> в год [4]. В южных районах В южных районах продолжительность солнечного излучения составляет от 2000 до 3000 часов в год, а годовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность – от 1280 до 1870 кВт/ч на 1 м<sup>2</sup>. В наиболее солнечном месяце, июле, количество энергии, приходящейся на 1 м<sup>2</sup> поверхности и составляет от 6,4 до 7,5 кВт/ч в день. В качестве альтернативного независимого источника могут быть использованы: независимое питание из общей сети энергоснабжения или специальные преобразователи, аккумуляторные батареи; переключение на резервный источник происходит автоматически. Электропитание устройств железнодорожной автоматики осуществляется постоянным током, переменным однофазным током,

трехфазным током. Напряжения в системе электропитания устройств ответственуют ряду напряжений [5]:

– номинальные напряжения постоянного тока (в вольтах):  $U = 5, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 120, 136, 220$ ;

– номинальные напряжения переменного однофазного тока (в вольтах):  $U = 12, 24, 55, 60, 110, 115, 130, 145, 220, 230$ ;

– номинальные напряжения трехфазного тока (фазовые/в вольтах):  $U = 115, 127, 220, 230, 380, 550, 1000$ .

В зависимости от назначения солнечные панели могут использоваться в качестве основной электропитающей установки, которая соединяется с промышленной сетью, или резервной автономной электростанцией. В качестве электропитающей установки используются альтернативные источники тока с соответствующими преобразователями. Функциональная схема солнечной электроустановки показана на рис 1.

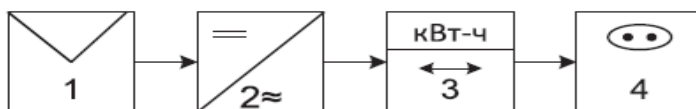


Рис. 1. Функциональная схема солнечной электроустановки:

1 – ФЭ-модуль; 2 – инвертор; 3 – счетчик электроэнергии; 4 – мощная сеть

По экономическим соображениям на железнодорожном транспорте в качестве функциональных солнечных модулей применяются монокристаллические солнечные элементы [6]. Применение монокристаллических элементов дает потери в устройствах преобразования и накопления электроэнергии (аккумуляторах, инверторах, распределителях и т. п.), это приводит к тому, что реальные значения мощности, выдаваемой фотоэлементными установками, значительно меньше потенциально возможных.

Для инновационных фотоэлектрических систем преобразования солнечной энергии основным элементом является монокристаллический и поликристаллический кремний, ленточный, листовой, слоистый, аморфный, а также теллурид кадмия и арсенид галлия, и преобразователи со структурой AlGaAs-GaAs, производительность которых достигает 22 % (кремниевые элементы дают всего 12–17 %), эти элементы являются трудоёмкими в изготовлении, имеют высокую стоимость, что удорожает себестоимость солнечных панелей [4]. В мировом производстве доля кремния составляет 75 %. Выбор кремния в качестве исходного материала для фотоэлементов позволяет достигнуть минимальных потерь на отражение. Кремниевые фотоэлементы менее чувствительны к температурным колеба-



ниям, что важно в условиях работы железнодорожного транспорта. Габариты поездов позволяют использовать крыши подвижного состава, подзарядка может производиться во время стоянки. Предлагается установка монокристаллических солнечных панелей величиной от трех до 10 м<sup>2</sup>, с накопителем на основе литий-железо-фосфатного аккумулятора (LiFePO<sub>4</sub>, LFP) среднесуточным потреблением до 30 кВтч. Панели могут быть установлены на конструкции опор энергоснабжения либо на раме вблизи стрелочного перевода, тем самым обеспечивается наиболее близкое расположение солнечной панели от привода железнодорожной стрелки (рис. 2)

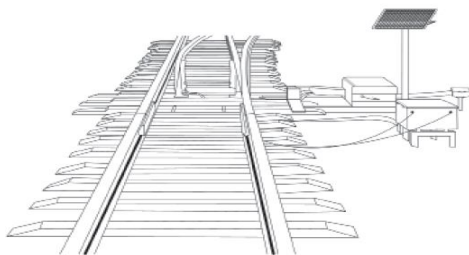


Рис. 2. Установка альтернативного источника энергоснабжения рядом с электроприводом железнодорожной стрелки

В условиях мирового кризиса цена на поликристаллический кремний снижается, однако потребность в материале для фотоэлектрических элементов остаётся постоянной. Снижение стоимости кремния как необходимое условие получения фотоэлектрической энергии, сопоставимой с энергией, получаемой из других источников, возможно двумя путями:

- получение монокристаллического кремния полупроводниковой частоты;
- получением дешевого монокристаллического кремния, менее эффективного для производства фотоэлектрических преобразователей.

Поэтому электроэнергию, получаемую от фотоэлектрических преобразователей, нельзя рассматривать как альтернативу традиционной электроэнергии. Однако можно рассматривать как возможность снабдить электроэнергией потребителя, удаленного от электросетей или имеющий резервный источник на случай отказа основной системы электроснабжения. Это могут быть установки сравнительно небольшой мощности, имеющих в своем составе аккумуляторную батарею для электроснабжения в темное время суток.

Переход к тонкопленочным элементам позволит существенно снизить стоимость установленного киловатта электроэнергии. Конструктивно сол-

нечные панели транспортных средств не отличаются от своих стационарных вариантов. Энергия, выработанная солнечными панелями, может использоваться для обеспечения работы двигателя, вспомогательного оборудования: моторы вентиляторов, двигатели тормозных компрессоров, цепи освещения. В процессе выработки энергия попутно накапливается в аккумуляторных батареях с целью дальнейшего использования для нужд вспомогательного оборудования [4].

Применение солнечных энергетических установок на железнодорожном транспорте имеет следующие преимущества:

- экологически чистое производство электроэнергии, отсутствие выбросов парниковых газов;
- универсальность применения;
- простота конструкции и малый вес;
- бесшумность при работе;
- модульный принцип набора мощности;
- высокая надежность.

Исходя из этого, солнечная энергетика становится важным энергетическим ресурсом железнодорожной отрасли. Работа по внедрению солнечных панелей на железнодорожном транспорте ведется в двух основных направлениях:

1. Электропитание поездов путем установки батарей непосредственно на крыше подвижного состава.
2. Электропитание от солнечных батарей инфраструктуры и устройств сигнализации (работа вспомогательных агрегатов, освещение, системы кондиционирования воздуха и пр.).

Эффективность и надёжность электроснабжения железных дорог, применение новых источников энергии, ресурсосберегающих технологий и децентрализация энергоснабжения железных дорог даст большую экономию электроэнергии и существенно повысит безопасность движения, позволит иметь дополнительные источники электроэнергии для резервирования ответственных устройств железнодорожной автоматики.

Перспективной сферой применения фотоэлектрических питающих установок могут стать устройства железнодорожной автоматики, которые имеют малое энергопотребление. Внедрение фотоэлектрических устройств на этапе проектирования участков, к которым еще не подведено централизованное питание.

### **Литература**

1. 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 науч.-техн. конф., 28–29 апреля 2022 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 393–397.

2. Мирошниченко, А. А. Исследование воздушных потоков, возникающих вследствие прохождения железнодорожного состава, и рассмотрение возможности их использования / А. А. Мирошниченко, Е. В. Соломин // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конф. Секции технических наук, 2018. – Челябинск: ЮУрГУ, 2018. – С. 475–483.

3. Ахмедов, А. П. Определения потенциала и способ получения электроэнергии от ветра в ветряных регионах Республики Узбекистан / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойбергенов, Н. П. Юркевич // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы III республиканской научно-технической конференции, 27–28 апреля 2023 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 442–447.

4. Iksar, E. Improving the energy efficiency of traction motors taking into account the assessment of the thermal condition / E. Iksar, Z. Nazirova // International Journal of Advanced Logistics, Transport and Engineering. – 2022. – Vol. 2, № 2. – P. 14–19.

5. Безруких, П. П. Научно-техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлений использования возобновляемых источников энергии: дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.14.08 / П. П. Безруких. – М., 2003. – 268 с.

6. Аллаев К. Р. Энергоэффективность и возобновляемые источники энергии / К. Р. Аллаев // Современные научно-технические решения эффективного использования возобновляемых источников энергии: Проблемы энерго- и ресурсосбережения: материалы Междунар. конф. 2011. – Ташкент: ТГТУ, 2011. – С. 123–126.

УДК 621.38 (075)

**Innovative technologies of electrical contacts for electrical devices  
in energy construction: contact materials**

Kayumov S. N., Jiyankulov L. A.  
Tashkent State Transport University  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

*The article considers the electrical contacts used in power systems and networks of electric rolling stock of railway transport, taking into account the operating modes and traction characteristics of a traction electric motor. The main types of contacts and contact materials used for the manufacture of con-*

tacts operating in electrical and electronic devices of ERS (electric rolling stock) are given.

Today, innovative technologies in hydraulic engineering, energy construction, water and railway transport are relevant. The requirements for a modern live part are special and therefore different cermet materials are used to manufacture new contacts.

Contacts in devices are called current-carrying parts, when they come into contact with an electric circuit during operation of the device. The contacts of devices used to close and open a circuit without current are usually called disconnecting or disconnecting.

Despite the wide variety of geometric shapes of traction apparatus contacts, they can be divided, depending on the type of contact surface at the point of electrical contact, into three varieties, conventionally called surface, linear and point. Fig. 1 shows some types of contacts [1].

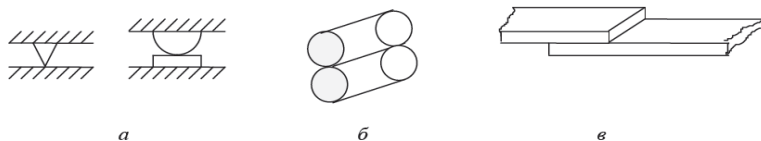


Fig.1. Types of contacts:  
*a* – point; *b* – linear; *c* – surface

In addition, the devices have detachable contact connections, which do not open during operation of the devices, but serve only to disconnect part or the entire device during replacement or repair. Such connections are made by means of clamps (bolts, nuts, etc.) and therefore they are called contact clamps.

The contact connections carried out by soldering are called non-removable. At the point of contact of the contacts, additional contact resistance of the gc and loss of Rp energy occur. These losses mainly determine the heating of the contacts [2].

The physical nature of the contact resistance is revealed when considering the point of contact of the contacts, depicted with a high degree of magnification. Regardless of the quality of the processing of the working surfaces of the contacts, they have micro-dimensions, as a result of which the contacts do not touch each other over the entire surface, but in a limited number of points [3]. As the pressure of the contacts increases, the microscopic protrusions at the contact points deform, shorten, and the area and number of contact points increase,

which leads to a decrease in contact resistance. This dependence is confirmed by theoretical and experimental studies.

The electrical resistance of the contacts is inversely proportional to the contact pressure and does not depend on the area of their contact. This explains the predominant use of linear and point contacts, in which a large specific pressure contributes to a better cleaning of the contact surface from oxide.

*Surface contact* is formed by the contact of two flat surfaces. The surface contacts allow very large depressions without damage, so that the contact resistance is reduced to a minimum. In particular, this is why they are used in some powerful circuit breakers.

*The linear contact* is formed by current-carrying parts touching along the line. In fact, the contact surface is a narrow rectangular strip. High specific pressures are created in such contacts and therefore it is easy to crumple the oxidized contact protrusions and obtain a relatively low contact resistance with relatively small pressures. Linear contacts are used in most traction devices.

*Point contact.* The two spherical surfaces touching form a point contact, which, due to the crumpling of the metal of the contacts, practically has the shape of a small circle. Point contacts provide high specific pressures and low contact resistance even in the case of very small pressure. Therefore, point contacts are especially widely used in devices where the pressing force is low (relays, locking contacts) [4].

Contact materials. The main necessary properties of the contact material — high electrical conductivity and arc resistance - cannot be obtained due to alloys of materials such as silver and tungsten, copper and tungsten.

Silver. Positive properties: high electrical and thermal conductivity, the silver oxide film has low mechanical strength and quickly collapses when the contact point is heated [3]. The silver contact is stable, due to the low mechanical strength, small presses are sufficient (used when pressing 0.05 N and above). Contact stability and low transient resistance are characteristic properties of silver.

Negative properties: low arc resistance and insufficient hardness of silver prevent its use in the presence of a powerful arc and with frequent switching on and off.

It is used in relays and contactors at currents up to 20 A. At high currents up to 10 kA, silver is used as a material for the main contacts operating without an arc.

Aluminum. This material has a sufficiently high electrical conductivity and thermal conductivity. Due to the low density, the current-carrying part of the circular section made of aluminum with the same current as the copper conductor has almost 48 % less mass. This allows you to reduce the weight of the device.

Disadvantages of aluminum:

- 1) formation of films with high mechanical strength and high resistance in air and in active media;
- 2) Low arc resistance (melting point is much lower than that of copper and silver);
- 3) Low mechanical strength;
- 4) upon contact with copper, steam is formed, which is subject to severe electrochemical corrosion.

In this regard, when combined with copper, aluminum must be coated with a thin layer of copper electrolytically, or both metals must be coated with silver.

Aluminum and its alloys (duralumin, silumin) are mainly used as a material for tires and structural parts of vehicles.

**Tungsten.** The positive properties of tungsten are high arc resistance, high resistance to erosion, welding. The high hardness of tungsten allows it to be used with frequent switching on and off.

The disadvantages of tungsten are high resistivity, low thermal conductivity, and the formation of strong oxide and sulfide films. Due to the high mechanical strength and film formation, tungsten contacts require a lot of pressure.

Corrosion—resistant materials such as gold, platinum, palladium and their alloys are used in electromagnetic relays for low currents with a slight push.

**Metal-ceramic materials.** Consideration of the properties of pure metals shows that none of them fully meets all the requirements for discontinuous contacts. For contacts of high-voltage devices, the most widely used cermets are КМК-А 60, КМ КЛ 61, КМК-В20, КМК-В21 [4].

In low-voltage devices, КМК-А10 cermets made of silver and cadmium oxide CdO have become the most widespread. A distinctive feature of this material is the dissociation of CDOs into cadmium and oxygen vapors. The released gas causes the arc to move rapidly over the contact surface, which significantly reduces the contact temperature and contributes to the deionization of the arc.

Металлокерамика, состоящая из серебра и 10 % окиси меди, КМК-А20 еще более стойка к износу, чем КМК-А10.

Silver-nickel contacts are well processed and have high resistance to electrical wear. The contacts provide a low and stable transient resistance in operation. However, they are easier to weld than contacts made of КМК-А60, КМК-В20, КМК-А10 material. Fig. 2 shows some contact designs.

When the device is operating, electrical energy losses occur in its current-carrying circuit, insulation and structural parts, which are converted into heat. Thermal energy is partially consumed to increase the temperature of the device and partially released into the environment.

As the temperature increases, the insulation of the conductors ages rapidly and their mechanical strength decreases. So, for example, if at a given permissi-

ble long-term temperature, the service life of the conductor insulation is reduced (with prolonged operation and an increase in temperature of only 8 °C, the service life is reduced by 2 times). When the temperature of copper increases from 100 to 250 °C, the mechanical strength decreases by 40 %. It should be borne in mind that in case of a short circuit, when the temperature can reach the limit values (200–300 °C), the current-carrying parts are exposed to large electrodynamic forces.

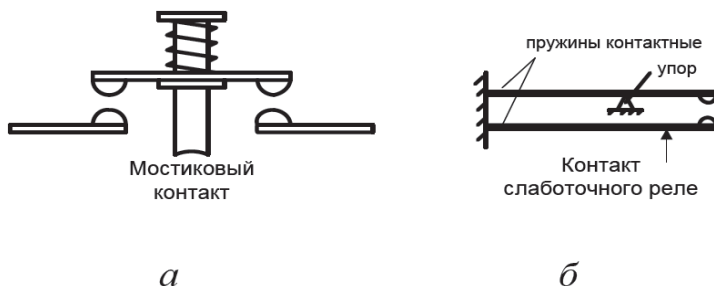


Fig. 2. Contact designs:  
*a* – bridge contact; *б* – low-current relay contact

The operation of the contact connections is also highly dependent on temperature.

Heating of the current-carrying parts and insulation of the device largely determines its reliability. Therefore, in all possible operating modes, the temperature of the parts of the device should not exceed such values at which its long-term reliable operation is ensured. In direct current devices, heating occurs only due to losses in the active resistance of the current-carrying circuit.

For a homogeneous conductor, the resistance  $R$ , knowing the properties of the material, the length and cross-section of the conductor, is easy to find.

At alternating current, the active resistance of the conductor differs from the resistance at direct current due to the appearance of the surface effect and the proximity effect.

In high-voltage alternating current devices, in addition to losses in conductive and ferromagnetic materials, it is necessary to take into account losses arising in insulation. These losses are determined by the formula

$$P = 2nfCU^2 \operatorname{tga},$$

where  $f = 50$  Hz is the network frequency;  $C$  is the insulation capacity;  $U$  is the effective value of the insulation voltage;  $\text{tg}$  is the tangent of the dielectric loss angle.

The insulation of the device is heated both due to losses in the current-carrying circuit and due to losses in the dielectric.

Methods of heat transfer inside heated bodies and from their surface:

There are three types of heat transfer: thermal conductivity, convection and thermal radiation [5].

Thermal conductivity. Thermal conductivity is the process of heat propagation between directly touching particles caused by the thermal motion of molecules or atoms of a substance, and in metals - free electrons.

### References

1. Berdiev, U. T. Electrical and electronic EPS equipment / U.T. Berdiev, B.H. Khushbakov, S.N. Kayumov. – Tashkent: Sams ASA, 2014. – 212 p.
2. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – Москва: Маршрут, 2005. – 360 с.
3. Zabolotny, N. G. Electrical devices of electric locomotives of direct and alternating current / N. G. Zabolotny. – М: Route, 2005. – 36 p.
4. Rivkin, G. A. Converter device / G. A. Rivkin. – М: Energy, 1970. – 544 p.
5. Розанов, Ю. К. Силовая электроника: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов; под редакцией Ю. К. Розанова. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 206 с.

УДК 621.3.011

### **Innovative technologies of electrical energy conversion system with regulation in electric drive**

Kayumov S. N., Khakimov S. Kh.  
Tashkent State Transport University,  
Tashkent, Republic of Uzbekistan

*This system explores innovative technologies in the field of electrical power conversion with a focus on control in the context of electric drive. The abstract covers advanced methods and tools aimed at efficient and controllable electrical energy conversion to improve the efficiency and functionality of electric drive systems.*



Today, innovative technologies in the field of hydraulic and power engineering construction, as well as in water and railway transport remain in demand and relevant.

As part of the implementation of Presidential Decree No. PP-329 of 10 October 2023 aimed at radical reform of the railway transport sector, new stages of effective use of the country's transit potential are being initiated. The focus is on transformation of the railway industry, creation of a competitive environment, active involvement of business processes and introduction of modern management methods.

Electric transport plays a key role in increasing the global demand for electricity with a significant environmental impact. This makes electric transport for the movement of passengers and freight economically viable. Automatic speed control of vehicles is widely used in the railway industry. The in-depth study of automation systems based on semiconductor technology and the regulation of electric power conversion in electric drive brings significant economic benefits [1].

The most common type of converter devices are uncontrolled rectifiers. These devices, built on simple and affordable semiconductor diodes, stand out for their maximum simplicity, reliability, high efficiency and sufficiently high quality of the rectified voltage, as well as harmonic composition of the current consumed from the network. However, due to the lack of controllability of the energy conversion process, they cannot be used independently to create controlled electric drives. They are usually combined with other controllable devices such as voltage regulators or stand-alone inverters.

Controllable rectifiers, typically using low-frequency thyristors, are free of many disadvantages and have most of the advantages over diode rectifiers. With their high efficiency and reversible power conversion capability, they are used as the main conversion devices in DC drive systems or as part of two-stage power conversion systems [2].

Disadvantages of thyristor rectifiers are expressed in increased levels of rectified voltage ripple, reduced power factor, which decreases in proportion to the output voltage, and unidirectional flow of the output current. To enable bidirectional current flow through the load, reversible thyristor converters are used, comprising two thyristor rectifiers connected in counter-parallel. One of them is designed to flow current in the forward direction and the other in the reverse direction, thus providing full functionality of the converter.

Frequency Converters (FCs) used in AC drive systems convert the AC three-phase mains voltage, and its magnitude and frequency can be independently controlled. Despite several advantages such as the use of low-frequency thyristors, high efficiency, and the possibility of reverse power transfer, LFDs have disadvantages such as complex power circuitry, limited output frequency range,

increased sensitivity to line voltage quality, significant distortion of the output voltage waveform, and low power factor. As a result of these limitations, the application of such converters is restricted fig. 1 [3].

Another type of frequency converter is a system based on a rectifier of three-phase alternating mains voltage and an autonomous inverter converting the rectified voltage into an alternating three-phase voltage. The with adjustable frequency and amplitude. Despite the additional stage of energy conversion and the associated slight decrease in efficiency, such frequency converters with a DC intermediate link have found wide application in various electrical installations.

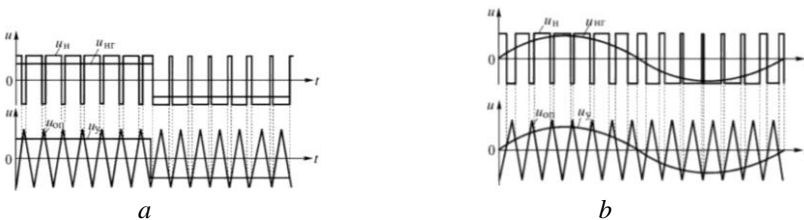


Fig. 1. Shape of output voltage  $U_{out}$ , main harmonic  $U_{IAIV}$ :  
*a* – single-phase AIV with PWR; *b* – single-phase AIV with PWM

In AC systems with frequency-controlled electric drives, stand-alone current inverters (AIC) and voltage inverters (AIV) are used. The AIC, which shapes the output current curves in the load, is often used with a controlled thyristor rectifier. This rectifier regulates the magnitude of the inverter input current, thereby determining the amplitude of the output currents. Frequency inverters with AIC have several advantages, such as the ability to use conventional thyristors and the ease of converting the power from the motor back to the grid via the AIC and controlled rectifier (converted to dependent inverter mode) [4; 6].

The main disadvantages include:

- low input power factor,
- deviations from the sinusoidal form of output voltages and currents,
- limited possibilities to regulate the output frequency and change the load parameters.

Two-stage frequency inverters based on autonomous voltage inverters are more widely used. Unlike Autonomous Current Inverters, which include an inductance in the DC circuit at their input, an AIV has a parallel connected capacitance at the input as a mandatory element. This allows the use of semiconductor keys to connect this capacitance to the output terminals, which enables the generation of voltage curves at the load. By using an uncontrolled rectifier, a high input power factor is achieved and the output voltage can be regulated using

pulse width regulation (PWR) or the more advanced pulse width modulation (PWM) method.

There are different realizations of pulse width regulation and pulse width modulation. In the case of bipolar PWM, each half-wave of the output voltage of a single-phase stand-alone voltage inverter is a number of usually identical pairs of rectangular pulses of opposite polarity, as shown in fig. 1a. Regulation of the amplitude of the fundamental harmonic of the voltage is achieved by changing the ratio of the duration of positive and negative rectangular pulses [1,5].

Bipolar pulse width modulation is a special case of pulse width regulation, in which the change in the ratio of pulse widths of opposite polarity during each half-wave of the output voltage is adjusted so that the average value of each pair of pulses during the period of their repetition frequency corresponds to the instantaneous value of the main harmonic of the output voltage in the middle of the averaging interval. The output voltage graph of an autonomous voltage inverter for such a dual polar PWM is shown in fig. 1 b.

When forming the output voltages of a three-phase autonomous voltage inverter, each of the load phases is connected to one of the two poles of the input DC voltage at any given time. At this point, three possible combinations of connection of the other two phases are possible:

- 1) both phases are connected to the same pole;
- 2) one of the phases is connected to the same pole and the other to the opposite pole;
- 3) both phases are connected to the opposite voltage pole.

The frequency of the higher harmonic components of the output voltage is determined by the PWM frequency, which, when using modern IGBT-type transistors in the AIV, can be increased to a value of more than 4 kHz without a noticeable decrease in the efficiency of the converter. Therefore, despite the significant amplitude level of the higher harmonics of the AIV voltage, the currents of the active-inductive load are practically sinusoidal fig.2.

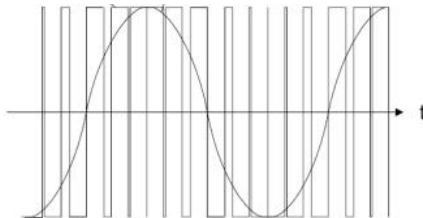


Fig. 2. The shape of the output voltage  $U_{out}$  of one phase of a three-phase AIV with PWR

In the mode of a frequency-controlled electric drive, dynamic braking can be used, in which the stator windings of the motor are powered by direct current from an autonomous voltage inverter. If the effectiveness of such braking is insufficient, generator braking is used with the transfer of active power through the AIS to the DC circuit of the frequency converter. To prevent an increase in voltage on the DC filter capacitance in the case of power transmission to the network through an uncontrolled rectifier, the capacitance is discharged using a transistor pulse regulator on a brake resistor. If the amount of energy transferred is significant and it is advisable to transfer to an alternating current network, a controlled rectifier is used. A transistor AIV with PWM at the input of the frequency converter acts as an inverter in braking modes, providing energy recovery, and in motor mode it turns into a rectifier. This ensures the sinusoidal nature of the mains currents and the regulation of the reactive power of both signs. The use of identical transistor devices at the input and output of the frequency converter is an additional advantage.

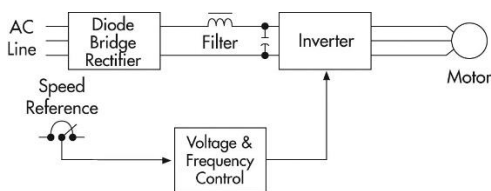


Fig. 3. Frequency-controlled electric drive: rectifier; filter; autonomous voltage inverter; frequency converter control devices [2; 7]

Thus, after the analysis, it can be concluded that the optimal structure of a modern frequency-controlled asynchronous electric drive, taking into account energy, adjustment and mechanical characteristics, involves the use of a frequency converter with a DC intermediate. This link consists of a rectifier with an inductively capacitive DC voltage filter and an autonomous voltage inverter built on IGBT type power transistors and forming the main harmonic of the output voltage by pulse width modulation. An adjustable electric drive based on the structure shown in fig. 3 has a number of advantages, including:

- wide range of regulation ( $D = 30\text{--}60$  and more);
- high efficiency (excluding the engine reaching 0,98);
- high power factor (up to 0,98);

as well as high reliability and compactness of the converter. These factors confirm the choice of this power structure in the development of frequency-controlled drives of the AT series.

### References

1. Kayumov, S. N. Kuch elektronikasi va metro vagonlari elektr qurilmalari / S. N. Kayumov. – Tashkent: Transport, 2023. – 143 c.
2. Berdiev, U. T. Elektr transportini avtomatlashtirish va boshqarish. Darslik / U. T. Berdiev, S. N. Kayumov, Ye. V. Iksar. – Tashkent: Transport, 2023. – 343 c.
3. Berdiev, U. T. Electrical and electronic EPS equipment / U. T. Berdiev, B. N. Khushbakov, S. N. Kayumov. – Tashkent: Sams ASA, 2014. – 212 p.
4. Петрушин, А. Д. Оптимальное частотное управление асинхронными тяговыми двигателями электропоездов / А. Д. Петрушин, Т. С. Титова, В. В. Никитин // Russian Electrical Engineering. – 2021. – Vol. 92. – P. 550–554.
5. Цихалевский, И. Асинхронные приводные двигатели с различным числом фаз / И. Цихалевский, К. Вахрушев // AIP 2442: материалы конф., Грозный, 25 июня 2021 г. – Грозный, 2021. – С. 070006. – doi.org/10.1063/5.0075619.
6. 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 Респ. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апр. 2022 г. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 289–294.
7. 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 II Респ. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апр. 2022 г. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 181–184.

УДК 621.3.011

### Методы эффективного управления тяговым электроприводом

Колесников И. К., Хакимов С. Х.  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассмотрены способ управления тяговым электроприводом, способ скалярного управления асинхронного двигателя, а также найдены векторные системы управления электроприводами с прямым измерением*

*контролируемых величин с помощью датчиков и с помощью математической модели электродвигателя. Для реализации математической модели была принята T-образная схема замещения асинхронного двигателя.*

Основными способами оптимальной системой управления тяговым электроприводом являются: скалярное управление, частотно-токовое управление, классическое векторное управление, прямое управление моментом.

Скалярным управлением асинхронным двигателем является способ, основанный на изменении скалярных величин (модулей) частоты, напряжения, токов, магнитных потоков. При таком управлении частота является независимой величиной, а значения напряжения при данной частоте определяет характеристику механической величины.

При регулировании асинхронных электроприводов с диапазоном регулирования до  $D = 100:1$ , для частотных пусков, торможения и реверсов применяют системы с частотно-токовым управлением. Если диапазон регулирования скорости  $D = 10:1$  при статическом моменте  $S_m = 5-10\%$  применяют частотно-параметрическое регулирование скорости.

Для построения высококачественных замкнутых систем регулирования электроприводов, где электрическую машину представляют, как динамический объект, применяют систему асинхронного электропривода с частотно-векторным регулированием скорости.

Все системы управления электроприводом с прямыми изменением позволяют качественно регулировать координаты электропривода. Это связано с тем, что параметры электродвигателя меняются в процессе эксплуатации и отличаются от паспортных значений. Это может привести к ошибкам измерения. Векторные системы описываются уравнением электромагнитного момента электродвигателя

$$\bar{M} = \frac{3}{2} P_n C (a \times b),$$

где  $P_n$  – количество пар полюсов;  $a, b$  – момент-образующие вектора;  $C$  – коэффициент.

Коэффициент  $C$  определяется от выбранных момента образующих векторов с помощью табл., где  $k_1 = L_m/L_i$ ;  $k_2 = L_m/L_2$ ;  $\sigma = 1 - k_1 k_2$ . Это коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора и коэффициент рассеяния.

Определение коэффициента  $C$ 

		$b$				
		$\Psi_1$	$i_1$	$\Psi_2$	$i_2$	$\Psi_m$
$a$	$\Psi_1$	*	1	$-k_1k_2/\sigma L_m$	$-k_1$	*
	$i_1$	-1	*	$-k_2$	$-L_m$	-1
	$\Psi_2$	$k_1k_2/\sigma L_m$	$k_2$	*	-1	*
	$i_2$	$k_1$	$L_m$	1	*	1
	$\Psi_m$	*	1	*	-1	*

В системе управления ток статора используется, как момент образующий. По мгновенным значениям тока и напряжения статора определяем поток сцепление статора и главное поток сцепления. Функциональная система электропривода с прямым управлением показано на рис. 1.

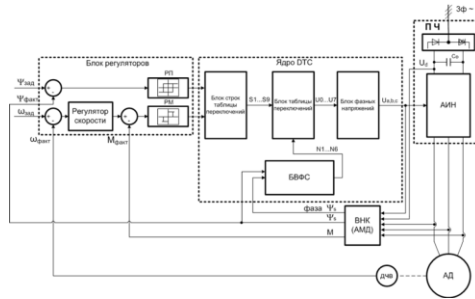


Рис. 1. Функциональная схема с прямым управлением электропривода

Система электропривода с прямым управлением не предполагает многократного преобразования координат система электропривода с прямым управлением состоит из блоков регулятора, таблицы переключений, вычислительного блока фазового сектора, формирователя фазных напряжений, адаптивной модели двигателя. Для снижения магнитного потока используется IR- компенсация, при котором  $V/f = \text{const}$ .

Закон частотного управления электроприводом с учётом IR-компенсации показан на рис 2.

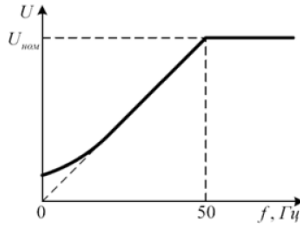


Рис. 2. Закон частотного управления электроприводом с учётом компенсации

При работе на низких частотах влияние на изменение сопротивления обмоток статора влияет поверхностный эффект, который показывает воздействие на работу электропривода.

Повышение температуры обмоток асинхронного двигателя изменяет электромеханические характеристики и параметры системы управления. Поэтому вводится блок IR-компенсации. Система прямого управления моментом DTC (direct torque control) является оптимальным решением.

Силовая схема асинхронного электропривода представлена рис 3.

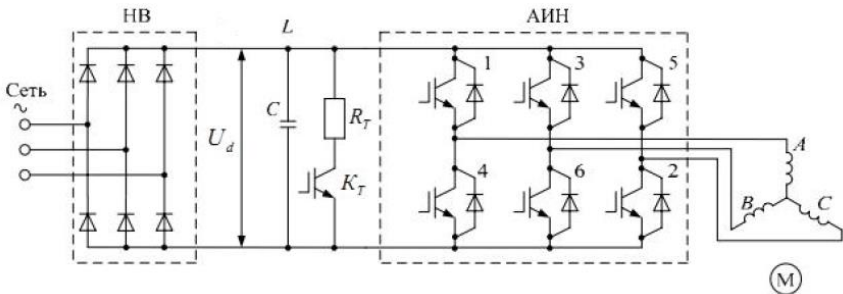


Рис. 3. Силовая схема асинхронного электропривода

Силовая схема включает преобразователь частоты, в который входит автономный инвертор и неуправляемый выпрямитель. В качестве момента-образующих взято: потокосцепление ротора и ток статора; главное потокосцепление и ток статора.

Угол между векторами тока статора и потокосцепления взят  $45^\circ$  при отсутствии насыщения магнитной цепи. Между остальными парами момента-образующих взято из векторной диаграммы (рис. 4).



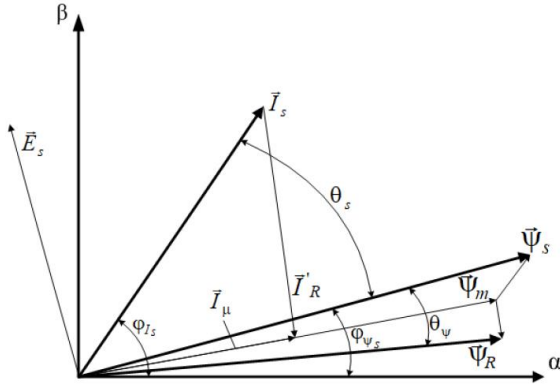


Рис. 4. Векторная диаграмма потокоцепления и токов асинхронного электродвигателя

Алгоритм минимума потребляемой мощности может быть реализован в электроприводах с постоянной нагрузкой. При построении энергосберегающего алгоритма необходимо учесть, что критический момент

$$M_m = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_1 \left[ \pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2})^2} \right]},$$

где  $U_1$  – действующее значение фазного напряжения асинхронного двигателя;  $\omega_1 = 2\pi f_1$  – угловая частота фазного тока;  $p$  – число пар полюсов;  $m_1$  – число фаз обмоток статора;  $r_1, r_2, x_{\sigma 1}, x_{\sigma 2}$  – параметры Т-образной схемы замещения АД.

При уменьшении потока (напряжения) снижается перегрузочная способность асинхронного двигателя. При этом осуществляется энергоэффективное управление. Уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя с учётом магнитообразующих

$$M = \frac{3}{2} P_n |I_s| |\Psi_s| \sin \theta_s,$$

где  $\theta_s$  – угол между векторами тока статора  $I_s$  и потокоцепления статора  $\Psi_s$ .

Для реализации математической модели была принята Т-образная схема замещения асинхронного двигателя (рис 5).

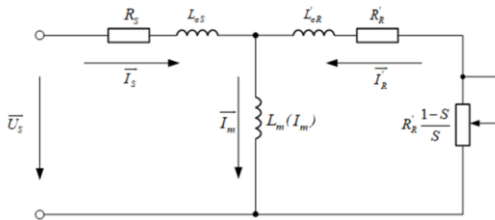


Рис. 5. Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Система математической модели асинхронного двигателя:

$$\begin{cases} \bar{U}_S = R_S \bar{I}_S + \frac{d\bar{\Psi}_S}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_S \\ \bar{U}_R = R'_R \bar{I}'_R + \frac{d\bar{\Psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \bar{\Psi}_R, \\ \bar{\Psi}_S = L_S \bar{I}_S + L_m \bar{I}'_R \\ \bar{\Psi}_R = L_m \bar{I}_S + L'_R \bar{I}'_R \end{cases}$$

где  $\bar{U}_R$  – вектор напряжения ротора;  $R'_R$  – приведенное активное сопротивление ротора;  $\bar{I}'_R$  – приведенный ток ротора;  $\bar{\Psi}_R$  – вектор потокосцепления ротора;  $\bar{U}_S$  – вектор напряжения статора;  $R_S$  – сопротивление статора;  $\bar{I}_S$  – вектор тока статора;  $\bar{\Psi}_S$  – вектор потокосцепления статора;  $\omega_1$  – угловая частота магнитного поля вращения статора;  $\omega$  – угловая частота вращения ротора;  $L_m$  – приведенная взаимная индуктивность между статором и ротором;  $L_S$  – индуктивность фазы статора  $L_S = L_m + L_{\sigma S}$ ;  $L_{\sigma S}$  – индуктивность рассеяния статора;  $L'_R$  – приведенная индуктивность фазы ротора;  $L'_{\sigma R}$  – индуктивность рассеяния ротора (приведенная).

Уравнения в системе  $d$ - $q$ , связанной с полем ротора с учётом Т-образной схемы замещения, принимает вид

$$\left\{ \begin{array}{l}
 U_{Sd} = R_S I_{Sd} + \frac{d\Psi_{Sd}}{dt} - j\omega_k \Psi_{Sq} \\
 U_{Sq} = R_S I_{Sq} + \frac{d\Psi_{Sq}}{dt} + j\omega_k \Psi_{Sd} \\
 0 = R_R I_{Rd} + \frac{d\Psi_{rd}}{dt} - (\omega_k - \omega) \Psi_{rq} \\
 0 = R_R I_{rq} + \frac{d\Psi_{rq}}{dt} - (\omega_k - \omega) \Psi_{Rd} \\
 \bar{I}_m = \bar{I}_S + \bar{I}_R \\
 \bar{\Psi}_S = \bar{\Psi}_m + \bar{\Psi}_{\sigma S} \\
 \bar{\Psi}_R = \bar{\Psi}_m + \bar{\Psi}_{\sigma R} \\
 \bar{\Psi}_m = L_m \bar{I}_m
 \end{array} \right.$$

Векторная диаграмма представлена на рис. 6.

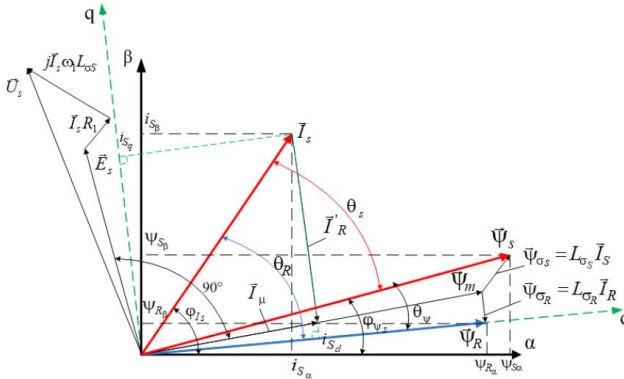


Рис. 6. Векторная диаграмма АД в осях  $\alpha$ - $\beta$  и  $d$ - $q$

Векторная диаграмма (рис 6) использует неподвижную систему  $\alpha$ - $\beta$  и моментобразующую систему векторов: ток статора и потокосцепления статора [1–3].

Была разработана функциональная схема энергоэффективной системы прямого управления моментом асинхронного двигателя (рис. 7).



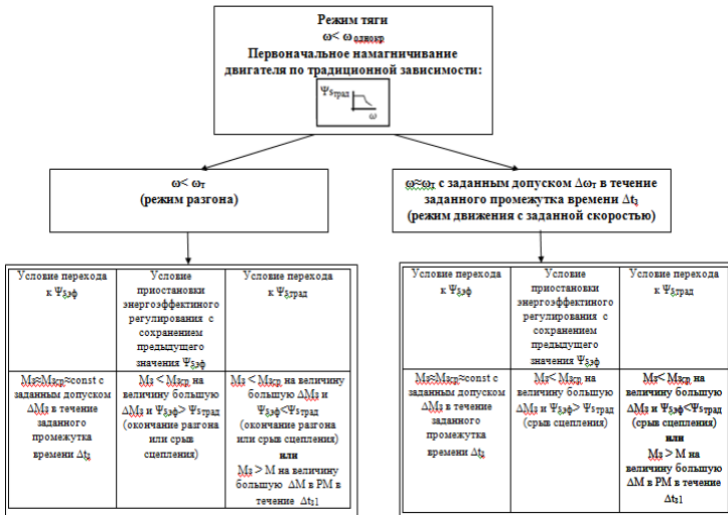


Рис. 8. Алгоритм функционирования блока логики задания потокосцепления

Алгоритм БЛЗП работает энергоэффективно только в режиме тяги: при разгоне и при постоянной скорости в течении некоторого заданного промежутка времени. Для математической модели системы тягового двигателя была разработана компьютерная модель в программном комплексе Matlab/Simulink (рис. 9) [4].

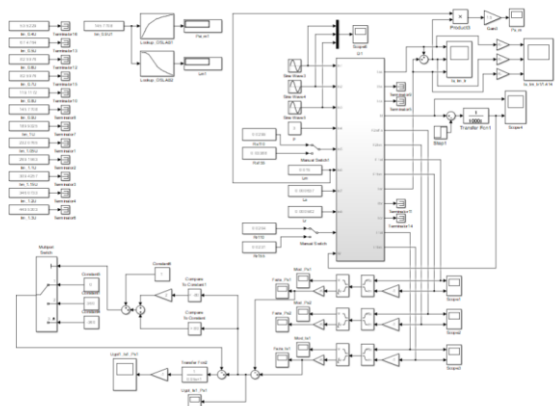


Рис. 9. Компьютерная модель асинхронного двигателя в Matlab/Simulink

Результаты моделирования представлены на рис. 10, 11.

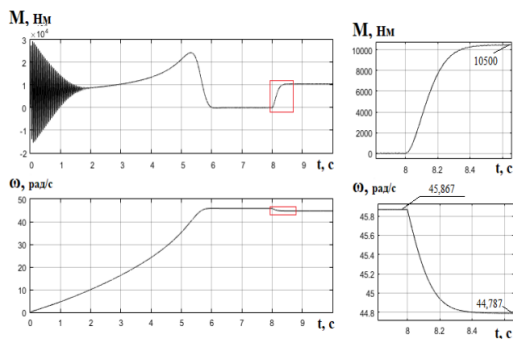


Рис. 10. Результаты моделирования зависимости ЭМ момента и частоты вращения от времени

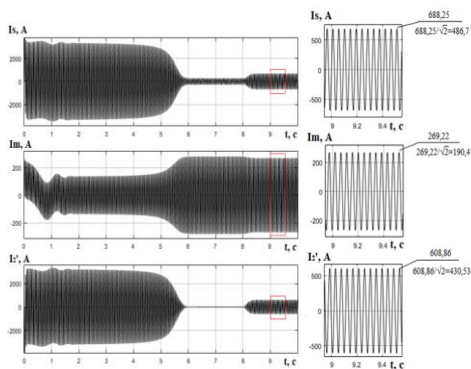


Рис. 11. Результаты моделирования зависимости тока статора, намагничивания и ротора от времени

Была также разработана модель тягового электропривода с энергоэффективным прямым управлением моментом (рис 12.) [5–7].

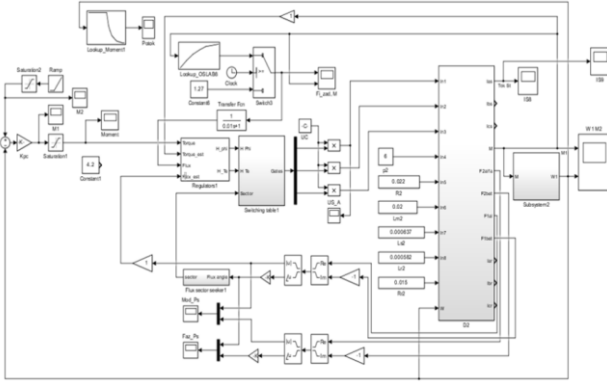


Рис. 12. Модель тягового электропривода с энергоэффективным прямым управлением

Результаты моделирования разгона тягового электропривода с применением энергоэффективного управления показано на рис. 13.

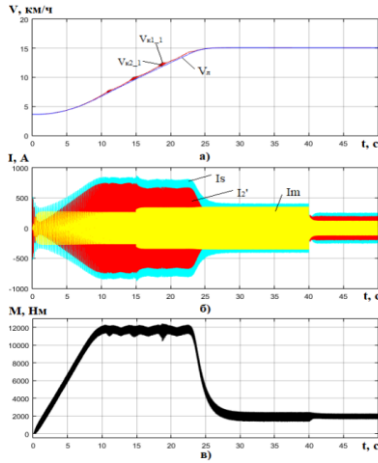


Рис. 13. Результаты моделирования с применением энергоэффективного управления:  
*a* – скорости колес; *б* – тока статора, приведенный ток ротора и ток намагничивания; *в* – электромагнитный момент

Для энергоэффективного управления были получены зависимости КПД от момента (рис. 14).

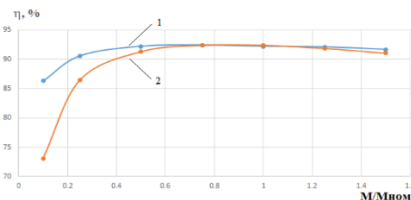


Рис. 14. Зависимость КПД от момента при энергоэффективном управлении: 1 – при энергоэффективном управлении; 2 – при обычном управлении [6; 7]

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработаны компьютерные модели асинхронного тягового электропривода с энергоэффективным управлением.
2. Определены способы моделирования статических и динамических режимов тягового электропривода.
3. Разработана математическая модель тягового электропривода с использованием энергоэффективного прямого измерения контролируемых величин.

### 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. S. Abidova, S. H. Khakimov // Intelligent System for Industrial Automation (WCIS-2022): Proceeding of 12th World Conference WCIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 912. Springer. – Cham. – doi.org/10.1007/978-3-031-53488-1\_34.
2. Berdiev U. T. Elektr transportining elektr va electron uskunalari / U. T. Berdiev, B. H. Hushboqov, S. N. Kayumov. – Darslik. – Ташкент: Sams ASA, 2014. – 212 с.
3. Петрушин, А. Д. Оптимальное частотное управление асинхронными тяговыми двигателями электропоездов / А. Д. Петрушин, Т. С. Титова, В. В. Никитин // Russian Electrical Engineering. – 2021. – Т. 92, № 10. – С. 550–554.
4. Berdiev, U. T. Methods of new technological developments of electric motors based on soft magnetic materials / U. T. Berdiev, I. K. Kolesnikov, M. N. Tuychieva, F. F. Khasanov, U. B. Sulaymonov // E3S Web of Conf. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 401. – P. 03038.



5. Цихалевский, И. Асинхронные приводные двигатели с различным числом фаз / И. Цихалевский, К. Вахрушев // АИР 2442: материалы конф., 13 дек. 2021 г. – 2021. – С. 070006. – <https://doi.org/10.1063/5.0075619>.

6. K. Kolesnikov, A. P. Akhmedov, S. N. Nakimov. Electric drive efficiency criterion for specific energy consumption. Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы III республиканской научно-технической конференции, 27–28 апреля 2023 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 408–411.

7. Нос, О. В. Оптимальное векторное управление асинхронным двигателем по критерию минимума токов статора / О. В. Нос // Электротехника, электромеханика и электротехнология ЭЭЭ–2007: материалы III научн.-тех. конф. – Новосибирск; НГТУ, 2007. – С. 79–85.

УДК 629.423.31

### **Повышение энергоэффективности источников вторичного питания в схеме управления тяговым приводом электроподвижного состава**

Иксар Е. В.

Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Быстрые темпы роста элементной базы силовой электроники способствует стремительному развитию систем управления движением скоростного подвижного состава. Для формирования питания силовых преобразовательных устройств тягового привода электроподвижного состава используются инверторы на IGBT модулях. Эффективность использования электрической энергии, потребляемой схемой управления, можно повысить, используя в этих схемах ключей с распределенным электростатическим управлением (КРЭУ), в статье приведен сравнительный анализ существующих и предлагаемых систем. Работа преобразовательных устройств основана на принципе высокочастотного преобразования электрической энергии. Повышение частоты коммутации влечёт за собой повышение динамических потерь в элементах преобразования (транзисторы, трансформатор, диоды и т. д.). Использование импульсных преобразователей на (КРЭУ) позволяет снизить динамические потери на полупроводниковых силовых ключах, повысить удельные характеристики импульсных источников вторичного электропитания.*

В настоящей статье представлен материал о перспективной системе управления на основе интегрально-амплитудной импульсной модуляции четырехуровневым инвертором напряжения на базе ключей с распре-

ленным электростатическим управлением (КРЭУ), а также выполнено сравнение математических моделей инверторов на КРЭУ и IGBT. Моделирование выполнено в неподвижной (относительно статора) системе координат. Моделирование процессов наиболее приближено к реальным условиям эксплуатации электроподвижного состава.

Такой метод повышения уровня напряжения на выходе высоковольтных преобразователей является наиболее энергоэффективным. Суть метода заключается в применении в схеме инвертора полупроводниковых силовых ключей с распределенным электростатическим управлением (КРЭУ). Такие ключи (рис. 1) потребляют меньше мощности и обеспечивают равномерное распределение напряжений в последовательном соединении вентилях в плече инвертора [1].

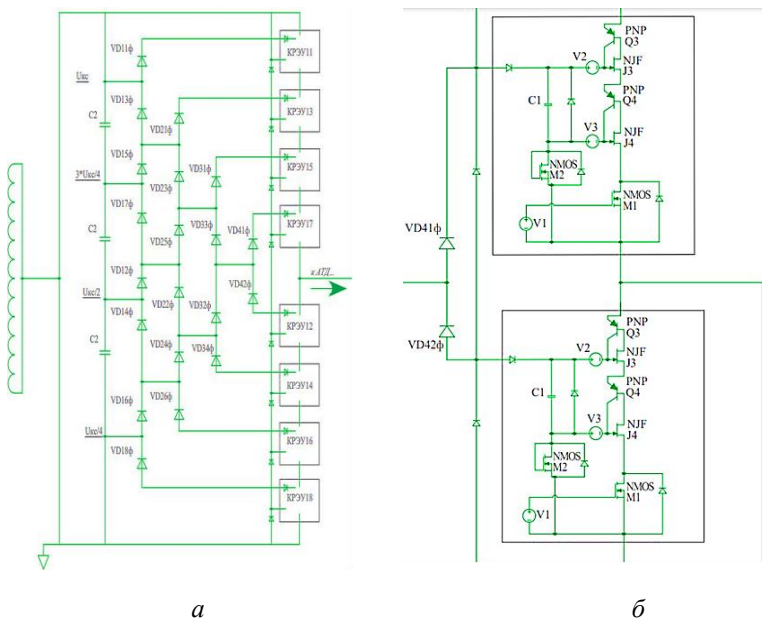


Рис. 1. Схема инвертора полупроводниковых силовых ключей с распределенным электростатическим управлением:  
 а – формирование фазы четырехуровневого инвертора; б – схема подключения КРЭУ

Алгоритм управления многоуровневыми высоковольтными преобразователями позволяет увеличить диапазон модуляции, снизить потери в си-

ловых модулях инвертора, уменьшить гармонические составляющие выходного напряжения. Упрощение алгоритма и уменьшение расчётного времени коммутации определяется спецификой требований, предъявляемых к электроприводам электроподвижного состава. Для улучшения характеристик сигнала выходного напряжения применен метод прямого сокращения периода коммутации [1].

Для генерации выходного сигнала инвертора синусоидальной формы на элементной базе КРЭУ применена методика формирования передаточной характеристики в момент коммутации. В условиях эксплуатации тягового подвижного состава используется амплитудно-интегральная развертка выходного сигнала. На рис. 2 указаны импульсы, на основании которых осуществлена интегрально-амплитудная развертка выходного сигнала. Амплитудная модуляция осуществляет изменение выходного сигнала и формирует заданный уровень регулируемой величины в текущий момент времени.

Интегральная модуляция формирует заданную длительность выходного сигнала. Заданное количество модуляций позволяет получить необходимую форму сигнала на выходе инвертора. На рис 2 показан принцип формирования интегрально-амплитудной импульсной модуляции (ИАИМ).

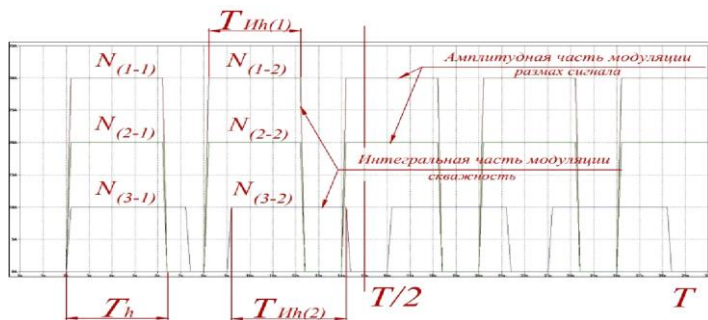


Рис. 2. Принцип формирования интегрально-амплитудной импульсной модуляции (ИАИМ)

Математическая модель четырехуровневого инвертора напряжения (далее 4-У АИН) описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных III-го порядка. Выполнение расчета переходного процесса в электрических цепях классическим методом трудоемко за счет

вычисления постоянных интегрирования, характеризующихся быстрым изменением, например, изменение ускорения э.п.с. при трогании с места.

Для расчета времени коммутации ключей инвертора применен операторный метод расчета, базирующийся на понятии изображения функции напряжения от времени. Применимость операторного метода заключается в том, что переход из области действительного переменного  $t$  в область комплексного переменного  $p=c+j\omega$ , в которой дифференцирование и интегрирование проще, а дифференциально-интегральные выражения цепи в переходном режиме заменяются обыкновенными алгебраическими выражениями относительно комплексной переменной.

Рассмотрим составления уравнения состояния силовых элементов КРЭУ и математическое описание выходных переменных 4-У АИН. Для выполнения сравнительного анализа существующих инверторов на IGBT и инверторов на КРЭУ, потери мощности в силовом преобразователе определялись по формуле

$$\Delta P_{COND\_IGBT} = \frac{1}{2} \left( V_{CE0} \frac{I_m}{\pi} + r_{CE} \frac{I_m^2}{4} \right) + m \cos \varphi \left( V_{CE0} \frac{I_m}{8} + r_{CE} \frac{I_m^2}{3\pi} \right),$$

$$\Delta P_{COND\_VD} = \frac{1}{2} \left( V_{F0} \frac{I_m}{\pi} + r_F \frac{I_m^2}{4} \right) - m \cos \varphi \left( V_{F0} \frac{I_m}{8} + r_F \frac{I_m^2}{3\pi} \right),$$

$$\Delta P_{SW\_IGBT} = \frac{1}{\pi} f_{SW}^{IGBT} \left( (I_{ON}^{пот} U_{ON}^{пот}) + (I_{OFF}^{пот} U_{OFF}^{пот}) \right) \frac{iU_d}{I^{пот} U^{пот}},$$

$$\Delta P_{SW\_цв} = \frac{1}{\pi} f_{SW}^{IGBT} I^{пот} \left( 0,45 \frac{I_m}{I^{пот}} + 0,55 \right) \frac{U_d}{U^{пот}},$$

где  $V_{CE0}, r_{CE}$  – характеристические параметры выходного сигнала биполярного и полевого транзистора, входящих в состав IGBT;  $V_{F0}, r_F$  – характеристические параметры выходного сигнала обратного диода, входящего в состав IGBT;  $i$  – мгновенный ток через транзистор или обратный диод в момент коммутации;  $U_d$  – выходное напряжения звена постоянного тока АИН;  $I^{пот} U^{пот}$  – номинальные значения тока и напряжения в процессе коммутации ( $ON$  – в течение переходного состояния (отпирания),  $OFF$  – в течение переходного состояния (запирания), соответственно);  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности [1].

Для выполнения сравнительного анализа 4-У инверторов на базе КРЭУ (рис. 3) потери мощности в силовом преобразователе определялись по формуле

$$\Delta P_{KDEC} = \frac{1}{T} \left( \sum_1^n (W_{ТЭУVT1} + W_{ТЭУVT2} + W_{МОПVT3} + W_{МОПVT4}) \right) = \frac{4}{T} \left( \prod_1^{f_{SW}^{KDEC}} \left[ \frac{(\Delta P_{PNP}^{Q3} \Delta P_{NJF}^{J3}) (\Delta P_{PNP}^{Q4} \Delta P_{NJF}^{J4}) (\Delta P_{NMOS}^{M2} \Delta P_{NMOS}^{M1})}{(\Delta P_{PNP}^{Q3} \Delta P_{NJF}^{J3}) + (\Delta P_{PNP}^{Q4} \Delta P_{NJF}^{J4}) + \Delta P_{NMOS}^{M2} + \Delta P_{NMOS}^{M1}} \right] \right),$$

где  $n$  – количество коммутаций за период  $T$ ;  $f_{SW}^{KDEC}$  – частота коммутации КРЭУ; \* $KDEC$  – ключ с распределенным электростатическим управлением.

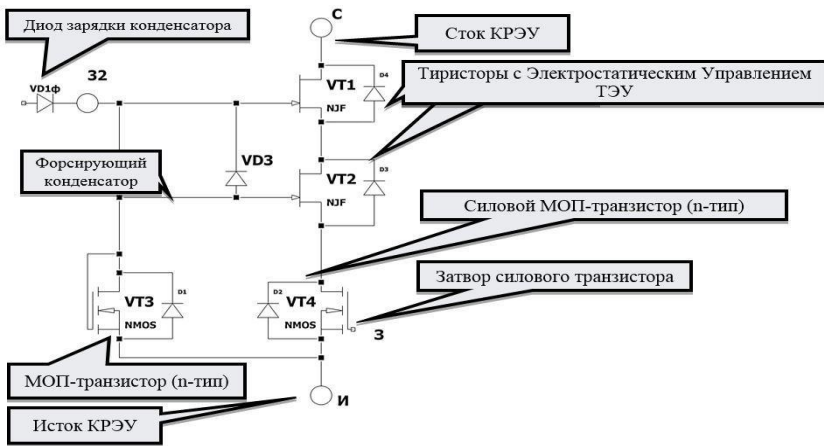


Рис. 3. Основные компоненты формулы потери мощности 4-У АИН на базе КРЭУ

Графики на рис. 4, 5 подтверждают, математические модели инверторов на IGBT при коммутации с частотой на уровне 65–67 Гц имеют меньшие в абсолютном значении величины потерь мощности, по сравнению с потерями мощности на силовом ключе КРЭУ.

При коммутации ключей с частотой на уровне 67–72 Гц происходит выравнивание абсолютных величин потерь мощности. Регулирование

напряжения на непосредственных преобразователях частоты на базе КРЭУ регулирования частоты выходного напряжения осуществляется на частотах меньше, чем частота питающего напряжения (для э.п.с. 50 Гц) – потери мощности значительно ниже, чем у силовых преобразователей на IGBT.

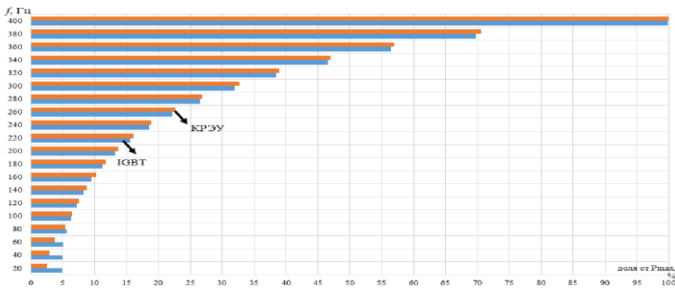


Рис. 4. Зависимость потерь мощности в КРЭУ и IGBT от частоты коммутации ключевых элементов

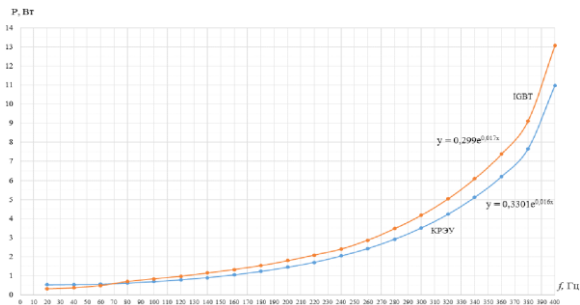


Рис. 5. Зависимость потерь мощности в КРЭУ и IGBT от частоты коммутации ключевых элементов

Однако для скоростного э.п.с. топология 4-У АИН на базе КРЭУ является преимуществом, так как на высоких частотах коммутации силовых ключей (что соответствует высоким скоростям движения электропоезда) общин потери мощности будут меньше, чем у силовых преобразователей, установленных на электропоездах ЭС1 в настоящее время.

### Литература

1. Karimov, R. Ch. Program for calculating the minimum electrical power loss in an asynchronous traction engine of mainline lokomotives / R. Ch Kari-

УДК 625.7/8.004

### **Обзор современного оборудования**

Дустмуродов Э. Э., Махмудова Д. Х., Дустмуродова Х. Э.  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*Растущая сложность интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые включают в себя широкий спектр приложений и услуг, вызвала необходимость в высокопроизводительных современных аппаратных устройствах (МНД). Проблема производительности стала более заметной после интеграции методов машинного обучения (ML), развернутых в крупномасштабных условиях. Машинное обучение эффективно поддержало сферу ИТС, предоставив эффективные и оптимизированные решения проблем, которые в противном случае решались с использованием традиционных статистических и аналитических подходов. Потребность в развертывании аппаратного обеспечения ИТС в эпоху машинного обучения – сложная проблема, которая включает в себя временные, пространственные, экологические и экономические факторы. В этом обзоре рассматривается новейшая литература ИТС на основе машинного обучения, в которых использовались МНД, с упором на показатели эффективности.*

За последние несколько десятилетий ИТС вызвали растущий исследовательский интерес как многообещающая дисциплина, способная произвести революцию в транспортном секторе и решить общие проблемы, связанные с дорожным движением и транспортными средствами. ИТС включает в себя множество взаимосвязанных инженерных решений, которые функционируют как единое целое для оптимизации путешествий в масштабе сети с технической, социальной, экономической и экологической точек зрения. Такая оптимизация требует развития информационных и коммуникационных технологий, электронных датчиков, систем управления и компьютеров, что подчеркивает управляемую данными природу современных ИТС. Собирая и анализируя соответствующие данные, ИТС может эффективно управлять ресурсами вычислительного оборудования с помощью нескольких алгоритмов управления и координации, что приводит к повышению удобства путешественников, снижению расхода топлива и увеличению транспортных потоков. ИТС – это широкая тема, охватыва-

ющая множество предметов, каждая из которых представляет собой отдельную исследовательскую задачу. Этим темам посвящено множество исследований, но их можно разделить на несколько областей, включая передовые системы управления дорожным движением, передовые информационные системы для путешественников, передовые системы управления транспортными средствами, передовые системы общественного транспорта, эксплуатацию коммерческих транспортных средств и системы сельского транспорта [1].

Сложность приложений ИТС требует наличия мощных в вычислительном отношении алгоритмов, способных анализировать огромные объемы данных, особенно в эпоху больших данных, а также компетентных устройств реализации для получения точных результатов в реальном времени. Удобно, что ML включает в себя широкий спектр таких алгоритмов, предназначенных для классификации, регрессии, ранжирования, кластеризации и уменьшения размерности в различных сценариях обучения, таких как контролируемое, неконтролируемое, полуконтролируемое, онлайн-обучение, подкрепление или активное обучение, а также федеративное обучение. Таким образом, машинное обучение, включая глубокое обучение (DL), имеет решающее значение для различных приложений, включая, помимо прочего, классификацию текста или документов, обработку естественного языка, обработку речи, компьютерное зрение и другие.

### **МНД для ИТС-приложений на основе машинного обучения**



Рис. 1. Набор приложений ИТС для контроля транспортных средств и управления дорожным движением с акцентом на разнообразное внедрение методов МНД и ML

(рис. 1). Тщательный обзор недавней литературы обращает внимание на то, что обширные исследования направлены на внедрение методов машинного обучения на МНД для решения общих проблем ИТС, связанных с контролем транспортных средств и управлением дорожным движением. Эти проблемы связаны с получением данных для дальнейшей обработки и анализа при одновременном выполнении требований реального времени. Таким образом, выполняется обучение и тестирование подходящих алгоритмов ML, которые сравниваются с аналогичной работой посредством оценки производительности. Авторы выбрали различные аппаратные устройства,

которые подпадают под три основные категории: многоцелевые устройства (MD), специализированные устройства (SD) и гибридные устройства (HD). MD определяются как аппаратные устройства, способные выполнять



разнообразные вычислительные задачи благодаря их перепрограммируемости. Напротив, SD – это устройства, специально разработанные и оптимизированные для желаемого применения. HD, однако, объединяют два вышеупомянутых типа для достижения уникальных результатов за счет совместного проектирования аппаратного и программного обеспечения, предварительной обработки и совместной обработки (рис. 1).

В табл. представлена классификация обследованных статей по категориям аппаратного обеспечения в хронологическом порядке, где были представлены используемые аппаратные устройства, алгоритм ML и применение ИТС.

Таблица

Классификация категорий аппаратного обеспечения в хронологическом порядке (*A* – обнаружение трафика; *B* – мониторинг трафика; *C* – анализ автомобиля; *D* – распознавание; *E* – оптимизация)

Группа	Год	Аппаратное устройство	Аппаратное устройство. Выбор				Алгоритм машинного обучения	ИТС-приложение
			Производительность	Глобость	Мощность Кон.	Ресурсы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Многоцелевые устройства	2014	ARM Cortex A9	+				Модель гауссовой смеси	<i>A</i>
		Xilinx Virtex-5	+				Адабуст	<i>B</i>
		Intel Altera Stratix II	+			+	Машина опорных векторов	<i>A</i>
	2015	ARM Cortex M4F					SVM	<i>A</i>
		Xilinx Spartan-6	+				SVM	<i>C</i>
	2016	Intel Altera Cyclone IV			+		Модель гауссовой смеси	<i>A</i>
		Xilinx Spartan-6	+		+		SVM	<i>B</i>
	2017	Xilinx Virtex-5	+	+			Адабуст	<i>A</i>
		Intel Altera Cyclone IV	+			+	SVM	<i>A</i>
	2018	Xilinx Virtex-6	+	+			ANN	<i>D</i>
		Xilinx UltraScale	+				SVM & NN	<i>C</i>
	2019	Xilinx Spartan-3	+		+		EZ-Net	<i>A</i>
		Raspberry Pi 4	+				CNN	<i>B</i>
	2020	Raspberry Pi 3B+			+		M2-tMTL	<i>D</i>

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Специализированные устройства	2014	NVIDIA Tesla C2075	+			+	SVM	A	
		NVIDIA Tesla K20	+			+	CNN	D	
	2017	NVIDIA Tesla K40	+					LSM	A
		NVIDIA GeForce GTX 970	+					FM	A
		NVIDIA Tesla C2075	+				+	FCSNet	B
		NVIDIA GeForce GTX	+					CNN	D
	2018	NVIDIA GeForce GTX 1080	+				+	AggNet	D
		TSMC 90nm	+			+	+	SVM	A
		Snapdragon TM 820A (GPU)	+					CNN	D
		NVIDIA Titan Black	+				+	CNN	A
	2019	NVIDIA Tesla K20c	+				+	CNN	B
		NVIDIA GeForce GTX 1080Ti	+					CNN	A
		NVIDIA Titan Xp					+	CNN	D
		NVIDIA GeForce GTX 1080	+					Составной автоэнкодер	D
	2020	NVIDIA Tesla K80					+	MSRA-NN	B
		NVIDIA Tesla P100-PICE					+	L-CNN	E
NVIDIA Titan Xp		+					GCGA	E	
NVIDIA GeForce GTX 1060						+	SE_ResNet	C	
Гибридные устройства	2015	FriendlyARM Tiny4412	+			+	CNN	B	
	2016	Xilinx Zynq-7000	+			+	ELM	D	
		Xilinx Zynq-7000 SoC	+				+	SE-ResNet	A
	2017	NVIDIA Jetson TX	+			+	CNN & RLMS	D	
	2018	Xilinx Zynq-7000 SoC	+				RLMS	D	
	2019	NVIDIA Jetson TK1	+				+	CNN	B
Xilinx Zynq-7000 SoC					+		SVM	B	
NVIDIA Tegra TX1						+	CNN	B	

Выявленные аппаратные устройства являются основными аппаратными устройствами, использованными в расследованиях, поскольку в не-

скольких расследованиях использовались вторичные аппаратные устройства для таких целей, как обучение и/или предварительная обработка.

Для каждой ссылки также выделены различные факторы, влияющие на выбор аппаратного устройства и алгоритма ML для каждой статьи. Эти факторы выбора были идентифицированы в статьях либо путем выводов из текста, либо путем обнаружения этих факторов явно упомянутых.

Для ML алгоритмов факторы выбора следующие: производительность отражает время обучения и вывода, точность отражает способность модели давать правильные результаты, надежность отражает способность алгоритма обрабатывать изменения входных данных, а сложность отражает то, является ли модель легкой для вычислений.

В табл. L-CNN обозначает сверточную нейронную сеть на основе поиска, SE-ResNet – сеть сжатия и возбуждения-остатка, а GCGA – сверточный генеративный автоэнкодер графа.

Для ML алгоритмов факторы выбора следующие: производительность отражает время обучения и вывода, точность отражает способность модели давать правильные результаты, надежность отражает способность алгоритма обрабатывать изменения входных данных, а сложность отражает то, является ли модель легкой для вычислений. В табл. L-CNN обозначает сверточную нейронную сеть на основе поиска, SE-ResNet – сеть сжатия и возбуждения-остатка, а GCGA – сверточный генеративный автоэнкодер графа.

Верхний индекс в столбце «Аппаратное устройство» соответствует цели машинного обучения, для которой использовалось устройство, где «train» означает обучение, «inf» – вывод, «on» – онлайн-обучение, «pre» – предварительная обработка и «данные» для сбора данных.

Аналогично, верхний индекс в столбце приложения ИТС соответствует области применения ИТС, где «sim» означает «Моделирование», «pho» – «Физический прототип ИТС», а «der» – физическое развертывание ИТС.

**Таксономия ИТС и модель производительности.** Тщательный обзор приложений ИТС в широком спектре задач контроля транспортных средств и управления дорожным движением выявил набор отдельных подкатегорий [2], представленных на рис. 2, которые представляют собой общие проблемы, решаемые в литературе, сгруппированные по целям.

В разделе «Управление транспортным средством» анализ транспортного средства относится к сбору и анализу данных для водителя или транспортного средства, распознавание инструкций относится к распознаванию светофора и знаков, а помощь водителю включает в себя задачи транспортного средства, которые не подпадают под другие подкатегории. Для управления дорожным движением обнаружение трафика подразуме-

вает определение типа или номерного знака транспортного средства, а оптимизация включает, среди прочего, изучение состояния дороги, погоды, качества воздуха. Остальные подкатегории говорят сами за себя.

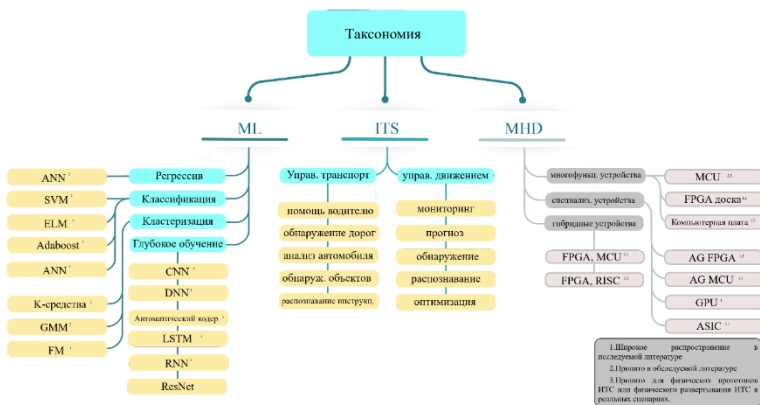


Рис. 2: Таксономия методов MHD и ML, используемых в рассмотренных приложениях ИТС, где ELM означает «Машина с экстремальным обучением», GMM для модели гауссовой смеси, FM для нечетких минимумов, DNN для глубокой нейронной сети, LSTM для долгосрочной краткосрочной памяти, и RNN для рекуррентной нейронной сети

Различные методы обучения, используемые в литературе для приложений ИТС с реализациями MHD, сгруппированы в четыре категории, как показано на рис. 2: регрессия, классификация, кластеризация и DL. Эта группировка основана на отношениях сопоставления ввода-вывода, где регрессия прогнозирует действительные метки невидимых данных, классификационные метки невидимых данных с учетом дискретного набора возможных классов, а кластеризация идентифицирует закономерности или области в наборе данных. Эти категории включают в себя классические алгоритмы машинного обучения в дополнение к простым архитектурам ИТС. Предлагается, чтобы четвертая категория DL включала более сложные и сложные архитектуры нейронных сетей, которые можно использовать для любой из трех других категорий. В исследованных документах использовались различные показатели эффективности применяемых методов ML.

Различные MHD, представленные в литературе, делятся на три класса: MD, SD и HD. Эти классы, показанные на рис. 2, включают устройства, которые являются неотъемлемой частью любой системы ИТС, каждое из

которых обладает особым набором функций, определяющих компетентность устройства. В MD микроконтроллеры, которые считаются устройствами с низким энергопотреблением, предлагают ограниченные вычислительные возможности, в отличие от более сложных компьютерных плат, которые могут решать сложные вычислительные задачи. MD также включают в себя FPGA, которые поддерживают программируемые логические блоки, обеспечивая реконфигурацию оборудования после производства. В то время как MD выполняют задачи общего назначения, SD занимаются конкретными задачами для целевых приложений. В SD, платы AG FPGA и микроконтроллеры включают в себя специализированные вычислительные блоки, которые облегчают работу приложений ИТС, уменьшая сложность их проблем. В этот класс также входят графические процессоры, которые используются в приложениях компьютерного зрения, и ASIC, которые обладают специально разработанными функциональными блоками для конкретного использования. Третий класс MHD предлагается для решения HD, которые связывают комбинации MD и SD.

**Концепция модели выбора.** Модель оценки перекрестного сопоставления, представленная выше, направлена на ранжирование методов ML и MHD, которые обещают определенный уровень производительности в зависимости от сложности ИТС. Концептуальная модель выбора представлена на рис. 3 с целью выбора (или рекомендации) метода ML и MHD, подходящих для применения ИТС.

Предлагаемая концепция модели выбора подчеркивает необходимость дополнительных показателей, выходящих за рамки диаграммы перекрестного соответствия и аспекта производительности процесса оценки, которые включают сферу применения (реальное развертывание или тестирование и проверка), бюджет и выбор технологии, который соответствует типу проблемы.

Подмодель выбора MHD учитывает показатели, которые не были включены в структуру перекрестного сопоставления, такие как процессор (общего и специального назначения) и технологии ИС (программируемые логические устройства или ASIC), а также подходящие ранги MHD полученные из таблицы перекрестных сопоставлений. Примечательно, что основным показателем выбора MHD, оказывающим наибольшее влияние на процесс выбора, является стоимость целевого устройства. Что касается подмодели выбора ML, она учитывает тип проблемы (обучение с учителем, обучение без учителя или обучение с подкреплением) и сценарий ее работы, а также ранги подходящего метода ML, выведенные из диаграммы перекрестного сопоставления.

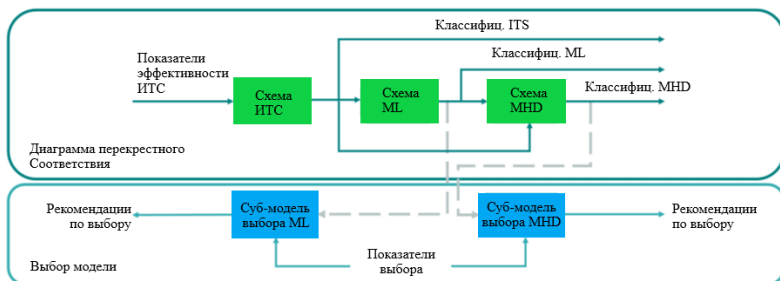


Рис. 3. Концептуальная модель отбора, которую можно интегрировать с предлагаемой моделью перекрестной оценки

Предлагаемые подмодели могут сочетать в себе разнородные, качественные и количественные показатели [5]. Кроме того, подмодели могут быть сформулированы с использованием традиционных методов принятия решений, основанных на множестве критериев, объединенных статистически [3–5] или с использованием машинного обучения [5]. Стоит отметить, что модель перекрестной оценки и модель отбора были разделены, чтобы обеспечить разделение задач; поскольку первый демонстрирует ориентацию на производительность, а второй направлен на отражение концепции помощи в рекомендациях по выбору.

Ожидаемый объем данных, которые будут производиться ИТС в эпоху больших данных, стимулировал заметный исследовательский интерес к применению методов машинного обучения для работы определенных приложений. Благодаря своей способности обрабатывать большие объемы данных и находить нелинейные связи в сложных системах, машинное обучение вызвало волну, прокатившуюся по ИТС, предоставляя жизнеспособные решения сложных проблем. Хотя методы ML играют решающую роль в качестве услуг, предлагаемых ИТС, аналогичная роль возлагается на устройства обработки, используемые для запуска этих методов, основанных на данных, особенно с учетом недавних разработок в области автономного вождения и подключенных транспортных средств. В этой статье мы предоставляем всесторонний обзор недавней литературы по приложениям ИТС, где методы ML применялись вместе с МНД для запуска этих методов. Вдохновленные обзорной литературой, мы предлагаем таксономию на рис. 2, которая классифицирует подполя ИТС, ML и МНД таким образом, чтобы это ограничивалось контекстом исследования. Для решения нетривиальной задачи выбора подходящего метода ML и

MHD для приложения ИТС определенной сложности мы разрабатываем структуру оценки производительности, диаграмма оценки перекрестного сопоставления которой показана на табл. Предлагаемая структура обеспечивает рекомендация о том, какую компетенцию техники ML и MHD выбрать для приложения ИТС, сложность которой можно определить по предлагаемому уровням производительности. После проверки наша система оказалась достаточно эффективной, имея лишь несколько небольших различий в классификации из пула ссылок и только два существенных различия между рекомендациями системы.

Несмотря на обширные исследования в литературе, мы выявили несколько пробелов и ограничений, которые могут определять направления будущих исследований. С точки зрения машинного обучения дополнительные усилия должны быть направлены на повышение надежности моделей, которые будут использоваться для развертывания в реальном мире. Большинство опрошенных приложений ИТС, которые полагаются на визуальные данные, выиграют от этого, поскольку они в основном обучаются на наборах данных, которые не в полной мере отражают реальные проблемы. Следовательно, исследование таких методов, как адаптация предметной области, может быть полезно для адаптации моделей к реальной среде. Аналогичным образом, в области аппаратного обеспечения MHD, такие как TPU, AG FPGA или другие, не использовались в литературе, несмотря на их многообещающие характеристики.

### Литература

1. Meneguetto, R. I. Intelligent Transport System in Smart Cities / R. I. Meneguetto, R. E. D. Grande, A. A. F. Loureiro // Springer International Publishing, 2018.
2. Zappone, A. Wireless networks design in the era of deep learning: Model-based, ai-based, or both / A. Zappone, M. Di Renzo, M. Debbah // IEEE-Transactions on Communications. – 2019. – Vol. 67, № 10. – P. 7331–7376.
3. Юлдашев, Б. С. (2020). Понимание бозона Хиггса с помощью LhcC / Б. С. Юлдашев, Э. Э. Дустмуродов, Б. П. Турдиев, Т. Б. Файзиев // Science and Education, 2020. – Vol. 4, № 1. – P. 16–21.
4. Dustmurodov, E. The concept of the FRITIOF (FTF) model / E. Dustmurodov, X. Dustmurodova, N. Valikhanov, D. Nomozova // Science and innovation. – 2023. – № 2(A5). – P. 51–53.
5. Damaj, I. An analytical framework for high-speed hardware particle swarm optimization / I. Damaj, M. Elshafei, M. El-Abd, M. Emin Aydin // Microprocessors and Microsystems. – 2020. – Vol. 72, № 2. – P. 102949.

**Особенности изложения курса «Композиционные материалы»  
для студентов инженерных специальностей**Бибик А. И.<sup>1</sup>, Попко С. В.<sup>1</sup>, Петренко С. И.<sup>2</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,<sup>2</sup>Белорусская государственная академия авиации

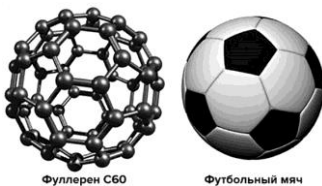
Минск, Республика Беларусь

*В данной работе рассматриваются преимущества использования композитных покрытий, содержащих фуллерены в экстремальных условиях (авиационной и космической технике, биомедицине, кораблестроении).*

Одним из ярких научных направлений последнего десятилетия является физика и химия фуллеренов. Открытие фуллеренов, углеродных нанотрубок и создание на их основе разнообразных материалов требует внесения изменений в учебные программы вузов. В данной работе приведены сведения о фуллеренах, способах их получения, а также экспериментальные исследования некоторых механических свойств металл-фуллереновых композиций [1].

Фуллерен назван в честь американского архитектора Ричарда Бакминстера Фуллера (1895–1983), создававшего так называемые геодезические купола. Фуллер использовал для строительства своих куполов данные рентгеноструктурного анализа «молекулы» алмаза. Поэтому, когда ученые впервые получили сферическое соединение  $C_{60}$  они тут же назвали его фуллереном.

Фуллерены - углеродные соединения с четным, более 20 количеством атомов углерода, образующих 3 связи друг с другом. Атомы в молекулах фуллеренов расположены на поверхности сфероида в вершинах гексагонов и пентагонов. Наиболее выгодной симметрией обладает молекула  $C_{60}$ , состоящая из 12-ти правильных пятиугольников и 20-ти шестиугольников, которая напоминает футбольный мяч (рис. 1).

Рис. 1. Структура молекулы  $C_{60}$



Она характеризуется 10 осями симметрии третьего порядка и является наиболее стабильной среди всех фуллеренов. Атомы в молекуле связаны между собой ковалентными связями. Радиус молекулы  $C_{60}$  составляет 0,357 нм. Фуллерены с количеством атомов более 70 (например  $C_{76}$ ,  $C_{78}$ ,  $C_{84}$ ,  $C_{96}$ ) называют высшими фуллеренами.

Фуллерены позволяют модифицировать известные полимеры, придавая им новые свойства и расширяя область применения материалов. Были исследованы физико-механические свойства полистирола (ПС) и полистирола легированного фуллеренами (ПС+ $C_{60}$ ). Структуры (ПС+ $C_{60}$ ) были получены в результате механического перемешивания раствора ПС в толуоле с добавлением  $C_{60}$ , которое сопровождалось ультразвуковым воздействием. После однородного распределения фуллеренов в растворе образец высушивался на стеклянной подложке.

Для экспериментального определения характеристик исследуемых материалов использовался прибор IMPULSE-1R, созданный в Институте прикладной физики НАНБ (рис. 2).

Применение данного прибора позволяет исключить испытания на стандартных разрывных машинах и не требует изготовления специальных образцов. Его принцип работы основан на использовании датчиков, преобразующих величину механических деформаций, возникающих при воздействии индентора прибора на исследуемый образец, в электрические сигналы.



Рис. 2. Прибор IMPULSE-1R

Последующая компьютерная обработка полученных данных по специально разработанным алгоритмам [2; 3] позволяет в результате одного измерения получить информацию о твердости, модуле упругости, пределе прочности, жесткости, коэффициенте вязкости тестируемого мате-

риала. Основой расчета всех параметров является функция зависимости скорости проникновения индентора от времени. Дифференцируя эту функцию можно получить значение ускорения в любой момент времени, а умножив ускорение на массу индентора – значение контактной силы  $P(t)$ , которая дает представление о твердости материала:

$$H = \frac{1}{\pi D} \cdot \frac{dP}{dl},$$

где  $D$  – диаметр сферы наконечника индентора;  $l$  – глубина его внедрения.

Коэффициент жесткости  $k$  можно найти из закона сохранения энергии. Далее, учитывая, что для вязкоупругих материалов он связан с модулем Юнга  $E$  соотношением

$$k = 1,06E\sqrt{R} \cdot l_{\max}^{1/2},$$

где  $R$  – радиус индентора, можно рассчитать модуль Юнга по формуле

$$E = 0,93 \frac{k}{\sqrt{R}} \cdot l_{\max}^{1/2}.$$

Затем, используя формулу Герца для контактной силы

$$P = \frac{4E}{3(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{R} \cdot l_{\max}^{1/2},$$

можно найти коэффициент Пуассона  $\mu$ . Расчет коэффициента вязкости  $\eta$  производится по формуле

$$\eta = \frac{mv_0}{l} \cdot \ln \left( \frac{v_0^2}{v_0^2 - v^2} \right),$$

где  $v_0$  – начальная скорость индентора;  $v$  – текущая скорость индентора.

Исследования, проведенные специалистами Белорусской государственной академии авиации, показали, что введение в полистирол не-

большого количества (около 1 %) фуллеренов  $C_{60}$  существенно увеличивает его диэлектрическую проницаемость и уменьшает удельное сопротивление. Эксперименты также показали, что  $C_{60}$  увеличивает химическую стойкость, обеспечивает усиление защитных функций пленок ПС от действия ультрафиолетовых лучей. Так пленка толщиной примерно 0,15 мм полностью поглощает ультрафиолет короче 350 нм. Сочетание названных свойств позволяет сделать вывод о перспективном применении (ПС +  $C_{60}$ ) покрытий в экстремальных условиях (авиационной и космической технике, биомедицине, кораблестроении).

В работе исследовались только трибологические свойства полистирола, модифицированного углеродными наночастицами. Исследование процессов трения скольжения осуществлялось с помощью установки, в которой плоский образец, сопряженный с индентором, взаимодействует со вращающимся диском. Отклонение индентора под действием силы трения измеряется при помощи бесконтактного датчика малых перемещений на основе эффекта Холла.

На рис. 3 представлена зависимость силы трения  $F$  от пути  $S$  для полистирола (кривая 1) и полистирола, модифицированного  $C_{60}$  (кривая 2).

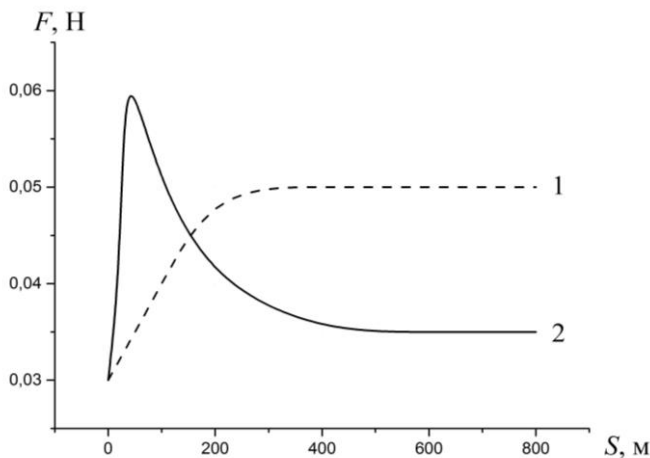


Рис. 3. Сравнение силы трения для полистирола (кривая 1) и полистирола, модифицированного  $C_{60}$  (кривая 2)

Уменьшение коэффициента трения для образцов, содержащих фуллерены, может объясняться изменением механизма трения скольжения на трение качения.

Другим типом интересных наноструктур с широким потенциалом применения являются углеродные нанотрубки. Они представляют собой графитовые сетки, свернутые в трубки. Однослойная нанотрубка может иметь диаметр 2 нм и длину 100 мкм, что делает ее структурой, способной служить нанопроволокой. Многостенные нанотрубки могут содержать от нескольких до нескольких десятков одностенных нанотрубок, вставленных друг в друга. Широкие перспективы использования нанотрубок в материаловедении открываются при капсулировании внутри углеродных нанотрубок сверхпроводящих кристаллов, что позволяет изолировать сверхпроводящие материалы от вредного воздействия внешней среды.

### Литература

1. Витязь, П.А. Фуллерены и фуллереносодержащие материалы / П. А. Зезин, Э. М. Шпилевский, В. Ф. Стельмах. – Сборник научных трудов, Минск: БГУ, 2001. – С. 5–26.
2. Кужир, П. Г. Физика конденсированных сред / П. Г. Кужир, А. А. Баранов, А. П. Каравай, Н. П. Юркевич. – Минск: Технопринт, 2002. – С. 155–169.
3. Леонович, С. Н. Основы физики твердого тела для строителей / С. Н. Леонович, С. И. Петренко. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 202–217.

УДК 620.130

### Гистерезисная интерференция магнитных полей

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены расчетные начальные и гистерезисные ветви электрического напряжения датчика, прямо пропорциональные остаточной намагниченности магнитного носителя (МН). Воздействие на МН осуществляли импульсными магнитными полями двух источников. Построены фигуры гистерезисной интерференции, позволяющие повысить точность контроля структурных и магнитных свойств объектов.*

Гистерезисная интерференция ( $HI$ ) на магнитном носителе и других носителях информации впервые получена авторами и изложена, в частности, в [1; 2; 5–8; 11]. Так, в [1; 2] представлены расчеты распределений  $HI$  и ее использования при контроле объектов из электропроводящих матери-

алов. Отметим одну из основополагающих работ по магнитографии [3], в которой в том числе, рассмотрены записи магнитных полей на магнитную ленту. Для определения параметров импульсов магнитного поля приняты во внимание магнитограммы поперечного намагничивания [4]. Определение нарушений сплошности с использованием пленочных флюкс-детекторов осуществлено авторами и описано в [5]. При записи информации на магнитный носитель и считывании ее магнитной головкой авторами учитывается дифференциальный фон электрического сигнала датчика [6]. Распределение импульсного магнитного поля, прошедшего через металлический объект, изучено в [7]. В работе также использованы результаты работы [8], в которой получены распределения импульсных магнитных полей вблизи металлических объектов разной толщины и учтены способы контроля материалов, изложенные в [9; 10]. В [11] проведен анализ алгоритмов гистерезисной интерференции. Дополнительно выделим материалы, изложенные в [12] по применению вихревого метода контроля.

Для поиска информации свойств объектов необходимо использовать распределения магнитных полей разных источников, в том числе источников, обусловленных структурными, магнитными и другими неоднородностями объектов.

Использование нескольких внешних источников магнитного поля одновременно на заданных участках объектов может значительно повысить уровень информации о свойствах объектов.

Таким образом, целью работы является повышение точности контроля объектов путем построения гистерезисных интерференций электрических сигналов, характеризующих ветви остаточного намагничивания магнитного носителя в импульсных магнитных полях при воздействии на объект с магнитным носителем одновременно однородным полем и полем локального источника.

Воздействуем на магнитный носитель импульсами магнитного поля двух источников и воспроизведем записанную на нем информацию с помощью магнитной головки.

Начальную остаточную ветвь применяемого МН для первого (прямого) импульса описываем найденной нами ранее [2] формулой

$$U_1 = 23,5 + 24,3 \arctg(0,011H_1 - 1,45).$$

Здесь электрическое напряжение  $U_1$  выражено в милливольтгах, а напряженность магнитного поля  $H_1$  – в А/см.

При воздействии вторым (обратным) импульсом магнитного поля используем следующую остаточную гистерезисную ветвь [2]:

$$U_2 = -23,5 + 0,61U_1 + (24,3 + 0,42U_1) \times \arctg((0,011 + 0,000087U_1) H_2 + 1,45 - 0,0016U_1), \quad (1)$$

а при воздействии третьим (прямым) импульсом используем остаточную гистерезисную ветвь (1) с соответствующими знаками перед коэффициентами.

Воздействуем на размагниченный магнитный носитель импульсами магнитного поля и получим ветви  $U(H)$ , соответствующие циклам перемагничивания МН и изображенные на рис. 1. Напряженностям поля первого источника 100 А/см, -35,5 А/см и 20 А/см соответствуют суммарные напряженности двух источников 110,5 А/см, -40 А/см и 21,5 А/см.

Цикл напряжения < 1, 2, 3, 4, 5 > МН получен при напряженности импульсов источника однородного магнитного поля 100 А/см и -35,5 А/см.

Цикл напряжения < 1, 7, 8, 9, 10 > МН – при напряженности импульсов двух источников магнитного поля 110,5 А/см и -40 А/см.

Цикл напряжения < 1, 7, 8, 16, 1, 12, 13 > МН – при напряженности импульсов двух источников магнитного поля 110,5 А/см, -80 А/см и 35,5 А/см, а цикл < 1, 7, 8, 16, 1, 14, 15 > МН построен при напряженности также двух источников поля 110,5 А/см, -80 А/см и 40 А/см.

На рис. 1 показаны прямая 17 и обратная 18 начальные остаточные ветви МН, а также отрезки прямых 5–6 и 10–11.

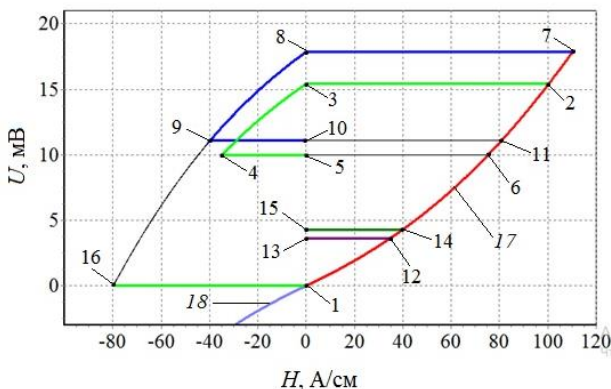


Рис. 1. Циклы напряжения  $U(H)$ , соответствующие циклам перемагничивания МН

В результате воздействия на размагниченный МН первым (прямым) импульсом поля с напряженностью 100 А/см и определенной ранее напряженностью поля второго источника 10,5 А/см переходим из 1 (рис. 1) через 2 через 3 с прибавлением этого поля в 4 и далее по отрезку прямой 5 в 6.

После воздействия на МН вторым (обратным) импульсом напряженностью  $-40$  А/см переходим из 8 в 9 и далее в 10 и 11. При воздействии на МН вторым (обратным) импульсом напряженностью  $-80$  А/см переходим через 16 в 1.

В результате воздействия одним первым импульсом из размагниченного состояния МН 1 попадаем в 12 и 13 при напряженности 35 А/см и в состояние 14 и 15 при напряженности 40 А/см.

Поскольку сигнал в точке 11  $U > 0$ , то действие третьим (прямым) импульсом может быть результативным только при его напряженности больше 80 А/см при движении по начальной остаточной ветви 17. Это обусловлено тем, что дальнейшее увеличение намагниченности материала в одном и том же направлении возможно только при превышении напряженности магнитного поля, приведшего ранее материал в это состояние [8].

Пусть первый источник создает однородное магнитное поле, а вторым источником является линейный индуктор.

Построим картины гистерезисных интерференций  $U(x)$ , где  $x$  – расстояние от проекции оси линейного индуктора на плоскость МН для разных серий импульсов. Для этого найдем зависимости  $U(x)$ ,

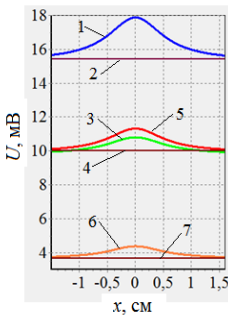


Рис. 2. Зависимости напряжения  $U(x)$  от расстояния  $x$  до проекции оси второго источника

соответствующие циклам электрического напряжения на рис. 1.

На рис. 2 показаны зависимости  $U(x)$  при следующих воздействиях на МН: 1 –  $H_1 = 100$  А/см;  $H_2 = 10,4$  А/см; 2 –  $H_1 = 100$  А/см; 3 –  $H_1 = 100$  А/см;  $H_2 = 10,4$  А/см;  $H_{11} = -35$  А/см;  $H_{22} = -5,6$  А/см; 4 –  $H_1 = 100$  А/см;  $H_{11} = -35$  А/см; 5 –  $H_1 = 75$  А/см;  $H_2 = 7$  А/см; 6 –  $H_1 = 35$  А/см;  $H_{22} = 4,6$  А/см; 7 –  $H_1 = 35$  А/см.

Здесь  $H_1$  и  $H_{11}$  – амплитуды первого и второго импульсов первого источника поля, а  $H_2$  и  $H_{22}$  – амплитуды первого и второго импульсов второго источника. Линейный индуктор находится на расстоянии 0,6 см над объектом, его ось параллельна поверхности объекта.

На рис. 3 показаны оптические изображения магнитных полей. Изображение 1 построено с использованием кривой 1 (рис. 2) и зеркальной ей кривой, смещенной на 30,8 мВ. Изображение 2 – кривая 3 (рис. 2) и зеркальная ей кривая, смещенные соответственно на 3 мВ и 9 мВ. Изображение 3 – кривая 6 (рис. 2) и зеркальная ей кривая, усиленные в 2,1 раза с последующим смещением соответственно на -10,5 мВ и 32 мВ.

Таким образом, могут быть найдены оптимальные режимы контроля объектов с учетом гистерезисных свойств как материала объекта, так и используемого магнитного носителя.

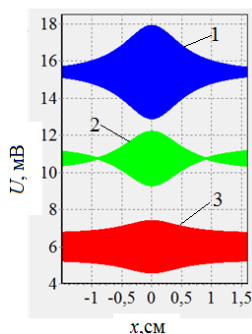


Рис. 3. Оптические изображения магнитных полей

Применение разработанных методов расчета полей позволяет повысить точность контроля магнитных и механических свойств объектов. Это достигается за счет построения гистерезисных интерференционных картин электрических сигналов, соответствующих ветвям остаточного намагничивания магнитного носителя в импульсных магнитных полях при воздействии на объект с магнитным носителем одновременно однородными полями и полями локальных источников, моделирующих поля структурных неоднородностей материала объекта. Последующая обработка результатов расчета

или измерений методами гистерезисной интерференции с построением оптических изображений магнитных полей разной конфигурации позволяет выделять любые локальные отклонения сигнала от заданного уровня, повышая тем самым точность контроля параметров объектов.

### Литература

1. 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.
2. 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.
3. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
4. Павагин, В. А. Идентификация кольцевых сварных швов на магнитограммах дефектоскопов поперечного намагничивания / В. А. Павагин, А. Ф. Матвиенко // Дефектоскопия. – 2009. – № 8. – С. 13–18.
5. 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.



6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционный интроскоп для дефектоскопии металлических объектов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 56–62.

10. Шлеенков, А. С. 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, Н. М. Лядова, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 2010. – № 2. – С. 23–29.

11. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference Algorithms / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing, – 2023. – Vol. 59, №5. – P. 537–546.

12. 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.

УДК 620.130

### **Циклы напряжения датчика, соответствующие циклам перемагничивания объектов**

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены циклы электрического напряжения датчика  $U(H)$ , соответствующие циклам перемагничивания объекта из ферромагнитного материала. Циклы  $U(H)$ , содержащие начальные и гистерезисные остаточные ветви, получены в импульсных магнитных полях с чередующейся полярностью. Воздействие на объект осуществляли полями двух источников. Построены распределения  $U(x)$  по координате  $x$  и картины гистерезисной интерференции, позволяющие повысить точность определения структурных и магнитных свойств объекта.*

Гистерезисной интерференции магнитных полей, а также методам измерения и расчета магнитных полей посвящено значительное количество работ авторов. Так, в [1] приведены расчеты гистерезисной интерференции (НИ) электрического напряжения, снимаемого с преобразователя магнитного поля, с использованием экспериментальных данных и аппроксимированием участков зависимости величины сигнала от толщины объекта. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого в пространстве линейного индуктора с перекрытием зон контроля представлена в [2], экспериментальные гистерезисные интерференционные картины показаны в [3]. Поля дефектов в импульсных магнитных полях записывали на МН в [4]. Обработку сигналов полей, записанных на магнитном носителе, производили в соответствии с изученным нами дифференциальным фоном электрического сигнала [5]. Источниками вторичных магнитных полей являются, в частности, поля дефектов. В этой связи выделим работы [6–9], в которых изучены поля дефектов и сигналы преобразователей полей.

В данной работе и при дальнейшем развитии метода используется анализ алгоритмов метода [10] и результаты изучения распределений импульсных магнитных полей вблизи поверхности металлов [11]. Здесь также учтены вопросы, возникающие при разработке магнитоиндукционного интроскопа [12].

Использование нескольких внешних источников магнитного поля и внутренних источников вторичных магнитных полей может значительно повысить уровень информации о свойствах объектов.

Целью работы является получение гистерезисных интерференций электрических сигналов, характеризующих ветви намагничивания объекта при одновременном воздействии на объект однородным импульсным магнитным полем и полем локального источника для повышения точности контроля на заданных участках объекта.

Воздействуем на размагниченный объект из ферромагнитного материала импульсами магнитного поля разной максимальной напряженности с измерениями максимальной намагниченности материала в действующем поле и получим зависимость намагниченности от напряженности поля  $J(H)$ . Намагниченность материала прямо пропорциональна величине электрического напряжения  $U$  на выходе прибора, с помощью которого мы определяем намагниченность. В результате получаем зависимость  $U(H)$  электрического напряжения от величины напряженности магнитного поля 2, которую мы назовем прямой начальной ветвью. На рис. 1 эта ветвь, исходящая из точки 1, обозначена цифрой 2 и описывается следующей формулой

$$U_{01} = 14 + 29,4 \operatorname{arctg}(0,04H_1 - 0,515),$$

где  $U_{01}$  – величина электрического напряжения, мВ;  $H_1$  – величина напряженности магнитного поля, А/см.

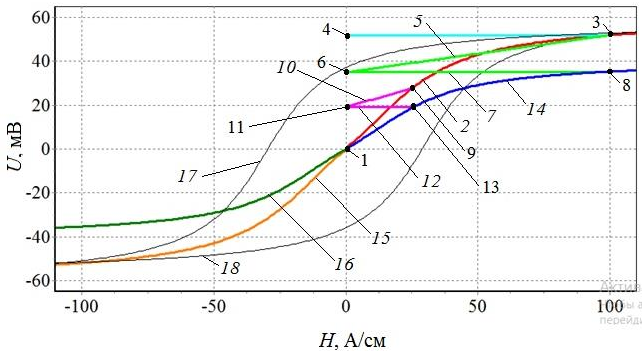


Рис. 1. Прямые и обратные начальные ветви  $U(H)$  материала объекта в действующем поле и в режиме остаточного намагничивания

Намагниченности насыщения  $J_s$  соответствует величина 59,7 мВ. Для обратного направления поля напряженностью  $H_2$  получаем обратную начальную ветвь 15:

$$U_{02} = -14 + 29,4 \operatorname{arctg}(0,04H_2 + 0,515).$$

Воздействуем на размагниченный объект импульсом магнитного поля с максимальной напряженностью 100 А/см. При этом в действующем поле достигнута намагниченность, соответствующая сигналу 52 мВ. Объект переходит из состояния 1 по кривой 2 в состояние 3, которому на оси ординат соответствует точка 4 (рис. 1).

Параметры импульса (время нарастания и длительность) таковы, что процесс намагничивания можно считать установившимся (десятые, сотые доли секунды, единицы секунд), то есть весь объект должен быть намагничены до постоянной величины в конце действия импульса.

По окончании действия первого импульса в прямом направлении объект переходит из состояния 3 по ветви 5 в состояние 6 с остаточной намагниченностью, соответствующей 35 мВ.

На рис. 1 показана также нижняя 18 ветвь частной статической петли гистерезиса с вершиной в точке 3.

Далее из точки 6 проводим горизонтальный отрезок 7 и находим положение точки 8, соответствующее напряженности магнитного поля 100 А/см.

Воздействуем на размагниченный объект импульсом магнитного поля с максимальной напряженностью 25 А/см и перейдем из 1 в 9 с намагниченностью, соответствующей 28 мВ. После окончания действия импульса объект переходит по ветви 10 в состояние 11. Отсюда по отрезку 12 находим положение точки 13 с напряженностью 25 А/см.

По точкам 1, 13 и 8 (в действительности по большему числу найденных точек) строим прямую остаточную начальную ветвь 14 (рис. 1), соответствующую величине остаточной намагниченности материала объекта при намагничивании в прямом направлении поля

$$U_{03} = 9,5 + 20 \operatorname{arctg}(0,04H - 0,515), \quad (1)$$

где  $H$  – величина напряженности магнитного поля, А/см.

Для обратного направления поля получаем обратную остаточную начальную ветвь 16:

$$U_{04} = -9,5 + 20 \operatorname{arctg}(0,04H + 0,515).$$

В качестве обратной гистерезисной ветви  $U_{05}$  будем использовать найденную нами функцию:

$$U_{05} = -14 + 0,457U_{03} + (29,4 + 0,3U_{03}) \times \\ \times \operatorname{arctg}((0,04 + 0,00053U_{03})H_2 + 0,515 + 0,016U_{03}),$$

где  $H_2$  – величина напряженности второго импульса противоположного направления, А/см.

Прямая гистерезисная ветвь  $U_{06}$  и последующие гистерезисные ветви также описываются функциями вида  $U_{05}$  с соответствующими знаками и коэффициентами.

Далее осуществим воздействие на объект одновременно тремя импульсами источника однородного поля и источником локального магнитного поля. Суммарное поле на поверхности объекта состоит из векторной суммы полей этих двух источников. Поле локального второго источника может быть описано разными функциями, полученными на основании экспериментальных данных или теоретических расчетов.

Пусть локальным источником поля является линейный индуктор. Будем определять поле в точке максимума напряженности индуктора на проекции его оси на поверхность объекта. Зададим следующие величины и

направления напряженности магнитного поля трех импульсов локального источника 10,5 А/см, -4,5 А/см и 1,5 А/см и импульсов источника однородного поля, направленных в те же стороны, соответственно 100 А/см, -35,5 А/см и 20 А/см.

Воздействуем на размагниченный объект сериями из двух и трех импульсов магнитного поля и получим ветви  $U(H)$ , соответствующие циклам перемангничивания объекта и изображенные на рис. 2.

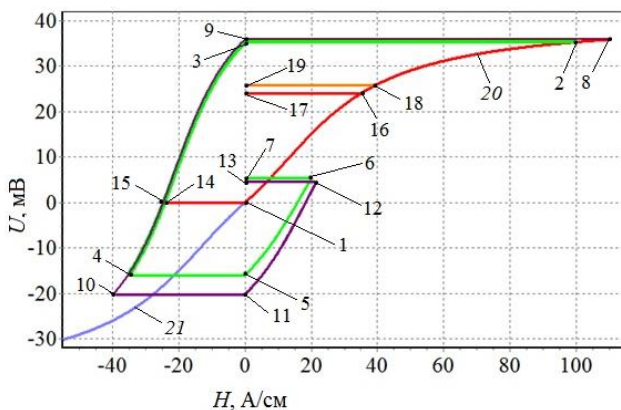


Рис. 2. Ветви  $U(H)$ , соответствующие циклам перемангничивания материала объекта

Цикл напряжения  $\langle 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \rangle$  объекта получен при напряженности импульсов источника однородного поля 100 А/см, -35,5 А/см и 20 А/см.

Цикл напряжения  $\langle 1, 8, 9, 10, 11, 12, 13 \rangle$  объекта построен при напряженности импульсов поля двух источников 110,5 А/см, -40 А/см и 21,5 А/см.

На рис. 2 показана также часть цикла  $\langle 15, 1 \rangle$  при напряженности поля второго импульса -25 А/см. На этом рисунке изображены прямая 20 и обратная 21 начальные остаточные ветви материала объекта. Здесь представлены части цикла  $\langle 16, 17 \rangle$  и  $\langle 18, 19 \rangle$ , построенные на начальной остаточной ветви 20 для первых импульсов соответственно одного 35,5 А/см и двух источников 40 А/см.

В результате воздействия на объект импульсами магнитного поля, циклы которых изображены на рис. 2, получаем зависимости  $U(x)$ , где  $x$  – расстояние до проекции оси индуктора на плоскость измерения. На основании

полученных зависимостей формируем оптические изображения сигнала, показанные на рис. 3. Линейный индуктор находится на расстоянии 0,6 см над объектом, его ось параллельна поверхности объекта.

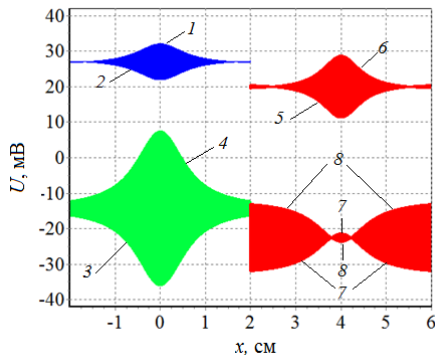


Рис. 3. Оптические изображения сигналов  $U(x)$  с огибающими линиями 1-2, 3-4, 5-6 и 7-8

В результате воздействия на объект первым импульсом однородного магнитного поля напряженностью 100 А/см и амплитудой поля индуктора 10,5 А/см получаем зависимость  $U_1(x)$  (огибающая линия 1), где  $x$  – расстояние от проекции оси индуктора на плоскость измерения, соответствующую (1)

$$U_1 = 10U_{03} - 327 \quad (2)$$

и зависимость  $U_2(x)$  (огибающая линия 2)

$$U_2 = -10U_{03} + 381. \quad (3)$$

Здесь величины напряжений  $U_1$  и  $U_2$ , а также последующие величины напряжений  $U_3$ – $U_8$  измеряются в мВ. Как видно из (6) и (7) при построении оптических изображений производим увеличение сигнала и его смещение.

В результате воздействия вторым импульсом с напряженностями магнитного поля источников –35,5 А/см и –4,5 А/см получаем соответственно зависимости сигнала

$$U_3 = 5U_{05} + 65,$$
$$U_4 = -5U_{05} - 93,5.$$

После воздействия третьим импульсом с напряженностями 20 А/см и 1,5 А/см получаем соответственно

$$U_5 = -5U_{06} + 46,$$

$$U_6 = 5U_{06} - 6,$$

где зависимость  $U_{06}$  получена из  $U_{05}$  с корректировкой знаков и величин коэффициентов.

В случае воздействия импульсами двух источников на размагниченный объект с параметрами полей источников 35,5 А/см и 4,5 А/см получаем зависимость  $U_7(x)$  (огibaющая линия 7), соответствующую (1)

$$U_7 = 3U_{03} - 105$$

и зависимость  $U_8(x)$  (огibaющая линия 8)

$$U_8 = -3U_{03} + 60.$$

Таким образом, в работе найдены аналитические выражения начальных и гистерезисных ветвей электрического напряжения датчика, а также циклы, соответствующие циклам перемагничивания объекта из ферромагнитного материала. Разработана методика использования полей двух источников при контроле свойств объектов, позволяющая повысить точность определения свойств объекта на его участках за счет вариации поля локального индуктора и получения картин гистерезисной интерференции электрических сигналов в разных точках начальных и гистерезисных ветвей сигналов в импульсных магнитных полях.

### 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, and V. L. Pivovarov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. 8–16.
2. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Magnetic Field of a Moving Linear Inductor / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, № 1. – P. 49–57.

3. Pavlyuchenko, V. V. Imaging Electric Signals of a Magnetic Field Transducer with Hysteretic Interference for Testing Metals in Pulsed Magnetic Fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2020. – Vol. 56, № 11. – P. 907–914.
4. 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.
5. 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.
6. Фалькевич, А. С. Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.
7. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
8. Михайлов, С. П. Физические основы магнитографической дефектоскопии / С. П. Михайлов, В. Е. Щербинин. – М.: Наука, 1992. – 238 с.
9. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихретоковым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
10. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference Algorithms / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2023. – Vol. 59, № 5. – P. 537–546.
11. 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.
12. Суханов, Д. Я. Магнитоиндукционный интроскоп для дефектоскопии металлических объектов / Д. Я. Суханов, Е. С. Совпель // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 56–62.

УДК 551.461

### **Стандарты на атмосферу на современном этапе развития авиации**

Кириленко А. И., Листопад А. И.  
Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*В работе проводится анализ ситуации в приземном слое атмосферы в современных реалиях с целью внесения изменений в будущие стандарты атмосферы. Подчеркивается расширяющееся многообразие потребности*



*лей такого ресурса как приземная атмосфера и противоречивость требований даже одного потребителя. Рассматриваются вопросы перспектив использования приземной атмосферы в интересах транспортной отрасли. Подчеркивается недостаточная изученность атмосферных процессов в приземном слое. Отмечается возрастание количества атмосферных аномалий на фоне возрастающего авиационного парка.*

Нижний слой атмосферы чрезвычайно важен для жизнедеятельности человека. Благодаря ему растут культурные растения, которые употребляются в пищу и в технологических процессах, а также протекают основные процессы, такие как фотосинтез, выравнивание температур благодаря нормальному парниковому эффекту, тепло- и влагообмен, и даже изменчивости солнечной радиации мы обязаны приземной атмосфере. Урбанизация, высотная застройка мегаполисов, огромные потоки сбросного тепла, промышленные и транспортные выбросы существенно меняют приземную атмосферу на больших площадях. Экологические проблемы вынуждают человечество строить огромные ветроэнергетические установки, перераспределяющие воздушные потоки. Речь идет о том, чтобы поднять ветрогенераторы на высоту, где скорости ветров выше и стабильнее. Туда же, на высоту, стремятся и солнечные батареи. В приземном слое становится тесно. Особое беспокойство вызывает развитие беспилотников (БЛА).

Благодаря развитию технологий беспилотная авиация в последние годы расширила спектр своего применения. Так беспилотные летательные аппараты (БЛА) используются не только для проведения аэрофотосъемки, мониторинга лесных пожаров, дорожного движения, контроля утечек газов из трубопроводов и пр. БЛА становятся транспортным средством и используются для доставки грузов и перевозки людей. Альтернативы БЛА нет.

Расширяется сфера применения БЛА в военном деле. Разведка, ведение наблюдения за подвижными объектами, бомбометание, перевозка боевых снарядов. Основным преимуществом БЛА при ведении военных действий является отсутствие пилота на борту, тем самым исчезает вероятность гибели человека, при выполнении специальных заданий. Также несомненным достоинством БЛА являются его небольшие размеры, меньшая стоимость в сравнении с пилотируемой авиацией и высокая маневренность, которая обеспечивает полет по заданному маршруту. Благодаря вышеперечисленным функциям БЛА занимают важное место в военной отрасли благодаря меньшей радиолокационной и оптической заметности.

Несмотря на такие громадные преимущества, БЛА остаются уязвимыми со стороны погоды, впрочем, как и вся авиация. Состояние атмосферы,

прогноз погоды – основа применения БЛА, ветрогенераторов, солнечных батарей, воздушных шаров и проч. Для создания этой техники необходимо иметь стандарты на атмосферу. Целью работы является изложение основных требований, которые должны лежать в основе будущих стандартов.

Стандарты на атмосферу устанавливаются Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и используются государствами, входящими в нее. Нормальные условия для авиации: температура 15°C, давление 1013,25 гПа (760 мм рт. ст.). Однако данные стандарты не являются оптимальными для БЛА, малой авиации, энергетиков и тем более в будущем для дирижаблей.

Стандарты должны обеспечить эксплуатацию ресурса (атмосферы) безопасным, эффективным, экономическим и экологическим образом для человека, техники и окружающей среды. Поскольку потребителей этого ресурса достаточно много, то установление общих принципов, характеристик, требований и методов, необходимых для упорядочения и оптимизации их деятельности, является далеко не простой задачей.

Стандарты на атмосферу прежде всего нужны для разработки техники. Однако атмосфера как среда крайне изменчива, стационарна, существование в ней ветра и воздушные течения делают ее анизотропной. Кроме того, ее вертикальная структура слоиста, то есть она неоднородна по вертикали, и даже по горизонтали.

Современные БЛА зачастую имеют несколько режимов полета. Одним из наиболее распространенных является Altitude Hold Mode (удержание высоты), которая позволяет БЛА с помощью специальных датчиков «зависнуть» в небе. При порывистом ветре данная функция автоматически выравнивает судно, тем самым позволяя оставаться ему в заданной точке. Однако большинство легких БЛА предназначенных для фотосъемки местности и производства разведки оснащены барометрическими датчиками. Принцип их работы достаточно примитивный: с увеличением высоты, атмосферное давление падает, а, следовательно, полетный контроллер реагирует соответствующим образом и подает нужные сигналы на двигатели, регулируя тягу. Но большим недостатком является то, что такие датчики не во всех случаях работают корректно, так как на небольшой высоте разница давления ими не ощутима, а потому барометр может давать сбой. В свою очередь из-за отличных систем барического давления могут возникнуть проблемы интеграции БЛА в пилотируемое воздушное пространство.

В настоящее время в авиационной отрасли существует острая проблема выбора системы барического давления. Так авиалайнеры зарубежного производства используют два давления: QNH – давление, приведенное к уровню моря, и QNE – стандартное атмосферное давление. В свою очередь, большинство наших воздушных судов (ВС) используют вместо QNE,

используют QFE – давление, приведенное к порогу взлетно-посадочной полосы. В России (и еще в ряде стран СНГ) используют QFE для посадки, в этом случае баровысотомер покажет ноль. Почти весь остальной мир заходит на посадку по QNH, при посадке по QNH баровысотомер покажет превышение над уровнем моря. Также данное давление QFE используется военными. На высоте ниже нижнего безопасного эшелона (для Беларуси эшелон 50) для ВС на высотомере принято устанавливать давление QNH.

Для малой авиации, которая осуществляет полеты на небольших высотах, особые неудобства представляет то, что давление в Automatic terminal information service (ATIS) указывается в QNH. Поэтому, если экипажу необходимо давление QFE, то его может выдать авиадиспетчер по запросу, в случае наличия таких данных или воспользоваться правилом: от полученного от органа ОВД или ATIS значения QNH необходимо отнять эквивалент барометрической высоты ВПП (Rwy Elev), который можно найти на Approach Chart фирмы Jeppesen в разделе Communication. Получив значение QFE в миллибарах (или других единицах), нужно перевести его в миллиметры по таблице Tables & Codes сборника Jeppesen. Разница между различными видами давлений негативно сказывается на безопасности полетов и использовании воздушного пространства.

Для полетов беспилотной авиации обычно применяется стандартное давление, которое составляет около 1013,25 Па или одна атмосфера на уровне моря. Однако, при различных высотах полета давление может меняться. На больших высотах, где атмосферное давление ниже, БЛА могут использовать специальные системы для поддержания оптимального давления внутри своих корпусов и компонентов. На данный момент БПЛА могут подниматься на внушительные высоты. Одним из примеров является современный турецкий Bayraktar TB2, который провел в воздухе 24 часа и 34 минуты на высоте 8 километров. Также еще один из израильский беспилотников Heron-1 способен подниматься на высоту 10700 м. Это позволяет им функционировать эффективно и безопасно в различных условиях полета.

В более дорогих моделях БЛА имеют в своем оснащении спутниковые приемники, которые берут данные со спутниковых навигационных систем. Такой способ, безусловно, является одним из самых точных, но важно отметить, что системы: GPS, ГЛОНАСС, BeiDou – принадлежат военным ведомствам государств и тем самым весьма ненадежны для использования. Также стоит учитывать, что на спутниковые сигналы оказывают влияние множество факторов: затенения, мощность приемников, несовершенство аппаратуры спутниковых систем, несоответствие эфемерид, условия распространения сигналов в ионосфере.

На данном этапе развития беспилотной авиации запрещено совершать полеты в районе аэродрома, однако, если мы будем затрагивать вопрос интеграции беспилотной авиации в пилотируемое воздушное пространство, то перед нами возникает проблема, связанная с несовершенством БЛА. Так, например, для пилотируемых ВС при посадке на аэродроме существуют категории минимумов ИКАО для точных заходов на посадку. На БЛА же при осуществлении посадки влияют погодные факторы, которые не столь значительны для самолетов. Во многих аэропортах часто наблюдаются туманы и частая облачность на небольших высотах, которые БЛА может воспринять как препятствие и автоматически перейти в режим набора высоты или, приняв туман за землю, пытались совершить посадку с выключением двигателей. Также сам по себе туман негативно влияет на электронику аппарата. Поэтому необходимо учитывать особенности месторасположения каждого аэродрома для дальнейшей возможности использования его совместно с пилотируемой авиацией.

На беспилотную авиацию оказывают значительное влияние атмосферные явления: дождь, град, порывы ветра, температура воздуха, обледенение. Так, например, известны случаи попадания дождевой воды в вентиляционные отверстия БЛА, которые приводили к ухудшению или вовсе выходу из строя приемника сигналов. Такие ситуации весьма опасны не только для пилотируемой авиации, но и для людей, находящихся на земле, поскольку БЛА становится неуправляемым. Если влага попадет на электроцит, то высока вероятность короткого замыкания и, как следствие, возгорание судна [1].

Компании, производящие БЛА коммерческого класса, указывают в документации рейтинг сопротивления погоде [2]. Однако данные показатели значительно разнятся. Международная электротехническая комиссия утвердила рейтинговую систему защиты от твердых тел и жидкостей. Диапазон от 0 до 6 – для твердых веществ и от 0 до 9 – для влажности, степень защиты повышается с увеличением числа. Также благодаря усовершенствованию конструкции судов, растет их стойкость к турбулентности и скорости ветра, однако максимальные показатели работы при сильном ветре находятся около 15 м/с. При таких эксплуатационных условиях значительно возрастает энергопотребление и нагрузка на конструкцию БЛА [3].

Рабочий температурный диапазон БЛА находится от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наиболее подходящей температурой для эксплуатации БЛА является  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура ниже  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  увеличивает внутреннее сопротивление батареи, что приводит к снижению ее разрядной емкости и увеличению падения напряжения во время разряда. При полете, если напряжение батареи значительно снизится, БВС не сможет поддерживать высокую скорость полета при максимальной тяге.

В пограничном слое атмосферы также очень часто наблюдается смена ветра с высотой, которая связана с уменьшением силы трения при удалении от подстилающей поверхности. Наибольшее отклонение ветра влево от изобары отмечается на высоте до 50 м. Приземный слой атмосферы, в котором в большинстве случаев эксплуатируются БЛА, простирается до 900 м и отличается большой загрязненностью в области аэродромов, в промышленных районах, в зонах работы вспомогательных силовых установок, на сильного загруженных маршрутах ОВД.

Поэтому еще одним важным показателем атмосферы является барическая ступень, которая в среднем равна 11 м/мм рт. ст. в приземном слое, а значения барической ступени 8 м/мм рт. ст. используются в авиации при расчетах безопасной высоты полета в равнинной и холмистой местности. Однако необходимо учитывать и изменение барической ступени с учетом температуры, значения которой приведены в табл.

Таблица

Зависимость барической ступени от температуры

Давление, гПа	Температура, °С				
	-40	-20	0	20	40
1000	6,7	7,4	8	8,6	9,3
500	13,4	14,7	16	17,3	18,6
100	67,2	73,6	80	86,4	92,8

При сравнении барической ступени в одной и той же изобарической поверхности, но в разных воздушных массах, можно наблюдать ее увеличение с ростом температуры. Так как для оптимального полета БЛА температура должна быть 20°С–25 °С, то барическая ступень в этом случае будет составлять около 11,47 м/мм рт. ст. – 11,73 м/мм рт. ст., что для БЛА будет весьма существенно.

Еще одним перспективным направлением развития авиации является возвращение к использованию дирижаблей [4]. Сейчас дирижабли можно считать одним из самых безопасных видов транспорта, так как при утечке газа он не упадет на землю, а медленно опустится. В новых дирижаблях вместо взрывоопасного водорода уже достаточно давно используется гелий. Известны также воздушные шары, работающие на перегретом водяном паре. Главными преимуществами таких воздушных судов является их грузоподъемность. Поскольку сила воздействия ветра пропорциональна площади поверхности, а силы инерции – объему, то появление дирижаблей с грузоподъемностью железнодорожного состава дело времени. Возможно, через такие дирижабли в воздухоплавании приживется и атомный двигатель.

Так как современные дирижабли обладают внушительными размерами и относительно небольшими скоростями движения, то они в значительной степени подвержены воздействию атмосферных неоднородностей, к числу которых относятся области с высокой турбулентностью, порывы ветра, струйные течения. При этом аэродинамические характеристики дирижаблей при полетах в таких областях заметно ухудшаются и, как следствие, может случиться потеря управления.

Обледенение корпуса и налипание на него мокрого снега потенциально опасны тем, что происходит утяжеление аппарата и нарушение формы его корпуса. Они не покрывают равномерно весь корпус, а локализируются местами, особенно носовой части дирижабля. При этом центр тяжести – дирижабля смещается, а это ухудшает управляемость дирижабля и в некоторых случаях может привести к ее потере. Подъемная сила летательного аппарата находится в прямой зависимости от температуры воздуха. При повышении температуры и уменьшении атмосферного давления часть подъемной силы дирижабля теряется. В наибольшей степени аэродинамические характеристики дирижабля зависят от его движения. В спокойной атмосфере набегающий поток равномерный, в беспокойной атмосфере происходит изменение скорости движения воздушных масс, наблюдаются сдвиги ветра и другие опасные явления. Поэтому аэродинамические характеристики дирижабля могут сильно отличаться от тех, которые наблюдаются для случая обтекания дирижабля безграничным равномерным потоком. Как видим, появление новой техники приводит к необходимости более точного прогноза состояния атмосферы и учета ее параметров при разработке этой техники, то есть новых атмосферных стандартов.

С развитием авиационной и космической техники список параметров атмосферы, подлежащих нормированию и стандартизации, расширяется. Проанализировав сведения об эксплуатационных характеристиках БЛА можно сделать вывод, что стандартная атмосфера ISA, которая была утверждена в 1975 году, когда беспилотная авиация не существовала, не является подходящей для беспилотных судов, тем самым для них необходимо разработать определённые нормы и требования. БЛА совершенно не защищены от внезапных мощных порывов ветра, осадков, вихреобразования, обледенения. Прогнозировать такие атмосферные события весьма затруднительно. Общие атмосферные стандарты никак их не учитывают.

Будущие стандарты должны быть более детально районированы (например, для северо-восточных и юго-западных регионов Республики Беларусь), более четко разделены по сезонам, поскольку четырех сезонов явно недостаточно. Стандарты с неизбежностью должны включать про-

гностическую составляющую, например, в отношении частоты аномальных атмосферных явлений.

При учете этих требований можно создать технику для решения региональных задач. Бессмысленно мониторить реки, дороги, если оборудование БЛА не приспособлено к работе в тумане или при наличии мелких осадков. Учитывая быструю изменчивость климата целых регионов стандарты должны быть построены на определенное время действия.

### Литература

1. Абрамович, А. А. Прогнозирование воздушных потоков: руководство по прогнозированию метеорологических условий / А. А. Абрамович. – Ленинград: Лен. типография, 1985. – С. 49–50.
2. Баранов, А. М. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов / А. М. Баранов, Г. П. Лещенко, Л. Ю. Белоусова. – Москва: Транспорт, 1993. – 567 с.
3. Карлин, Л. Н. Влияние ветра на боевое применение авиации / Л. Н. Карлин, В. И. Акселевич // Авиационная метеорология. – 2006. № 3. – С. 5–10.
4. Кирилин, А. Перспективы развития дирижаблестроения / А. Кирилин // Воздухоплаватель. – 1999. – №3 (17). – С. 32–37.

УДК 662.769.21

### Источники водорода для водородной энергетики

Кириленко А. И., Бурдин И. Л.  
Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены основные и перспективные направления получения водорода. Рассматривается общая классификация этих направлений по степени воздействия на окружающую среду. Отмечаются современные тенденции по удешевлению производства. Среди них - совмещение функций технологий, когда наряду с водородом получают ценные побочные продукты, попытки попутного решения других экологических проблем и разработка процессов прямого превращения энергии солнечных квантов в химический продукт. Подчеркивается доступность сырьевой базы.*

С течением времени экологические проблемы, стоящие перед человечеством, только обостряются. На данном этапе первопричина видится в

использовании ископаемых горючих материалов, что способствует развитию эффекта глобального потепления и к тому же эти энергетические ресурсы (горючее) близки к истощению. Перевод городского транспорта на электротягу решает проблему локально, поскольку основная часть электроэнергии в мире производится из ископаемых топлив и только в отдельных странах доля альтернативных источников в этом производстве близка к половине. В этой ситуации внимание энергетиков и экологов привлекает водород, и прежде всего в транспортной отрасли. Производство водорода в мире хорошо налажено, прежде всего, для химической промышленности. Уже в 1980 г. в мире было произведено 30 млн. тонн водорода. Понятно, что перевод транспорта на водород многократно увеличивает эту цифру. Если исходить из того, что выбросы  $\text{CO}_2$  в 2022 г. от автотранспорта, водного и авиатранспорта составили 20,35 Гтонн, то производство водорода только на нужды транспорта надо увеличить не менее, чем в 100 раз. Откуда же черпать это экологически более чистое горючее? Еще один аспект проблемы состоит в том, что не любой водород нужен, а лишь тот, который получен с минимальным углеродным следом [1, с. 650]. Целью работы является рассмотрение возможных методов и источников получения водорода, с учётом его очистки, транспортировки и хранения (накопления). Актуальность вопроса состоит в том, что во всём мире развитие водородной энергетики – приоритетная задача в числе мероприятий по сокращению выбросов углерода. Концепция водородной энергетики зародилась в мире в середине 70-х гг. 20 века, а в 1974 г. была создана Международная ассоциация по водородной энергетике. Теперь более чем в 40 странах мира ведутся научно-исследовательские работы по водородной энергетике. Теперь многие государства разработали программы перехода к водородной экономике. В 2021г. программу развития водородной энергетики до 2050г. приняла Россия, в 2023г. – Беларусь.

С развитием производительных сил актуализируется проблема поиска более выгодных ресурсов. Ранее используемые методы их получения устаревали, демонстрируя неэффективность, некоторые же не находили практического применения в связи с недостаточным уровнем развития технологий. Так произошло и с водородом. Как источник энергии, то есть топливо, он просто не рассматривался. Экология заставила искать альтернативу и внимание переключилось на водород как энергоэффективный, экологичный и в общем-то широко распространенный ресурс. Остро стал вопрос источников водорода. Старые методы его получения, основанные на конверсии метана, не годились, поскольку оставляли большой углеродный след. Тем не менее, современные установки по производству водорода достаточно эффективны. Они обладают производительностью от 300 тыс.  $\text{м}^3$  до 3 млн.  $\text{м}^3$  водорода в сутки; для них характерны рабочие давления в



интервале 2–3 МПа. Чистота получаемого на них водорода достигает – 99,9995 % по объему [2]. С такими показателями трудно конкурировать.

Электролиз воды дает чистый водород, но электроэнергия вырабатывалась из углеводородных источников, что тоже оставляло глубокий углеродный след. В 21-ом веке внимание энергетиков переключилось на альтернативные источники, прежде всего на энергию ветра и солнца. Существенное усовершенствование ветрогенераторов и солнечных батарей, наряду с использованием геотермального тепла и энергии приливов, позволило резко нарастить производство альтернативной электроэнергии, образовались ее избытки и здесь опять обратились к водороду, но теперь рассматриваемому как аккумулятор энергии.

Водород можно получить различными способами, применяя преобразования разных видов энергии: электроэнергии, ядерной, солнечной, энергии ветра, геотермальной, гидроэнергии, термальной энергии океана, приливной, помимо химической энергии сжигания ископаемого топлива [1]. Не представляется возможным оценить дальнюю перспективность того или иного способа, поскольку большинство новых способов не вышло из стадии исследовательских или опытно-конструкторских работ. Например, еще совсем недавно никто не предполагал, что электролиз займет такое обширное место в получении водорода за счет использования энергии ветра и солнца.

Итак, приходится разделять способы получения водорода по степени их воздействия на окружающую среду. Предложена следующая классификация технологий (впрочем, она не является универсальной). Итак, выделяют следующие виды водорода: зеленый – водород, получаемый способом электролиза воды с использованием возобновляемой энергии (этот способ один из самых экологичных), бирюзовый – метод разложения метана на водород и твердый углерод пиролизом, желтый – получение с помощью электролиза, но с использованием энергии от АЭС, изумрудный – разложение биометана и природного газа методом термоплазменного электролиза, серый – водород, получаемый способом паровой конверсии метана, голубой – тот же серый, но с улавливанием углерода. Рассмотрим эти технологии детальнее.

Белый водород (природный, золотой, геологический) - естественным образом вырабатывается или присутствует в земной коре [3, с. 74]. Он есть, его не нужно производить, но нужно добывать, что тоже способствует косвенно выбросам углерода. Газообразный водород естественным образом образуется в земной коре в результате реакций вода - горная порода. Этот процесс включает взаимодействие между молекулами воды и богатыми железом минералами, такими как оливин, при высоких температурах и давлениях. При реакции воды с этими минералами по реакции

$3Fe+4H_2O\rightarrow Fe_3O_4+4H_2$  при  $T < 400 K$  выделяется газообразный водород, Этот водород проникает через земную кору и может накапливаться в подземных ловушках. Белый водород был впервые обнаружен в Мали в 1987 г. Всего обнаружено около 100 точек выхода водорода из недр. Вопрос лишь в том, можно ли рассматривать этот водород в качестве устойчивого источника энергии.

Зеленый водород является самым экологичным из производимых, т. к. получают его с помощью электролиза [3, с. 74]. Если электричество поступает от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), то выбросы  $CO_2$  отсутствуют.

Желтый (оранжевый) водород как и зеленый получают путем электролиза. Однако источником энергии являются атомные электростанции (АЭС). Выбросы  $CO_2$  отсутствуют, но метод не является абсолютно экологичным.

Серый водород [3, с. 74] производится путем паровой конверсии метана. В настоящее время это основная технология производства дает более 70% водорода, Исходным сырьем для такой реакции служит природный газ. Этот процесс легко осуществим с практической стороны, однако в ходе химической реакции выделяется углекислота, причем в тех же объемах, что и при сгорании природного газа (плюс также расходуется энергия на конверсию). Впрочем, этот метод представит интерес в том случае, если эффективно улавливать выделяющийся при реакции  $CO_2$  и закачивать его обратно в нефтегазоносный пласт для повышения нефтеотдачи.

Бирюзовый водород получают разложением метана на водород и твердый углерод путем пиролиза. Производство бирюзового водорода дает относительно низкий уровень выброса углерода, который может быть либо захоронен, либо использован в промышленности, например, в производстве стали или электробатарей. Таким образом, он не попадает в атмосферу.

Изумрудный водород получают разложением биометана и природного газа с помощью термоплазменного электролиза.

Голубой водород - это водород, полученный путем паровой конверсии метана, но при условии улавливания и хранения углерода, что дает сокращение выбросов углерода примерно в 2 раза. Однако такой метод получения водорода является весьма дорогостоящим.

Коричневый (бурый) водород. Для его получения в качестве исходного сырья используется бурый уголь. Далее с помощью газификации бурого угля образуется синтез-газ (сингаз): смесь углекислого газа ( $CO_2$ ), окиси углерода (CO), водорода, метана и этилена, а также небольшое количество других газов. Первые два из этих газов бесполезны в производстве элек-

троэнергии. Это делает процесс очень неэкологичным по сравнению с другими методами.

Как отмечалось, предложенная классификация не является общепринятой. По мнению иных специалистов, при электролизе с использованием электроэнергии от атомной электростанции также получается зеленый водород. Другие выделяют его в отдельную категорию как розовый водород или фиолетовый водород. Водород, полученный путем электролиза с использованием электроэнергии из сети, часто называют желтым водородом. Также часто происходит разделение голубого водорода на бирюзовый водород. Разница здесь заключается в том, что вместо паровой конверсии проводится пиролиз метана. В качестве побочного продукта выделяется твердый углерод, который считается ценным сырьем. Некоторые классификации дополнительно разделяют серый водород на бурый водород и черный водород в зависимости от типа используемого угля. Кроме того, в литературе по рассматриваемому вопросу встречаются белый, аква и другие виды водорода.

В настоящее время большое внимание уделяется получению синтез-газа и выделению из нее водорода. В качестве сырья рассматриваются несортированный мусор, обработанный паром с температурой 2 000 °С без доступа кислорода при обычном давлении. Методом паровой термической конверсии кроме синтез-газа получают углеродную крошку, которая используется как дорожное покрытие, а также в качестве фильтра в системах дополнительной очистки. Перспективен также плазменный пиролиз метана, при котором на выходе исключается углекислый газ, а получается только водород и сажа – ценнейшее сырье. В этом несомненное преимущество метода перед паровым реформингом метана. Как видим, для удешевления производства водорода стремятся из бросового сырья получить еще какие-либо ценные продукты.

Представляют интерес и биологические методы. Известно, что некоторые одноклеточные зеленые водоросли и некоторые бактерии продуцируют водород. Удалось заставить их работать совместно и это увеличило производство водорода на 60 %.. Есть надежда, что методами генной инженерии можно добиться более высоких результатов, используя фотосинтез микроскопических водорослей. Получаемый таким методом водород должен относиться к категории белого. Единственным просматриваемым на сегодня экологическим недостатком этого метода является необходимость занимать большие площади под пруды-реакторы.

Определенные надежды связывают с так называемыми квантовыми (наноразмерными) точками. Одно из развивающихся направлений использования их – фотокаталитическое разложение воды с образованием газообразного водорода. Энергия фотонов направляется непосредственно на

химические реакции – аналоги искусственного фотосинтеза. Пока эффективность процесса на уровне 1 %. Экономический интерес он будет представлять при КПД 10 %.

Трудно предвидеть, но возможно в будущем представит интерес процесс радиолиза воды. Уже используется гидролиз воды для получения водорода в богатой электроэнергией Исландии. Избыток электроэнергии получается за счет использования геотермальной и гидроэнергии

Как видим, стремление получить водород экологически чистыми методами приводит к его удорожанию. При этом четко прослеживаются определенные тенденции. Во-первых, пытаются совместить функции технологий – наряду с получением водорода получить другие ценные продукты, например, сажу. Во-вторых, пытаются решить еще другие экологические проблемы, например, избавиться от мусора. Налицо также тенденция освоить процессы типа фотосинтеза. Сырья для получения водорода достаточно. Особое внимание следует обратить на переработку отходов. Например, из алюминиевой пищевой фольги легко получить водород  $2NaOH + 2H_2O + 2Al = 2NaAlO_2 + 3H_2$ . В этой реакции выделяется много тепла и образующийся алюминат натрия является ценным сырьем. Дело за сортировкой мусора.

### Литература

1. Materials for Hydrogen Production, Conversion, and Storage / F. Petermann [et al.]. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2023. – 746 p.

2. Солодова, Н. Л. Водород как перспективный энергоноситель. Современные методы получения водорода / Н. Л. Солодова, Р. Р. Минигулов, Е. А. Емельяничева // Вестн. Каз. технол. ун-та. – 2015. – Т. 18, № 3. – С. 137–140.

3. Романов, А. С. Водородная энергетика: сравнительный анализ способов получения водорода / А. С. Романов // Науч. зап. молодых исследователей. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 73–80.

УДК 004.942

### Компьютерное моделирование лазерной сварки

Афанасьев С. А., Кондратьева Н. А., Кухновец Д. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Компьютерное моделирование лазерной сварки является актуальной и перспективной задачей в современной промышленности. Был исследован*

*процесс лазерной сварки с использованием методов моделирования, доступных в языке программирования Delphi. Создано программное обеспечение для визуализации процесса сварки и проведения анализа различных параметров, влияющих на качество сварного шва. Результаты исследования полезны для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности лазерной сварки в промышленности.*

С развитием современных технологий стала популярна лазерная сварка. Она характеризуется высокой плотностью мощности воздействия, кратковременностью, локальностью, бесконтактностью и возможностью сварки в разной среде. Поэтому проблематикой данной темы является возможностью облегчить процесс лазерной сварки, так как она требует большой точности в расчетах.

Физический процесс лазерной сварки ничем не отличается от простого нагрева. Лазерная сварка, как и любая другая характеризуется температурой, а само воздействие должно приводить к увеличению амплитуды тепловых колебаний решетки.

Особенностью лазерного нагрева является наличие нескольких температур. Когда же лазерное воздействие становится сильнее и менее продолжительнее, то понятие о температурах можно опустить.

Характеристиками лазерной сварки являются большая скорость нагрева и большие пространственные градиенты температуры, что становится причиной заметных отличий в течении процессов, которые происходят из-за лазерного нагрева. Главными физико-химическими характеристиками, которые позволяют решить инженерные задачи, связанные с лазерным излучением и взаимодействия его с веществами, являются: плавление, испарение, кристаллизация, термохимические реакции.

Рассмотрим основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии. Часть излучения лазера, которое падает на поверхность материала, впитывается, а еще часть отражается. Коэффициент отражения  $R$  показывает долю энергии падающего излучения, которая поглотится и будет использована для нагрева, а также он является безразмерным параметром, значение которого лежит от 0–1. В ИК-области коэффициент отражения зависит от электропроводности материала. Световая энергия, которая поглотилась, становится тепловой и приводит к нагреву материала. Нагревание может проходить с большой скоростью. Когда вещество нагрелось до температуры плавления, начинается плавление, для которого необходимо дополнительные энергетические затраты. Граница жидкой фазы идет в глубь материала. При необходимой плотности мощности лазерного излучения расплав нагревается выше температуры плавления и тогда происходит испарение поверхности до того, как вещество

успеет проплавиться на весомую величину. Испарение также требует дополнительных затрат энергии. Перенос тепла в веществе характеризуется процессами теплопроводности. Теплопроводность появляется при прямом соприкосновении отдельных частиц тела или самих тел, которые имеют разные температуры. В газах этот процесс происходит через диффузию молекул, а также атомов. В жидкостях или твердых телах – взаимодействие упругих волн. В проводниках перемещение энергии происходит через диффузию свободных электронов. Перенос через теплопроводность может иметь место тогда, когда в разных точках тела различная температура. Из этого следует, что через теплопроводность температура изменяется в пространстве и времени. Плавление при лазерной сварке рассматривают в рамках изотермического нагревания. В линейных режимах лазерного нагрева для определения температурного поля, надо иметь представление о распределении температуры в самом теле в начальный момент времени, его форму и размеры, закон теплового взаимодействия между поверхностью тела и внешней средой [1].

В реальных условиях зачастую характеристики процесса нагрева вещества лазером зависят от температуры, а также от ее пространственного распределения. Однако, аналитически решить такие задачи не получается. Составить аналитическое уравнение о распределении температурного поля можно, когда облучаемое вещество изотропно и гомогенно, а температурные зависимости оптических и теплофизических коэффициентов слабые, и еще источник тепла не меняется под действием температуры. Все это называется линейными режимами лазерного воздействия.

Рассмотрим решение задачи в аналитическом и компьютерном варианте, где требуется определить диапазон допустимых значений плотности мощности излучения для сварки «встык» двух пластин из фольги, из золота и хрома толщиной 0.1 мм излучением YAG: Nd лазера ( $\tau = 10^{-4}$  с). Будем считать, что до начала расплавления одной из пластин они теплоизолированы друг от друга, после чего температуры пластин в облученной области равны. Облученная область симметрична относительно сварного шва [2].

Для образования сварного соединения необходимо, чтобы оба металла достигли температуры плавления, но не начали испаряться. Плотность мощности лазерного излучения - это мощность, отнесенная к площади, на которой излучение сконцентрировано. Высокая плотность мощности достигается фокусировкой лазерного луча в маленькое пятно. Плотность мощности излучения, необходимую для нагревания каждого из металлов до температуры  $T$  в течение импульса излучения в условиях отсутствия между ними теплового контакта, определим из уравнения баланса энергий в расчете на единицу площади облученной области:

$$q_0 A \tau = \rho c h (T - T_H).$$

Отсюда

$$q_0 = \frac{\rho c h (T - T_H)}{A \tau}.$$

Вычисления показывают, что для Сг достижение температуры плавления требует плотности мощности излучения до  $q_0 = 1,47 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, для золота, по причине высокого коэффициента отражения, много больше –  $q_0 = 12,9 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Таким образом, при  $q_0 > 1,47 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup> происходит плавление фольги Сг в облученной области. После этого будем считать температуру обоих металлов в облученной области одинаковой. Уравнение баланса энергий при этом имеет вид

$$q_0 (A_{Cr} + A_{Au}) \tau = (\rho_{Cr} c_{Cr} + q_{Au} c_{Au}) h (T - T_H).$$

Отсюда

$$q_0 = \frac{(\rho_{Cr} c_{Cr} + q_{Au} c_{Au}) h (T - T_H)}{(A_{Cr} + A_{Au}) \tau}. \quad (1)$$

Диапазон допустимых значений плотности мощности излучения определим следующим образом

$$\min\{q_0(T_{плCr}), q_0(T_{плAu})\} < q_0 < \max\{q_0(T_{кипCr}), q_0(T_{кипAu})\}.$$

Компьютерное моделирование в Delphi позволяет создать программу, которая будет выводить значения диапазона плотностей мощностей при лазерной сварке разных материалов разными лазерами. В формуле (1) используются:  $\rho$  – плотность материала;  $c$  – удельная теплоемкость;  $h$  – толщина сложенных вместе деталей;  $T$  – конечная температура;  $T_H$  – начальная температура;  $A$  – поглощательная способность материала;  $\tau$  – излучение лазера.

Если записать  $A = R - 1$ , то

$$q_0 = \frac{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2) h (T_{\text{кип(пл)}} - T_H)}{((R_1 - 1) + (R_2 - 1)) \tau}. \quad (2)$$

При написании программы учтены одиннадцать значений различных величин, входящих в формулу (2):  $\rho_1$  – плотность одного материала;  $\rho_2$  – плотность другого материала;  $c_1$  – удельная теплоемкость одного материала;  $c_2$  – удельная теплоемкость второго материала;  $h$  – толщина сложенных вместе деталей;  $T_{\text{кип}}$  – наименьшая температура кипения одного из материалов;  $T_{\text{пл}}$  – большая температура плавления одного из материалов;  $T_H$  – начальная температура веществ;  $R_1$  – коэффициент отражения одного материала;  $R_2$  – коэффициент отражения второго материала;  $\tau$  – излучение лазера.

Delphi относится к системам визуального программирования, где используется язык программирования Object Pascal. При создании пользовательского интерфейса поставленной задачи была разработана форма «Определение диапазона плотностей при лазерной сварке» с размещенными на ней компонентами. Выполнена пропись кодов для кнопок открытия документов. Далее, было сделано так, чтобы та информация, которая является постоянной, выводилась в компоненты автоматически через компоненты Edit. На рис. 1 показано, как для этого написаны документы формата \*.txt в стандартном приложении Блокнот для алюминия, железа, золота, кадмия, натрия, магния по следующему шаблону. Добавлены еще две переменные, предусмотрев вывод двух температур плавления и двух температур кипения.

После размещения на форму двух компонентов Memo было выполнено добавление еще двух компонента Edit и дописан код, который выводит в компоненты Edit соответствующие строки из Memo. Так как по условию задачи в расчетах необходимы величины «большая температура плавления» и «меньшая температура кипения», то пропишем в Button3 код, который выполняет сравнение и присваивание значений и расположим его непосредственно перед основным вычислением.

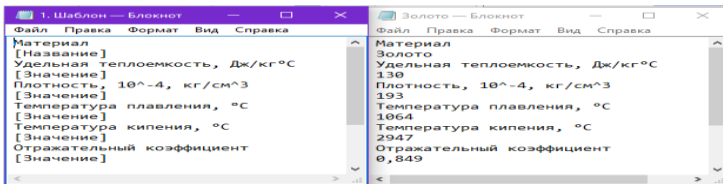


Рис.1. Шаблон документа для автоматического ввода данных



Обозначив за  $d$  и  $e$  – температуры плавления и кипения одного материала соответственно;  $l$  и  $n$  – температуры плавления и кипения другого материала соответственно, в данной части кода таким образом было налажено присвоение двум переменным:  $s$  – большая температура плавления,  $t$  – меньшая температура кипения. Для выполнения сварки требуется проверка условия: когда большая температура плавления превысит меньшую температуру кипения, то сварка станет невозможной. В программе было добавлено сравнение переменных  $s$  и  $t$ , с помощью описания еще одного элемента Мемо. На этом этапе с помощью программы в Delphi выполняются вычисления параметров сварки и делается вывод о ее возможности.

Для улучшения пользовательского интерфейса программы были добавлены: обработка события, когда какие-либо необходимые компоненты не заполнены; вывод результата не только в компоненты Edit, но и в Memo3; очистка всех полей для проведения новых расчетов; создан компонент Button4 для сохранения полученного результата, в программе размещен компонент SaveDialog и кнопка для сохранения выведенной информации в Memo3 и в документ с расширением \*.doc [3]. На рис. 2 показано, как после добавления переменных  $x$  и  $y$  для описания результатов измерений организован их вывод с фиксированным количеством знаков после запятой.

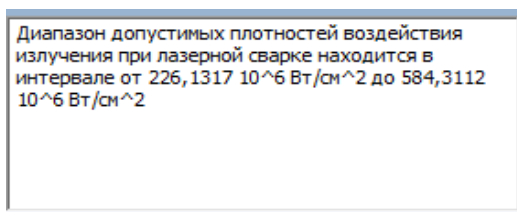


Рис. 2. Сообщение в поле Memo3, отражающее диапазон допустимых плотностей воздействия излучения при лазерной сварке

На рис. 3 показан итоговый результат работающей программы, с учетом перечисленных выше улучшений пользовательского интерфейса.

Были проделаны вычисления параметров лазерной сварки для различных материалов, построены зависимости мощности от изменения толщины элементов. В частности, для золота и меди, магния и натрия, золота и натрия. При лазерной сварке золота и меди, когда  $\tau = 10^{-4}$  с и начальная температура  $T_n = 30$  °C получены результаты минимальных и максимальных значений мощности воздействия в зависимости от толщины матери-

ла. На рис. 4 представлена зависимость мощности от изменения толщины пластины.

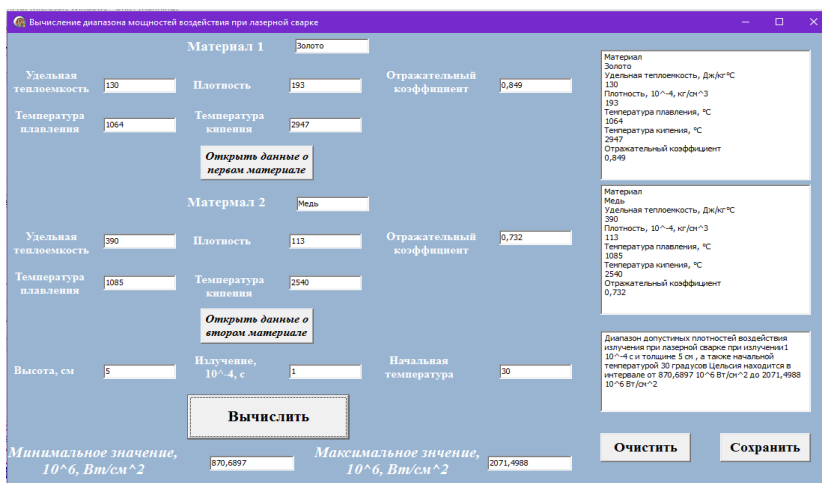


Рис. 3. Готовый интерфейс программы для расчета лазерной сварки

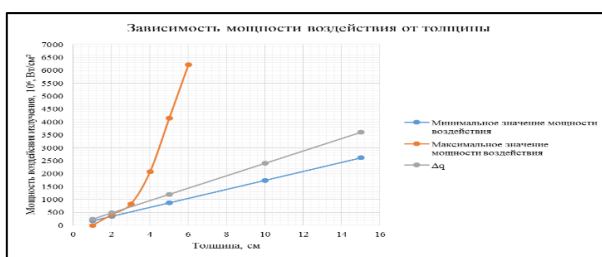


Рис. 4. Зависимость мощности воздействия лазерной сварки от толщины

Компьютерное моделирование взаимодействия элементов золота и натрия показывает, что сварка таких материалов невозможна. На рис. 5 представлен фрагмент вывода результата работы программы, где в расчетах получены значения, указывающие, что большая температура плавления превышает минимальную температуру кипения.

Материал
Золото
Удельная теплоемкость, Дж/кг°С
130
Плотность, 10 <sup>-4</sup> , кг/см <sup>3</sup>
193
Температура плавления, °С
1064
Температура кипения, °С
2947
Отражательный коэффициент
0,849
Материал
Натрий
Удельная теплоемкость, Дж/кг°С
1220
Плотность, 10 <sup>-4</sup> , кг/см <sup>3</sup>
9,68
Температура плавления, °С
98
Температура кипения, °С
886
Отражательный коэффициент
0,975
Сварка не возможна!

Рис. 5. Сообщение в результате работы программы о невозможности сварки

Таким образом выполнено компьютерное моделирование в программе Delphi для определения диапазона допустимых плотностей при лазерной сварке.

### Литература

1. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: Конспект лекций / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 84 с.
2. Вейко, В.П. Сборник задач по лазерным технологиям / В. П. Вейко, Е. А. Шахно. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2007. – 67 с.
3. Архангельский, А. Я. Программирование в Delphi: Учебник по классическим версиям Delphi / А. Я. Архангельский. – М.: Бином-Пресс, 2013. – 816 с.

УДК 33.338.24, 001.895

### **Innovative technologies in the development of modern education**

Gulicheva E. G., Osipova M. S., Sysoeva E. A., Nikitina E. A., Masiagina V. N.  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»  
Moscow, Russia

*The article explores innovative approaches to education for foreign students in technical universities, including the creation of a Digital educational plat-*

*form in Russian. The methodology for adapting students, ways to attract users and the structure features of the platform developed by the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» with the support of the Ministry of Education of the Russian Federation are described. Attention to trends in the development of such platforms and their role in the popularization of the Russian language abroad is paid.*

Currently, one of the most relevant and dynamically developing areas in the field of education and educational technologies is e-learning and the development of open education courses [1]. Leading universities in Russia and the CIS countries are increasingly involved in the creation and promotion of electronic learning resources, creation of electronic libraries [2]. These things are becoming an integral part of the educational process. Numerous factors, such as COVID-19 [3], are driving the development of these distance learning technologies. This opens up new prospects in the international market. Russia and the CIS countries, having capability in the energy sector, strive to provide high-quality education, especially in the field of engineering [4].

One of the tools for creating an effective learning process is a Digital Educational Platform for the implementation of open education courses in Russian (hereinafter referred to as the Digital educational platform) [5].

In 2020–2022, the idea of creating a Digital educational platform for foreign citizens was worked out at the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (hereinafter – MPEI). The project was launched with grant support under the program «Development of Education» in order to expand access to Russian-language open education and scientific and educational cooperation with other countries.

For achieving the goal of a Digital educational platform for international students creating project, the following tasks were formulated:

- to create a platform for open education courses;
- to hold an event to attract users and partner universities.

At the project development stage, personnel are provided by programmers, designers, course developers and administrators from MPEI. The platform is an information space that provides remote training, access to materials and testing. The resource is available at <https://www.digiteducation.ru>.

The Digital educational platform has a block structure that allows you to create comprehensive courses for various educational tasks.

The first block of courses includes «Russian Language», «English Language» and «Physics». The Russian language is the basis of the platform, necessary for effective user experience. English has been added due to its widespread use and the availability of educational materials in that language. A Physics course is required for basic knowledge before studying technical disciplines.

The first block of courses was combined into the program of Additional Professional Education «Preparation for mastering specialized technical disciplines at the university in Russian».

The second block consists of 7 courses focused on the field of electrical engineering and power engineering: «Theoretical Foundations of Electrical Engineering», «Electrical Power Engineering», «Electric Power Systems and Networks», «Electrical Networks Design», «Power Supply», «Overhead and Cable Lines» and «Electric Power Quality».

The Theoretical Foundations of Electrical Engineering course presents the basic concepts and laws of electrical engineering, as well as methods for solving problems on DC and AC electrical circuits.

The Electric Power Engineering course summarizes knowledge about the generation, transmission, distribution and consumption of electric power, including the calculation of modes, short-circuit currents and relay protection.

The Electric Power Systems and Networks course concerns the preparation of replacement schemes for the main power grid equipment, calculation of steady-state modes and voltage regulation.

The Electrical Networks Design course introduces the choice of electrical equipment and methods of technical and economic comparison of network construction options.

The Power Supply course refers to the characteristics of power for cities and issues of supply reliability.

The Overhead and Cable Lines course introduces the design of power transmission lines.

The Electric Power Quality course describes the characteristics of the power supply system in terms of electromagnetic interference and methods for protecting electrical receivers.

The second block of training courses was combined into the program of Additional Professional Education «Fundamentals of Electrical Power Engineering and Electrical Engineering».

The Digital educational platform combines the best practices of modern distance learning systems and innovative approaches to learning and professional development. The authors identified the main trends of this approach:

**The glossary** in the Digital Educational Platform is the main assistant for foreign students, helping them master complex technical disciplines. It provides definitions of key terms in Russian and the selected language, and may also include illustrations. Users can search for terms across all training courses and study them individually or all at once. This sharing of courses and glossary creates an efficient learning environment for international students on the platform.

The Digital educational platform is **highly interactive**. For example, in the “Russian language” course, when you hover over a word, you can see its picture

and translation into English. When you click on a letter of the alphabet, you can hear its pronunciation and watch a video showing how the letter is written. A similar interactive approach is used in the rest of the course.

The Digital educational platform offers **high information content and easy navigation**. By clicking on the “More about the platform” button, you will be taken to the About Us page, provides an illustration of the process from idea to project implementation, as well as a brief description.

In the main menu on the left is the News page, where information related to the platform is published, such as hosting events or adding new courses. Here you can read each news in more detail.

When you click on the Learn button on the main page or menu, you will be taken to the «Educational Materials» page, where all training courses are located.

Inside each lesson of the course you will find the structure and content of the lesson, including the blocks «Theory», «Practice», «Test», «Video» and «Application».

The Digital platform provides access to a variety of content, including **video, photo, audio, graphics**, applications and educational games. The “Theory” and “Practice” blocks contain presentations adapted for lectures and practical classes. It is possible to add voiceover from the teacher. The «Video» block contains videos demonstrating the principles of the phenomena being studied or their practical application. The Application section presents educational games that allow you to learn in a playful way. For example, in a physics game, the challenge might be adjusting the speed of a cannon projectile to hit a barrel.

The Digital educational platform offers a Test block for **self-testing**, where users can take a test and, if successful, receive a check mark in front of the corresponding activity.

This integrated approach to learning educational subjects makes the platform exciting and competitive for international students.

It is worth highlighting the site administration block, allows you to easily add, edit and delete content with minimal time. In the future, it is planned to expand the team of tutors and teachers from various educational organizations.

The Digital platform is ready to be used to train students around the world and to expand the range of training courses. The implementation of the project led to the achievement of qualitative and quantitative results, confirmed by the successful holding of an international event called “Open Education Forum in Russian for Foreign Citizens” (hereinafter referred to as the Forum) (Tab.).

Results of the project MPEI Digital educational platform for the implementation of open education courses for foreigners

Quantitative results	Qualitative results
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 developed and correctly functioning Digital Educational Platform;</li> <li>• 10 open education courses;</li> <li>• CONTENT: 135 theoretical presentations, 90 practical presentations, 695 test tasks, 12 glossaries, 10 educational layouts, 60+ videos, 6 developed programs and educational games;</li> <li>• 1 educational and practical international event based on the Digital Educational Platform, lasting 4 days.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• promoting the platform, Russian education and the Russian language;</li> <li>• improving the quality of distance learning;</li> <li>• creating a positive information background to attract foreign citizens to study and work in Russia;</li> <li>• expanding the scope of application of the Russian language.</li> </ul>

The main goal of the Forum was to inform about the creation and launch of the Digital educational platform, attract foreign users, tutors and teachers, as well as popularize the Russian language and Russian technical education in the BRICS, ASEAN, and CIS countries. The forum was held from November 28 to December 1, 2022 at the MPEI, Moscow, Russia.

At the forum, the development team conducted master classes on the capabilities of the Digital platform from the point of view of organizing training, the position of a teacher and tutor, as well as from the student's position. The event was attended by students, young professionals, entrepreneurs, teachers, school-children and administrative staff of universities and schools from 39 countries, including BRICS, ASEAN and CIS countries. In total, there were 1075 participants and more than 30 speakers including university leaders, scientists, academic staff and embassy representatives. The speakers shared best practices in creating and using distance learning resources, and also spoke about the features of teaching Russian as a foreign language and pedagogical skills.

The project, implemented by the MPEI with the support of the Ministry of Education of the Russian Federation, is aimed at creating, content filling, integrated administration, hardware and software, organizational and methodological support for the Digital educational platform.

The developed platform provides the possibility of remote learning in an interactive form free of charge with the right of independent choice by users of the pace, time and place of access to educational and test materials.

Taking into account the number of participants in the Open Education Forum and the feedback received, the project's working group suggests that the

platform can become a base for networking, cultural, humanitarian, scientific, educational and business cooperation with countries near and far abroad.

At this stage, the Digital platform is fully prepared to expand the range of training courses and be used by students around the world. This allows us to outline the main directions to work on in the future. These include improving the user's personal account with the ability to track the progress of their studies, providing limited access to the administrative panel in order to provide teachers from partner universities with the opportunity to post their training courses, filling out and translating technical glossaries into new languages, creating a single information platform for registering on educational, scientific and career guidance events organized by the MPEI (olympiads, conferences, master classes, etc.) and much more.

The results of the project were summed up at the All-Russian Seminar, organized on December 7, 2022 by Verkont Service LLC with the support of the Ministry of Education of the Russian Federation. By the decision of the expert commission, the MPEI project was selected for inclusion in the collection of the best practices of Russian education in the framework of international cooperation in the Russian Federation and abroad, including those aimed at ensuring the full functioning and development of the Russian language.

To support the Digital platform, it is planned to expand the team of tutors and teachers of the Digital educational platform including teachers of Russian and foreign educational organizations and to carry out constant interaction with partners from commercial companies interested in training their staff on a contractual basis using interactive distance education tools.

### **References**

1. Titova, L. K. The role of distance learning in the modern world / L. K. Titova // Distance learning – the educational environment of the XXI century: materials of the XII International Scientific method. conf.: Republic of Belarus, Minsk, May 26, 2022 / Editorial board: E. N. Schneiderov [et al.]. – Minsk: BGUIR, 2022. – P. 48–49.

2. Tarasov, A. Y. Improving Professional Skills and Competencies in the Management of International Activities of Russian Universities: National Interests and Regional Development / A. Y. Tarasov, S. V. Shirinskiy, E. G. Gulicheva, M. S. Osipova, E. A. Sysoeva, I. D. Sazonova. – M.: RIOR, 2022. – 180 p.

3. Kozmina, I. S. The use of information and telecommunication technologies in the emergency transfer of the educational process to a distance format in conditions of self-isolation / I. S. Kozmina, M. P. Khokhova, M. V. Karpunina // Collection of articles of the International scientific and



methodological competition. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership «New Science» (IP Ivanovskaya I.I.), 2020. – P. 136–146.

4. Tarasov, A. Y., Gulicheva, E. G., Sysoeva, E. A., Mai Nguyen Tuyet Hoa. Strategic Partnerships of Universities as a Tool for Intensifying the Development of the Regional Economy and Society in the Digital Economy / A. Y. Tarasov, E. G. Gulicheva, E. A. Sysoeva, Hoa Mai Nguyen Tuyet // 3<sup>rd</sup> International Conference on Spatial Development of Territories (SDT 2020). – Belgorod, 2021. – P. 372–378.

5. Ketoeva, N. L., Sysoeva, E. A., Orlova, E. S. Influence of Innovation Infrastructure on the Formation of Key Competences of the Management Personnel in Energy Enterprises in the Digital Economy / N. L. Ketoeva, E. A. Sysoeva, E. S. Orlova // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2023. – No. 5(2). – P. 242–248. –

**Лингводидактическое обеспечение  
технического образования**

УДК 811.111:378.091

**Концептуальные основания применения  
индивидуально-типологического подхода в образовании**

Пятецкая О.Ю.

Минский государственный лингвистический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Публикация посвящена концептуальным основаниям применения индивидуально-типологического подхода в вузе. Рассмотрены особенности данного подхода, уровни индивидуализации в профессиональной подготовке студентов. Применение концепции индивидуально-типологического подхода в обучении способствует повышению уровня мотивации обучающихся, а также, к высоким академическим результатам. Материал может быть полезен преподавателям языковых и неязыковых университетов.*

В настоящее время уделяется пристальное внимание качеству высшего образования, которое получают студенты высших учебных заведений. Успешное овладение профессией во многом зависит от индивидуального стиля познавательной деятельности обучающегося. Применение индивидуально-типологического подхода способствует индивидуализации образовательного процесса, в результате использования которого раскрывается потенциал каждого студента.

Обучение должно создавать благоприятные условия для раскрытия индивидуальности студента, чтобы и в профессиональной деятельности его труд стал действительно творческим. Соответствующая среда для учета и развития индивидуальных качеств каждого студента, его внутреннего потенциала создает индивидуальный подход к профессиональной подготовке, заключающийся в организации процесса сообщения студентам соответствующих специальных знаний и формирования умений с учетом их индивидуальных особенностей. В результате, создаются ситуации для реализации потенциальных возможностей каждого обучающегося. Данный подход не позволяет нивелировать различия между членами учебной группы, а наоборот, способствует объединению студентов в подгруппы на основе схожих личностных характеристик и развитию уникальных способностей, нацеливает на высококвалифицированную подготовку к профессиональной деятельности.

Главными целями и критериями индивидуально-типологического подхода в профессиональной подготовке являются:

1) повышение эффективности профессиональной подготовки, создание системы образования, обеспечивающей каждому студенту максимальное развитие его потенциала;

2) демократизация учебно-воспитательного процесса, ликвидация единого образа в обучении, предоставление студентам свободы выбора элементов учебно-воспитательного процесса;

3) создание условий для обучения и воспитания, которые отвечают индивидуальным особенностям и являются оптимальными для разностороннего развития студентов;

4) формирование и развитие творческого потенциала, индивидуальности, самостоятельности личности.

В связи с вышесказанным, индивидуально-типологический подход в профессиональной подготовке студентов означает: создание условий и стимулов для профессионального развития студентов; внедрение современных педагогических и психологических технологий развития индивидуальности; обеспечение мониторинга профессионального развития всех субъектов образования, развитие вариативного образования, направленного на расширение профессионального самоопределения и на саморазвитие личности студента; коррекция социального и профессионального самоопределения учащегося, а также профессионально важных характеристик будущего специалиста.

Таким образом, индивидуализация профессиональной подготовки может осуществляться на различных уровнях: частно-методическом, технологическом, общепедагогическом, социальном. Различные педагогические условия могут способствовать реализации индивидуально-типологического подхода профессиональной подготовки. Индивидуально-типологический подход учения предполагает, что для нескольких студентов есть своя мера трудности в усвоении знаний, формировании умений и навыков, в результате чего данные студенты объединяются в подгруппу, где проводится педагогическая работа с учетом индивидуально-типологических особенностей ее участников. На основе этого может быть установлена лишь нижняя граница трудности материала, которую каждый студент должен стремиться перейти. Таким образом, данный подход не исключает, а предполагает коллективные, фронтальные, групповые формы деятельности.

Существуют различные точки зрения на организацию профессиональной подготовки в вузе. К числу таковых относится концепция индивидуально-типологического подхода к обучению студентов, согласно которой процесс обучения строится на основе специальных для каждой подгруппы студентов видов деятельности, методов и приемов и приобретает для студентов личностное значение, станет мотивированным, будет носить во

многим коррекционный характер. В результате чего осуществляется более избирательное влияние учебного процесса, как на личность каждого студента подгруппы, так и на развитие его индивидуальных особенностей. Так, если каждая высшая школа будет иметь действительно научную методику, отражающую современный уровень знания, учитывающую индивидуальность каждого обучающегося, можно быть уверенным в высоком качестве подготовки большинства студентов.

Проблема индивидуально-психологических особенностей личности является одним из ключевых вопросов. К индивидуальным особенностям личности относится специфика эмоциональной мыслительной личности, темперамент, характер и другое (то, чем множество участников коллектива отличаются друг от друга). Сочетание всех компонентов сторон личности и индивидуальности всегда настолько своеобразны, что ни один из участников не похож на другого члена учебной группы, каждый уникален и неповторим. Ко всем необходимо найти подход, всех воспитывать, раскрывать их потенциал.

В личности выделяется несколько сфер: потребностно-мотивационная, познавательная, эмоционально-волевая. Потребностно-мотивационная сторона представляет собой ядро личности. Потребности – источники активности личности. Изучение и учет индивидуальных особенностей личности следует начинать с выявления имеющихся потребностей. Отсутствие у участников определенных потребностей иногда делает педагогическое воздействие нерезультативным. Познавательные потребности, по мере осознания, превращаются в мотивы. Мотивы – это побуждение к деятельности. Важнейшими мотивами являются стремления, интересы и убеждения человека. Педагогу необходимо помочь студентам развить у себя познавательные потребности, как в учебе, так и в профессиональном труде.

Стремления, познавательная потребность – это важнейшие мотивы. Однако, существуют еще и внешние факторы (требования, наказание, награда, похвала, соревнование, влияние группы). Их воздействие на студентов следует обязательно учитывать в процессе обучения и воспитания. Практика показывает, что наблюдательный и опытный преподаватель может определить типологические особенности студентов, их самооценку по «жизненным показателям». В связи с этим, педагог должен учитывать тип темперамента, индивидуальные особенности обучающихся. При определении психологических характеристик студентов важно не принимать реакции мимики и жестов на внешние физические раздражители за проявление внутренних психических состояний, не делать выводов на основании одной детали, не рассматривать внешнюю компенсацию физических недо-

статков в качестве показателя настоящего состояния (так прищуривание может быть обусловлено близорукостью, а вовсе не презрительностью).

Основу индивидуально-типологического подхода в процессе обучения должна составлять диагностика индивидуального развития учащихся. Поскольку она предполагает постоянное наблюдение за процессом индивидуального развития студентов с целью выявления соответствия желаемому результату или первоначальным предположениям, можно говорить об осуществлении мониторинга индивидуального развития учащихся. Мониторинг это планомерное диагностическое отслеживание процесса индивидуального развития учащихся, главными компонентами которого являются: диагностика динамики индивидуального развития обучаемых, внесение корректировок в процесс профессиональной подготовки (диагностика, прогнозирование, анализ индивидуального развития личности). Мониторинг может применяться в стартовой, текущей, итоговой формах.

Последовательное осуществление мониторинга позволяет обеспечить интеграцию развития индивидуальных качеств личности, профессиональной подготовки и взаимодействия обучаемых и педагогов. На основе информационных измерений происходит группировка студентов. Самым простым видом уровневого ранжирования внутри групп является выделение трех основных характеристик учащихся: с высокими, средними и низкими стартовыми психологическими характеристиками. Это нужно для того, чтобы наблюдать динамику продвижения и достижений каждого студента в учебном процессе.

Соотнесение стартовых характеристик студентов и их результатов включает прогнозирование и анализ текущей ситуации. На этапе прогнозирования мы предполагаем, что для нормального протекания учебного процесса необходимой становится не только реализация стартового потенциала учащегося, но и создание условий для его развития. Как писал Л.С. Выготский, педагогика должна ориентироваться не на вчерашний, а на завтрашний день развития личности. Подобный подход представляет собой прогнозирование поэтапного перевода учебных достижений учащихся на ближайший уровень их развития.

Следующий этап мониторинга индивидуального развития учащихся – анализ текущей ситуации. Сопоставление уровня достижений студентов с уровнем стартового потенциала необходимо проводить конкретно для каждого члена учебной группы.

Таким образом, применение индивидуально-типологического подхода в образовательном процессе предполагает создание условий для индивидуализации профессиональной подготовки, основанной на учете уникальных особенностей, черт и характеристик каждого студента. Кроме того, необходимо постоянное отслеживание динамики развития учащихся для

выбора педагогом наиболее эффективных методов, приемов обучения, а также форм организации учебной деятельности. Лишь при соблюдении выше перечисленных особенностей индивидуализации обучения, возможно достижение поставленных целей и задач в образовании.

УДК 811.11(03):378.4

**Экологическая терминология на занятиях по английскому языку в вузе инженерного профиля**

Сугакова Е. П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье обосновывается необходимость использования экологической лексики на практических занятиях по английскому языку как один из способов формирования эколого-коммуникативной компетенции у обучающихся технического вуза, а также дается классификация наиболее часто встречающейся и используемой терминологии.*

Формирование эколого-коммуникативной компетенции в системе профессиональной подготовки специалистов инженерных специальностей имеет особое значение. Такая компетенция обеспечивает необходимые навыки для эффективной коммуникации и взаимодействия с другими участниками процесса общения с учетом экологических аспектов. У студентов появляется возможность научиться объяснять сложные экологические вопросы, принимать участие в диалогах на темы, связанные с окружающей средой и находить компромиссы в интересах экологической устойчивости.

Кроме того, важным аспектом формирования эколого-коммуникативной компетенции является умение работать в коллективе для поиска решений экологических проблем и разработки инновационных проектов с учетом экологических аспектов. Такие навыки становятся неотъемлемой частью профессиональной деятельности инженеров и способствуют созданию устойчивого будущего нашей планеты.

В целом, формирование эколого-коммуникативной компетенции в процессе подготовки специалистов инженерных профилей способствует повышению качества их профессионализма и дальнейшей адаптации к современным требованиям экологической устойчивости в различных сферах деятельности.

Таким образом, принимая во внимание выше сказанное, включение изучения экологической лексики на занятиях по английскому языку в ву-

зах инженерного профиля является весьма актуальной задачей. Знание терминов и выражений, связанных с экологией, поможет студентам быть осведомленными и готовыми к обсуждению данной темы на иностранном языке. Изучение лексики будет способствовать формированию экологического сознания у обучающихся, а также позволит им более ответственно относиться к окружающей среде. Интеграция экологической терминологии позволит существенно повысить уровень владения языком, а также поможет преподавателю сделать занятия более разнообразными, интересными и полезными для студентов.

Существует несколько способов внедрения и изучения экологической терминологии на практических занятиях по английскому языку:

- чтение текстов и статей. Преподаватель и студенты совместно могут заниматься поиском статей, книг или новостных материалов на английском языке, которые касаются экологических тем. После чего можно заняться записью новых слов и фраз и изучением контекста их использования;

- слушание и просмотр. На практическом занятии можно просматривать фильмы (в том числе и документальные фильмы) или прослушивать подкасты на тему экологии на английском языке. Это позволит услышать терминологию в естественном контексте и улучшить понимание на слух;

- изучение онлайн-ресурсов. Существует множество онлайн ресурсов, посвященных экологии на английском языке. Поэтому можно найти подходящие уроки, тесты и словари для изучения подходящей лексики;

- практика в письменной и устной речи. Можно предложить студентам задания следующего характера: написать эссе, подготовить статьи или доклады на тему экологии на английском языке. Это позволит закрепить изученную лексику и улучшить навыки письма. Также можно вынести эти темы на обсуждение, чтобы улучшить навыки устной речи;

- лекции и презентации. Преподаватель может проводить лекции, в ходе которых объясняется определение ключевых терминов, иллюстрируются примеры и демонстрируются визуальные материалы для наглядности;

- междисциплинарные подходы. Студенты могут изучать экологическую терминологию в контексте других дисциплин, таких как биология, строительство, экономика и социология, что поможет им лучше понять взаимосвязи между человеком и природой.

Данные способы являются самыми простыми и, на самом деле, часто применяются в практике планирования и подготовки практических занятий. Из опыта применения таких методов обучения можно определить классификацию терминов, чаще всего используемых на занятиях. Например, термины, относящиеся к техническому английскому языку (*Technical English*). В эту группу будет входить терминология, специфическая для



инженерных областей, таких как машиностроение, электротехника, строительство и т.д. Инженерная грамматика (*Engineering Grammar*), в которую входят грамматические правила и структуры, используемые в техническом контексте, например, для описания процессов, технических спецификаций и инструкций. Профессиональная лексика (*Professional Vocabulary*), это словарь, связанный с конкретной областью инженерии, например, термины из области компьютерных наук, автомобилестроения или теплогазоснабжения. Термины проектирования и технической документации (*Design and Technical Documentation Terms*) включают словарь терминов, используемых при создании технических чертежей, схем, спецификаций и другой документации. Академический английский (*Academic English*), куда входит терминология, используемая в научных статьях, отчетах и презентациях, связанных с инженерными исследованиями и разработками. Термины по управлению проектами (*Project Management Terms*), в эту классификацию входят термины, используемые в управлении проектами, включая термины из области планирования, контроля, рисков и коммуникаций. Термины по инженерной безопасности (*Engineering Safety Terms*), включающие экологический компонент, содержащие термины, связанные с безопасностью на рабочем месте, предотвращением аварий и защитой окружающей среды.

Интеграция экологической терминологии на занятиях по английскому языку может оказаться очень полезной по нескольким причинам:

- расширение словарного запаса. Знакомство со специализированной лексикой в области экологии поможет студентам увеличить свой словарный запас;
- понимание важности экологических аспектов. Знание терминов, связанных с экологией, позволит студентам лучше понимать важность устойчивого развития и экологических проблем в современном мире;
- подготовка к профессиональной деятельности. В современном мире все больше внимания уделяется экологической ответственности в различных областях профессиональной деятельности. Знание соответствующей терминологии поможет студентам быть готовыми к работе в сферах, где важны экологические аспекты.

Таким образом, интеграция экологической терминологии на практических занятиях по английскому языку в вузах инженерного профиля может иметь благоприятное влияние на обучение студентов, помогая им не только совершенствовать языковые навыки, но и повышать осознание значимости решений в экологической сфере.

**Обучение экологической лексике студентов  
инженерных специальностей**

Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье представлен структурированный план занятия по английскому языку по внедрению и обучению студентов инженерных специальностей экологической лексике в техническом вузе.*

В современной образовательной среде особое внимание уделяется развитию знаний студентов в различных областях, и одной из наиболее актуальных является экология. С течением времени четко сформировалась тенденция развития экологического воспитания, образования, направленного на обеспечение безопасного существования, развития социального и экономического благополучия, как нынешнего, так и будущего поколения. Появилась тенденция к экологизации различных областей наук, в том числе и технических. Для того, чтобы идти в ногу с современными тенденциями от преподавателей требуется пересмотр привычных планов занятий по английскому языку, преподаваемому в техническом вузе для студентов инженерных специальностей. Следовательно, для того чтобы провести практические занятия, направленные на глубокое понимание и освоение экологической лексики студентами, необходимо тщательно продумать и разработать четко структурированный план занятий. Целью подобных занятий является внедрение экологической лексики и развитие ее глубокого понимания у студентов.

В данной работе представлены некоторые ключевые шаги, которые могут достичь поставленной цели:

– Тщательная подготовка учебных материалов. Необходимо составить обширный набор текстов, охватывающих различные аспекты экологической тематики и соответствующих уровню знаний студентов. Затем следует определить ключевые слова и термины, которые нужно внедрить в процесс обучения, и подготовить краткие, но понятные определения для каждого из них.

– Интерактивное введение в тему. В начале занятия рекомендуется спросить студентов о значении экологической лексики в современном мире и о ее важности для каждого из них лично. Следующим шагом должно стать определение ключевых экологических проблем, с которыми приходится сталкиваться в современном обществе, и объяснение того, что имен-

но знание соответствующей лексики позволяет лучше понимать и решать эти проблемы.

– Активизация и усвоение лексики. Студентов можно разделить на большие группы и распределить по одному тексту на экологическую тематику каждой группе. Затем следует предложить выполнить следующее задание: выделить в тексте все слова и термины, связанные с экологией. После того как студенты закончат выделение стоит провести обсуждение с объяснением значения найденных слов и терминов, подчеркивая их важность в контексте экологических проблем.

– Практические упражнения для закрепления изученного материала. Студентам также могут быть предложены различные упражнения, направленные на закрепление новой лексики, например, составление предложений с использованием изученных слов.

– Можно организовать ролевые игры или дискуссии на экологические темы, где студенты смогут активно применять изученные термины и слова. Такой вид работы на практическом занятии позволит обучающимся лучше усвоить новую терминологию и подготовить общий, либо индивидуальный глоссарий изученных слов.

– Контроль знаний. После того как студенты пройдут через все этапы обучения, необходимо провести контроль знаний, который поможет оценить степень усвоения материала и определить необходимость дополнительных занятий.

Кроме вышеперечисленных этапов проведения практического занятия по английскому языку с внедрением и изучением экологической лексики можно выбирать и другие. Широкую популярность имеют интерактивные методы обучения, такие как дебаты, игры и симуляции. Можно также использовать мультимедиа. Подбирать для занятий актуальные видеоролики, аудиоматериалы, позволяющие проиллюстрировать сложные экологические концепции и термины. Студентам можно рекомендовать использование онлайн ресурсов, таких как виртуальные лаборатории, экологические базы данных и форумы, которые позволяют расширить понимание экологической лексики и проблем, с которой сталкивается окружающая среда. Отличным вариантом изучения экологической лексики могут стать занятия-экскурсии.

Следуя тщательно продуманному структурированному плану с определенным набором заданий и упражнений, можно достичь высокого уровня эффективности обучения студентов экологической лексике, делая занятия не только интересными, но и продуктивными. Это поможет студентам лучше понять и применять полученные знания в решении экологических проблем в их дальнейшем профессиональном развитии.

**Применение имитационных методов обучения для формирования экологической компетенции у студентов инженерного профиля на занятиях по английскому языку**

Тесленко М. М.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматривается практика применения имитационных методов как средство обучения английскому языку студентов инженерных специальностей*

Реалии 21-го века требуют формирования у студентов инженерного профиля экологической компетенции и/или компетентности.

Экологическая компетентность – один из ключевых показателей культуры человека. Её сформированность, в свою очередь, является главным условием социализации в обществе [1]. Другими словами, это совокупность личностных качеств, к которым относятся:

- способность правильно понимать, оценивать и использовать информацию в области окружающей среды в конкретной экологической ситуации;
- умение моделировать и прогнозировать развитие экологической ситуации;
- умение оценивать последствия своих действий и нести за них ответственность;
- соблюдение экологических норм;
- готовность к постоянному повышению своей экологической компетенции;
- обладание навыками разрешения конфликтных эколого-экономических ситуаций правовыми средствами.

В 2015 г. для развития международного сотрудничества Генеральной Ассамблеей ООН была принята Декларация, известная как «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», включающая 17 комплексных целей, обеспечивающих единство трёх взаимосвязанных компонентов устойчивого развития всех стран: экономического, социального и экологического. Республика Беларусь взяла на себя обязательства участвовать в выполнении Повестки дня и утвердила Национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития, обозначив главные ориентиры для достижения к 2030 г [2]. В этот документ включены задачи устойчивого развития в эко-

номике, экологии, инновациях, инвестициях. Среди приоритетных направлений развития страны указываются создание возможностей для внедрения «зеленых» технологий, сохранения природных ресурсов и экологически безопасной жилой среды.

Формирование экологической компетентности на занятиях по английскому языку у будущих инженеров осуществляется с помощью применения различных педагогических технологий, например «кейс – стади». Другими словами, это проблемная ситуация, имеющая несколько решений, проанализировав которые, студенты выбирают оптимальный вариант.

Примером проблемной ситуации может служить обсуждение студентами первого курса факультета энергетического строительства специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» традиционных и альтернативных источников энергии. К традиционным (невозобновляемым) относятся нефть, газ, уголь. Альтернативными (возобновляемыми) считаются гидроэнергия, энергия ветра, солнечная энергия. На основе предлагаемых текстов, содержащих сведения о положительных и отрицательных аспектах использования каждого из этих ресурсов, первокурсники решают проблемную ситуацию: проводят сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждого источника энергии и делают выводы [3].

В таких условиях решаются сразу две задачи:

- обучение английскому языку и соответствующей лексике;
- формирование экологического восприятия окружающей среды.

Также довольно эффективно применяется проектная технология. Проекты могут быть как индивидуальными, так и групповыми или парными. Защита проекта может происходить в виде: презентации, доклада, круглого стола или даже ролевой игры «телепрограмма: вы спрашиваете - мы отвечаем». Данная ролевая игра представляет собой групповой проект, где студенты делятся на «журналистов» и «учёных». «Журналисты» задают вопросы об актуальных экологических проблемах и способах их решения, а «учёные» отвечают на них. К примеру, для студентов первого курса строительного факультета специальности «промышленное и гражданское строительство» предлагается подготовить индивидуальные проекты и защитить их на английском языке в виде презентации или доклада о целях устойчивого развития. Каждый студент выбирает какую-либо цель и рассказывает, что делается или уже сделано в Республике Беларусь для её достижения.

Студенты при этом самостоятельно определяют нравственно-ценностные и экологические ориентиры, по которым они будут жить и работать в новом тысячелетии.

## Литература

1. Игнатов, С.Б. Экологическая компетентность в контексте образования для устойчивого развития: Образование и наука. / С.Б. Игнатов // Образование и наука: материалы научного журнала, Известия Ур. РАО. – 2011. – № 1. – С.29–35.

2. Декларация Генеральной ассамблеи ООН. «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda>. – Дата доступа: 24.04.2024.

3. Янушкевич, Л. М. Формирование экологической компетенции будущих специалистов деревообрабатывающей промышленности средствами учебной дисциплины «Иностранный язык (английский)» / Л. М. Янушкевич, Е. В. Трухан // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс]: материалы республиканской научно-технической конференции, 20–21 мая 2021 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 241–243.

УДК 811.11(03):378.4

### **Экологические аспекты в преподавании дисциплины «Иностранный язык (английский)» студентам строительных специальностей в БНТУ.**

Фомичева Т. П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматривается опыт формирования экологической компетенции студентов строительной специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» в процессе изучения предмета «Иностранный язык (английский)» в БНТУ. На примере аутентичных текстов, посвященных экологическим проблемам и путям их решения с точки зрения их будущей профессиональной деятельности в качестве инженеров-строителей, автор обобщает опыт работы по оптимизации усвоения обучающимися терминологической лексики и развития речевых навыков и умений в ходе работы над темами экологической направленности.*

В современном мире изучение иностранного языка невозможно осуществить в отрыве от обсуждения глобальных проблем, и сохранение окружающей среды - одна из серьезнейших из них. Обучение иностранному

языку способствует развитию навыков критического мышления, которое так необходимо для осознания наличия экологических проблем и поиска способов их решения. Преподаватели иностранных языков и исследователи в области лингводидактики осознают эту значимость, подчеркивая, что общение носителей различных культур благодаря знанию иностранного языка солидаризирует их деятельность по обеспечению экологической безопасности, охране и совершенствованию окружающей среды».

Задействование экологической тематики одновременно мотивирует студентов к изучению иностранного языка и повышает их уровень экологической культуры, а применение в обучении иностранному языку актуальных материалов, затрагивающих такие глобальные проблемы, как экология планеты и защита окружающей среды, развивает мыслительные и коммуникативные навыки обучающихся. Поэтому мы рассматриваем повышение экологической компетенции как важный компонент в процессе подготовки студентов строительных специальностей в БНТУ.

Формирование экологической компетенции в контексте обучения иностранному языку проходит с применением различных методик и средств обучения. Так, учебные пособия и электронные курсы по иностранному языку могут содержать экологическую тематику. В частности, изданные в БНТУ учебные пособия для студентов и магистрантов строительных специальностей, применяемые в процессе обучения дисциплине «Иностранный язык (английский)», содержат отдельные разделы, посвященные экологическим проблемам: «Sustainability in Construction», «Worldwide Water Crisis», «Environmental Road Pollution», «Sustainable Development», «Green Energy».

В ходе практических занятий по дисциплине «Иностранный язык (английский)» студенты работают с аутентичными текстами экологической тематики, составляют глоссарии и тезисы по данным текстам, реферировуют и аннотируют статьи по проблемам окружающей среды, выполняют творческие письменные работы, такие как эссе, с использованием изученной лексики и клише, и устойчивых фраз. Помимо работы с текстами учебных пособий специально адаптированными для студентов с определенным уровнем владения иностранным языком и с учетом целей обучения, еще одним эффективным средством развития навыков чтения и письма на иностранном языке является использование в рамках самостоятельной внеаудиторной работы аутентичных неадаптированных текстов экологической тематики для выполнения студентами перевода, реферирования, составление аннотаций, резюме, написание эссе, подготовки докладов и презентаций. Изучение аутентичных текстов в процессе обучения иностранному языку может также выступать в качестве элемента применения методики предметно-языкового интегрированного обучения (content and lan-

guage integrated learning), которая, как показали исследования, является хорошим средством повышения мотивации студентов к изучению иностранного языка.

Целью данной статьи является рассмотрение стратегий формирования экологической компетенции студентов технического вуза на примере студентов строительной специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», реализуемых в процессе изучения предмета Иностранный язык (английский), обобщение опыта работы, которая проводится преподавателем в данном направлении.

Помимо работы с адаптированными текстами из раздела «Worldwide Water Crisis», учебного пособия «Water Supply Engineering and Sewage Disposal», студентам специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» предлагают ознакомиться самостоятельно с аутентичными неадаптированными текстами «Water Security in a Changing Environment», «Sustainable Solutions for Water Security», «Getting Clean Water in Belarus».

Во время работы над текстами студенты анализируют экологические проблемы безопасности воды в мире и пути их решения более глубоко, с точки зрения их будущей профессиональной деятельности. При работе с текстами, студенты сталкиваются с большим количеством терминологической лексики, которая включает: наименования экологических проблем: «growing population», «inadequate access», «lack sanitation facilities» «water insecurity», «contamination of surface and groundwater», «water-related disasters»; определение понятия «water security»: «sustainable use and protection», «sustainable development»; пути решения экологических проблем, связанные с безопасностью и качеством воды: «water reuse, restoration and reclamation», «water conservation technologies», « modeling and forecasting» и т. д.

Для более эффективного усвоения терминологии студентами строительных специальностей на занятиях по английскому языку используются разнообразные коммуникативно-развивающие предтекстовые и послетекстовые упражнения. Система упражнений, направленных на развитие коммуникативных навыков способствует эмоциональному вовлечению в изучаемую тему, помогают обучаемым не оставаться равнодушными к проблемам экологии и сформировать свою собственную нравственную оценку происходящему в окружающем мире. На заключительном этапе работы над текстами студентам дается задание написать эссе на тему: «Что может сделать инженер для защиты безопасности воды?»

Еще одной методикой включения экологической тематики в обучение иностранному языку является проектно-ориентационное обучение, которое позволяет организовать учебный процесс так, что студенты оказыва-



ются активно включенными в процесс решения поставленной задачи, а то, чему научатся студенты в процессе работы над проектом, имеет не меньшее значение, чем конечный результат. Большинство специалистов согласны, что благодаря практическому, аутентичному характеру проектно-ориентированного обучения, этот метод хорошо применим в обучении иностранному языку». При этом акцент с освоения собственно языковых структур смещается на содержательный и социальный аспекты обучения и воспитания, где язык является прикладным элементом.

Проблемы окружающей среды дают богатую почву для задачно-ориентированной, содержательно-направленной модели обучения, поскольку такие проблемные вопросы, как проблемы загрязнения водных ресурсов, сохранения безопасности воды в мире, инновационные технологии по очистке воды и сточных вод, устойчивые пути решения этих проблем, являются актуальными и дискуссионными. Примером таких проектов является, например, «Keep Water Clean».

Таким образом, мы рассматриваем повышение экологической компетенции как важный компонент в процессе обучения иностранному языку будущих инженеров, который способствует выработке гражданской ответственности и осознанию бережного отношения к окружающей среде, рациональному использованию природных ресурсов, заботе о своем здоровье и здоровье окружающих людей, включению экологических ценностей в систему духовных и культурных ценностей человека.

УДК 811.11(03):378.4

### **Включение экологического компонента в систему профессионально-ориентированного обучения**

Щербицкий Н. Э., Якушева Н. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье обсуждается важность включения экологического компонента в систему профессионально-ориентированного обучения английскому языку, а также необходимость учитывать экологическую компетенцию при создании учебно-методических пособий и комплексов по иностранному языку.*

В настоящее время значительно возросла значимость экологического воспитания разносторонне развитой личности, способной обеспечить ответственное отношение к окружающей среде и здоровью.

За последние десятилетия мировое сообщество предприняло ряд шагов к всеобщей экологизации населения. В сентябре 2015 года государства - члены ООН приняли Повестку дня в области экологического развития на период до 2030 года. Составной частью Повестки 2023 является концепция устойчивого развития. Все мировое сообщество уже давно перешло к модели устойчивого развития, поэтому формирование и развитие экологической ответственности у всех выпускников страны является острой необходимостью уже в ближайшие годы.

Первостепенной задачей экологического воспитания выступает воспитание нравственности по отношению к природе, так как безнравственная по отношению к ней деятельность человека уже привела его на грань гибели. Формирование нравственной культуры неизбежно соприкасается с экологическим воспитанием. При этом наблюдается взаимовлияние двух планов воспитательных воздействий: во-первых, комплексное воздействие на формирование отношения студентов к природе в единстве экологических, нравственных и эстетических компонентов; во-вторых, собственно нравственное воспитание, в широком смысле, в целях формирования у студентов эстетического, экологического отношения к действительности вообще и природе как ее части. В совокупности оба плана осуществляются средствами «природного содержания» учебного познания, влияния самой природной среды, конкретных природных явлений, объектов, их материальных свойств, а также воздействием нравственных свойств трудовой и творческой деятельности, направленной на природные объекты.

С каждым годом образовательные программы для студентов в области строительной промышленности включают в себя всё больше информационных, управленческих, коммуникационных и социальных технологий, что позволяет молодым специалистам увереннее чувствовать себя после окончания обучения, однако экологические аспекты в обучении развиваются не так стремительно, хотя все предпосылки для этого имеются.

В связи с этим перед педагогической наукой встаёт проблема формирования у обучающихся основ экологической культуры в интересах устойчивого взаимодействия человека и общества с природой.

Достижение этой цели возможно при условии целенаправленной систематической работы по формированию системы научных знаний, взглядов и убеждений, направленных на воспитание моральной ответственности личности за состояние окружающей среда.

В настоящее время при создании ЭУМК основным стандартом высшего профессионального образования является компетентности подход. Экологические компетенции предусмотрены только для вариативной части профессионального цикла, что решается на уровне вуза, тогда как основной блок учебных планов таких компетенций не содержит. Экологическая

компетенция не является ключевой, а поэтому может быть проигнорирована большинством выпускников.

Опыт образовательной и практической деятельности показывает, что современный молодой специалист должен быть в курсе мировых тенденций и трендов в своей профессиональной области, так и в области экологических изменений. Поэтому с учетом всех междисциплинарных и внутридисциплинарных связей темы должны отбираться по принципу:

- формирование научно-познавательного отношения к природной среде;
- формирование системы основных экономических понятий;
- анализ глобальных экологических проблем.

Однако эффективность непрерывного экологического образования зависит не только от наличия в самой системе непрерывности, но и от развитого психолого-педагогического обеспечения образовательного процесса - физического, духовного процесса социализации.

Мы должны осознавать, что “снабжение” учащихся только знаниями в области фундаментальной и прикладной экологии не позволяет научить детей выявлять причины социальных, экономических, экологических проблем, предпринимать действия по их решению не само оно себе наличие экологических знаний не гарантирует экологически целесообразного поведения личности.

Таким образом, экологическое воспитание реализуется через комплексное использование различных методов и способов формирования экологического сознания; через систему эколого-ориентированных ценностей личности, отраженных в экологическом сознании в виде ценностных ориентаций, формирующихся при усвоении социального опыта и обнаруживающихся в целях, идеалах, убеждениях, интересах и прочих проявлениях личности; в структуре деятельности, тесно связанной с ее познавательными и волевыми сторонами, в совокупности образующих содержательную сторону направленности личности и выражающих внутреннюю основу ее отношений к действительности.

Следует подчеркнуть, что экологическая компетенция, безусловно, формируется у студентов, однако выражена она обычно недостаточно, что является одной из проблем современного высшего профессионального образования, так как именно экологическая компетенция позволяет развивать личность, направленную на формирование норм поведения и получению знаний по охране и защите окружающей среды в условиях устойчивого развития.

**Использование элементов seed discussion в качестве инструмента формирования экологической компетенции студентов инженерного профиля**

Якушева Н. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены вопросы эффективности использования стратегии seed discussion для обучения текстовой дискуссии экологической направленности.*

Стратегия seed discussion состоит из двух частей и используется для обучения студентов обсуждению любого языкового материала: текста, видео, аудио. Особенно актуальной она является при текстовой дискуссии экологической направленности.

На первом этапе учащиеся читают небольшой выбранный текст по заданной тематике и определяют seeds или ключевые понятия отрывка, которые нуждаются в дополнительном объяснении. Они заполняют таблицу, включающую следующие вопросы: 1) информация, которую я не понимаю; 2) информация, которая мне показалась интересной или удивительной; 3) слова и выражения, которые мне хотелось бы знать; 4) информация, которая напоминает об уже известных мне вещах.

На втором этапе каждого учащегося следует распределить в группу согласно уровню навыков и роли в группе. Выделяются следующие четыре роли, которые играют учащиеся:

- лидер, который организует дискуссию и стимулирует каждого делиться своими идеями для обсуждения;
- менеджер, который следит за тем, чтобы у всех были все материалы для обсуждения;
- проверяющий, который отвечает за то, чтобы у каждого члена группы была возможность рассказать о своем “seed” и чтобы каждый член группы прокомментировал своё высказывание прежде чем следующий человек представит новое “seed” для обсуждения.
- коммуникатор уведомляет учителя, когда обсуждение завершено.

Каждое ключевое понятие следует тщательно обсудить, прежде чем переходить к следующему. Далее в общей дискуссии создается единая таблица для всей группы

Таким образом, согласно теории схем, происходит активизация базовых знаний – *schema activating*. В психологии и когнитивной науке схема описывает модель мысли или поведения, организующую категории информации и взаимосвязи между ними. Применение теории схем в изучении иностранного языка является эффективным в формировании общих знаний и понятийных категорий, упорядочения текущих знаний и создания основы дальнейшего понимания информации. Данная методика считается перспективной в аспекте профессиональной иноязычной подготовки студентов.

В конце изученного раздела в качестве повторения и обобщения материала можно вернуться к общей схеме и обсудить, на какие вопросы удалось ответить и какую лексику охватить в процессе прохождения той или иной темы.

Предлагаемая стратегия позволяет преподавателям английского языка повышать эффективность учебного процесса и помогать студентам инженерного профиля раскрывать свой профессиональный и речевой потенциал.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

<b>Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М., Голубев В. П., Шавловский Д. В., Згурский Д. А.</b> Анализ применения нетрадиционных энергетических ресурсов с использованием методов газификации .....	4
<b>Згурский Д. А., Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М., Голубев В. П.</b> Анализ проблем регенерации энергии с использованием твердых коммунальных отходов .....	9
<b>Boboev S. M., Xolboev U., Ismoilov A. I.</b> Analysis of organic solvents released during painting and drying of automobiles.....	16
<b>Кругилин А. Б.</b> Влияние решений узлов сопряжений наружных стен с оконными блоками на их уровень теплозащиты .....	21
<b>Станецкая Ю. А., Туровец А. И.</b> Переход к углеродной нейтральности: оценка развития возобновляемых источников энергии .....	23
<b>Нияковский А. М., Батенкова А. В., Коршун А. А., Милочкина А. Д.</b> К вопросу регулирования тепловой нагрузки горячего водоснабжения при использовании пластинчатых теплообменников.....	30
<b>Струцкий Н. В., Романюк В. Н.</b> Организационно-логистический фактор и оценочное прогнозирование объемов обследования стальных подземных газопроводов .....	33
<b>Струцкий Н.В.<sup>1</sup>, Романюк В.Н.</b> Организация электрохимической защиты распределительных газопроводов в Республике Беларусь.....	40
<b>Лешкевич В. В., Сизов В. Д., Караваева Д. В., Черванёва Е. А.</b> Некоторые возможности использования теплоты удаляемого воздуха в жилых многоквартирных эксплуатируемых зданиях .....	46
<b>Лешкевич В. В., Сизов В. Д., Караваева Д. В., Якимович Д. Д.</b> К вопросу об использовании значений приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен в проектной практике .....	51
<b>Богданова А. А., Сучок А. Д.</b> Система оперативного дистанционного контроля состояния изоляции тепловых сетей .....	54

<b>Ковальчук А. А.</b> Улучшение характеристик печного бытового топлива посредством добавления дизельных дистиллятов вторичной перегонки .....	57
<b>Мыратбердиев Я., Аманов М. Е., Мыратбердиева О. Я.</b> Улучшение воздушного бассейна Туркменистана .....	60
<b>Бракович И. С.</b> Метан – второй по значимости «парниковый» газ в атмосфере Земли.....	64
<b>Васильчик С. О.</b> Особенности расчета системы пневмотранспорта карбамида гранулированного .....	67
<b>Кононов Д.А., Белениник О.И., Сизов В.Д.</b> Разновидности и конструкции покрытий станций Минского метрополитена и их теплофизические характеристики .....	72
<b>Белениник О. И., Кононов Д. А., Сизов В. Д.</b> Структура и виды ограждающих конструкций тоннелей Минского метрополитена и их теплофизические характеристики .....	78
<b>Шарипова Н. В.</b> Экологические предпосылки диверсификации энергии для городов Таджикистана.....	84
<b>Пехота Е. А., Романюк В. Н., Таврель А. С.</b> Обоснование создания дегазационно-вентиляционного устройства ДВУ-ФС-1/450 с целью обеспечения качества технического диагностирования газгольдеров.....	91
<b>Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М., Пристромова К. С.</b> Коррозия трубопроводов .....	95
<b>Ливанский Д. Г., Шумак А. В.</b> Особенности расчета системы вентиляции в доильно-молочном комплексе .....	99
<b>Ливанский Д. Г., Мацукевич К. А.</b> Конструкция для регулирования расхода газообразной среды через проход и ответвление в тройнике воздуховода вентиляционной сети .....	104
<b>Ливанский Д. Г., Голуб Е. В.</b> Формирование микроклимата при радиаторном отоплении.....	108
<b>Бобко А.Н, Гриб С.А.</b> Использование современного программного обеспечения при подготовке специалистов по Отоплению и Вентиляции .....	115

<b>Чушель Н. В., Шубич В. А.</b> Результаты натурных исследований тепловых потоков новых конвекторов витебского завода сантехзаготовок с разработкой рекомендаций по их усовершенствованию .....	120
--	-----

## **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

<b>Алладустов У. Б., Холов Ф. М., Ануфриев В. Н.</b> Исследования процесса осаждения взвешенных веществ в тонкослойных отстойниках .....	125
<b>Ануфриев В. Н., Волкова Г. А., Алферчик В. В., Семикашева Э. Э.</b> Обработка осадка сточных вод на биоинженерных сооружениях .....	130
<b>Атаева Б. Х., Атаев Х.</b> Анализ состава и перспективы переработки попутных нефтяных и пластовых вод .....	135
<b>Ахмадиева Ю. И., Дубенок С. А.</b> Сравнительный анализ подходов к классификации очистных сооружений сточных вод населенных пунктов в Республике Беларусь и Российской Федерации .....	139
<b>Башко Ю. А., Козорез А. С., Лихтар С. А.</b> К вопросу повышения эффективности водоподъемного оборудования в технологических процессах подачи и подготовки воды применением синхронного привода на постоянных магнитах .....	146
<b>Волошина А. А., Колобаев А. Н.</b> Совершенствование платы за сброс сточных вод.....	153
<b>Галиновский А. Л., Терентьева З. С., Чжо Мью Хтет.</b> Ультратруйные технология обработки жидкости и диспергирования суспензий .....	160
<b>Горелая О. Н.</b> Перспективы использования отходов станции обезжелезивания.....	163
<b>Захарко П. Н., Дубенок С. А.</b> Формирование водного баланса предприятия по производству сыров при использовании различных технологий переработки молочной сыворотки .....	167



<b>Комолов М. Б., Ляпин В. Ю., Дружинин А. А.</b> Полирядный насос с биомиметическими поверхностями проточной части для судового водоснабжения .....	174
<b>Левкевич В. Е., Кирвель И. И., Юшкевич Н. В., Бохан Г. С.</b> Анализ применимости зависимостей по расчету занесения поверхностных водохранилищных водозаборов в результате заиления водоемов Беларуси .....	179
<b>Пилипенко М. В.</b> Полифункциональные каталитические материалы из отходов станций обезжелезивания .....	184
<b>Таганов Ч. Х., Куртовезов Г. Д., Куртовезов Б. Г.</b> Создание лесных массивов на пустынных территориях на основе коллекторно-дренажных вод .....	188
<b>Цыбин И. А.</b> Программно-аппаратный комплекс анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек на наружных сетях водоснабжения AMIS-LEAK .....	193
<b>Цыбин И. А.</b> Программно-аппаратный тренажёрный комплекс AMIS-TEACHER-WELL .....	197
<b>Велюго Е. С., Ющенко В. Д., Козицин Т. В.</b> О применимости эжектирующих устройств при обработке подземных вод для малых населенных пунктов .....	200
<b>Роденко А. В.</b> Канализационная насосная станция с предварительной очисткой .....	206

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

<b>Качанов И. В., Браим Д. Н.</b> Анализ конструктивных решений по повышению эффективности работы конструкции водомета .....	211
<b>Дружинин А. А., Юрьев Д. А.</b> Исследование влияния формы обтекателя рабочего колеса на энергетические характеристики осевой гидротурбины. ....	215
<b>Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А., Власов В. В., Афанасьева Е. В.</b> Разработка 3D моделей несамходной баржи грузоподъемностью 2300 т. и основные результаты	

экспериментальных исследований сопротивления движению ее корпуса.....	220
<b>Повколас К. Э., Ali Abdullah Al-Robay, Saadoon Sura.</b> Эффективность демпфирования поверхностных волн в грунте при помощи инерционных плит переменной жесткости.....	226
<b>Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А.</b> Эффективные способы эксплуатации современных оросительных каналов. ....	232
<b>Кочнев Ю.А., Роннов Е. П.</b> Обоснование проектных элементов и характеристик судна с учётом интервальных особенностей технических решений модели .....	242
<b>Малов Д. А., Кочнев Ю. А.</b> Особенности математической модели наливного судна смешанного (река-море) плавания .....	248
<b>Хвилько К. В., Качанов И. В., Шаталов И. М.</b> Оптимальный режим работы грунтового насоса земснаряда .....	254
<b>Мередова Х. А., Курбанова М. А., Аширов А. И.</b> Новые альтернативы ранее используемых способов применения солнечной энергии .....	257
<b>Богославчик П. М, Павколас К. Э.</b> Результаты численного моделирования стационарной задачи фильтрации методом конечных элементов. ....	261
<b>Курчевский С. М.</b> Современные цифровые технологии в проектировании и строительстве: применение и перспективы.....	265
<b>Ивашечкин В. В., Медведева Ю. А., Кондратович А. Н.</b> Устройство для тампонирования поврежденного участка ствола водозаборной скважины .....	271
<b>Можаровский В. В., Василевич Ю. В., Неумержицкая Е. Ю., Киргинцева С. В.</b> Применение композитных материалов при бестраншейном производственном восстановлении трубопроводов .....	275
<b>Моргунов К. П.</b> Совершенствование средств измерения деформаций конструкций судовых шлюзов.....	281
<b>Султанмурадов С., Ходжаев А. Дж., Курбансахедов К. А.</b> Повышение эффективности экскаватора-струга при очистке каналов под водой .....	288

<b>Ходжаев А. Дж., Султанмурадов С., Тыллануров Ы. М.</b> Повышение эффективности системы охлаждения бульдозерных двигателей в аридной зоне .....	290
<b>Шейкин М. О., Дружинин А. А.</b> Определение оптимального схемотехнического решения системы заводдушивания микроГЭС сифонного типа. ....	294
<b>Линкевич Н. Н.</b> Основные виды и причины повреждений элементов закрытых осушительных систем. ....	299
<b>Богославчик П. М.</b> Динамика развития прорана при размыве грунтовых плотин переливом.....	304
<b>Богославчик П. М., Евдокимов В. А.</b> Применение резервных водосбросов для пропуска паводковых расходов .....	308
<b>Митрахович А. И., Казьмирук И. Ч.</b> Становление и развитие мелиоративной науки.....	311
<b>Селезнев В. И., Казьмирук И. Ч.</b> Возникновение и развитие осушительных и ирригационных мероприятий.....	316

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

<b>Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.</b> Вертикально ориентированная солнечная батарея .....	322
<b>Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.</b> Продольные домены в ЖК пикселях матричных устройств, не имеющие флексоэлектрической природы .....	325
<b>Савчук Г. К., Юркевич Н. П.</b> Условия получения и пьезоэлектрические свойства керамических материалов на основе системы $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbZrO_3-PbTiO_3$ .....	329
<b>Юркевич Н. П., Савчук Г. К., Ахмедов А. П., Худойберганов С. Б., Махмудова Д. Х.</b> Моделирование электромагнитных колебаний в компьютерном эксперименте.....	335
<b>Ахмедов А. П., Худойберганов С. Б., Юркевич Н. П., Савчук Г. К.</b> Возможность выработки электроэнергии ветрогенераторами в Республике Каракалпакстан.....	338

<b>Иксар Е. В., Каюмов С. Н.</b> Инновационное применения солнечных панелей для резервирования электроснабжения на железнодорожном транспорте.....	345
<b>Kayumov S. N., Jiyanikulov L. A.</b> Innovative technologies of electrical contacts for electrical devices in energy construction: contact materials .....	351
<b>Kayumov S. N., Khakimov S. Kh.</b> Innovative technologies of electrical energy conversion system with regulation in electric drive .....	356
<b>Колесников И. К., Хакимов С. Х.</b> Методы эффективного управления тяговым электроприводом .....	361
<b>Иксар Е. В.</b> Повышение энергоэффективности источников вторичного питания в схеме управления тяговым приводом электроподвижного состава .....	373
<b>Дустмуродов Э. Э., Махмудова Д. Х., Дустмуродова Х. Э.</b> Обзор современного оборудования.....	379
<b>Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И.</b> Особенности изложения курса «Композиционные материалы» для студентов инженерных специальностей.....	388
<b>Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.</b> Гистерезисная интерференция магнитных полей.....	392
<b>Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.</b> Циклы напряжения датчика, соответствующие циклам перемангничивания объектов .....	397
<b>Кириленко А. И., Листопад А. И.</b> Стандарты на атмосферу на современном этапе развития авиации .....	404
<b>Кириленко А. И., Бурдин И. Л.</b> Источники водорода для водородной энергетики.....	411
<b>Афанасьев С. А., Кондратьева Н. А., Кухновец Д. В.</b> Компьютерное моделирование лазерной сварки.....	416
<b>Gulicheva E. G., Osipova M. S., Sysoeva E. A., Nikitina E. A., Masiagina V. N.</b> Innovative technologies in the development of modern education.....	423

## ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<b>Пятецкая О. Ю.</b> Концептуальные основания применения индивидуально-типологического подхода в образовании.....	431
<b>Сугакова Е. П.</b> Экологическая терминология на занятиях по английскому языку в вузе инженерного профиля.....	435
<b>Сугакова Е. П., Щербицкий Н. Э.</b> Обучение экологической лексике студентов инженерных специальностей .....	438
<b>Тесленко М. М.</b> Применение имитационных методов обучения для формирования экологической компетенции у студентов инженерного профиля на занятиях по английскому языку .....	440
<b>Фомичева Т. П.</b> Экологические аспекты в преподавании дисциплины «Иностранный язык (английский)» студентам строительных специальностей в БНТУ. ....	442
<b>Щербицкий Н. Э., Якушева Н. В.</b> Включение экологического компонента в систему профессионально-ориентированного обучения.....	445
<b>Якушева Н. В.</b> Использование элементов seed discussion в качестве инструмента формирования экологической компетенции студентов инженерного профиля.....	448