

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ 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 III республиканской научно-технической конференции

27–28 апреля 2023 года

**Минск
БНТУ
2023**

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;
Трешачко В. М. – директор филиала БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», канд. техн. наук, доцент;
Хрусталева Б. М. – академик НАН Беларуси, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» БНТУ, д-р техн. наук, профессор;
Ливанский Д. Г. – декан факультета энергетического строительства БНТУ, 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., доцент;
Есман А. К. – заведующий кафедрой «Физика» БНТУ, д-р физ.-мат. наук, профессор;
Ануфриев В. Н. – заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ, канд. техн. наук, доцент;
Муха О. Ю. – и. о. заведующего кафедрой «Английский язык № 2» БНТУ, старший преподаватель

В сборнике представлены материалы III республиканской 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, дисковод CD-ROM. Программа работает в среде Windows.

Открытие электронного издания проводится запуском файла Innovative_technologies_2023.pdf. Возможен просмотр электронного издания непосредственно с компакт-диска без предварительного копирования на жесткий диск компьютера.

Дата доступа в сети: 12.10.23. Объем издания: 40,5 Мб. Заказ 689.

Белорусский национальный технический университет

Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел. (017) 293-93-38

ISBN 978-985-583-944-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

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

Использование горючих отходов – основное ресурсосберегающее направление для улучшения экономических показателей

Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследована структура и организация малоотходных технологий, обеспечивающих экономически обоснованный рециклинг отходов. Проанализированы закономерности использования горючих отходов при брикетировании многокомпонентного твердого топлива. Представлена комплексная оценка на основе экономического расчета возможности улучшения экономических показателей за счет использования твердого топлива, полученного с использованием отходов

В недалеком будущем будет возрастать актуальность глобальных энергетических и экологических вызовов, связанных с интенсивным индустриальным развитием стран и улучшением качества жизни человека. Это будет отражаться, в том числе на увеличении объемов отходов и ростом антропогенной нагрузки на естественные экосистемы. Также, будет испытываться дефицит некоторых невозобновляемых ресурсов, например, ископаемых видов топлива. Эксперты прогнозируют, что в будущем отдельные ресурсы будут полностью исчерпаны в течение 50–100 лет, а оставшиеся запасы не смогут обеспечить возрастающий спрос потребления.

В настоящее время экономия энергоресурсов за счет применения различных технологий является одним из перспективных направлений наращивания экономического потенциала любого государства. Республика Беларусь, Российская Федерация и другие страны ЕЭАС проявляют стремление к переходу на принципы ресурсосберегающей экономики в своих перспективных планах.

Для эффективного функционирования ресурсосберегающей экономики необходимо создавать предельно закрытые циклы производства, в рамках которых ресурсы будут превращаться в новые товарные продукты, с максимально возможным и экономически оправданным привлечением возобновляемых источников энергии и малоиспользуемых отходов, не нашедших технологического применения.

Однако при этом должно обеспечиваться ряд условий, обеспечивающих возможность достижения полного рециклинга с учетом обеспечения экономической выгоды, как на уровне производства, так и на уровне потребления. Для этого необходимо:

- изоляция хозяйственно-производственных циклов осуществляемых в техносфере от природного обмена веществ и потока энергии;
- увеличение, сохранение и управление накопленными и образующимися отходами жизнедеятельности человека, а также имеющимися запасами возобновляемых материальных и энергетических ресурсов;
- оптимизация использования ресурсов за счет их возврата и обращения продуктов, отходов, компонентов и материалов в замкнутую регионально-глобальную технологическую систему утилизации;
- содействие повышению эффективности систем ресурсосберегающей экономики путем выявления негативных внешних факторов и последующего перепроектирования производственной деятельности.

Не все отрасли способны обеспечить высокий уровень рециклинга производственных отходов, так как многие виды таких отходов не находят технологического применения. Технологическая цепочка существующего потока отходов различных производств, зависящая от входящих отходов до конечного использования представлена на рис. 1.

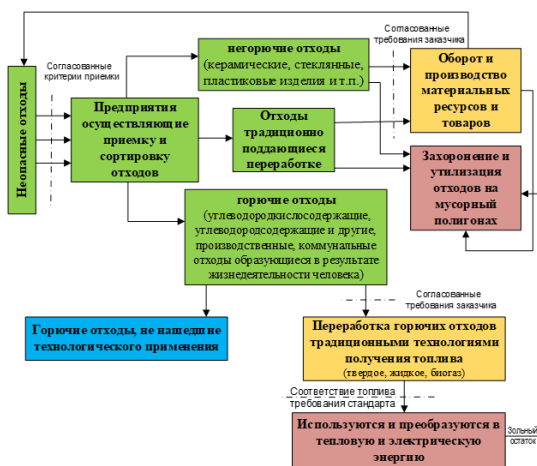


Рис. 1. Технологическая цепочка существующего потока использования отходов, образующихся от жизнедеятельности человека

Представленная схема цепочки основных технологических потоков перемещения отходов в период их жизненного цикла, реальные условия оборота опасных отходов, учитывать которые необходимо при организации производства по переработке малоиспользуемых горючих отходов.

По мнению экспертного сообщества, одним из предпочтительных методов использования горючих отходов является их сжигание. Однако этот метод достигает высокой эффективности лишь в том случае, если отходы прошли предварительную переработку и подготовку. Организация переработки и использования разных видов горючих отходов в большинстве случаев затруднена ввиду их структурной неоднородности различия по дисперсности, наличию механических примесей и включений, влажности [1; 2]. Кроме того, в них могут содержаться вещества, затрудняющие экологически безопасное сжигание. Все это в целом не позволяет применять такого рода отходы для производства брикетированного и гранулированного топлива с использованием традиционных технологий.

На основании проведенных исследований [3–4] определено, что проблема переработки горючих отходов, не нашедших применения в других технологиях, может быть решена за счет создания брикетируемого топлива путем специализированного подбора оптимального многокомпонентного состава с учетом обязательного использования экологически чистых отходов. Такой подход при формировании многокомпонентных смесей обеспечивает оптимальное соотношение химических элементов в конечном составе топлива, что при его сжигании в котлоагрегатах обеспечивает нормированные параметры содержания вредных веществ в выбросах. Разработанная авторами технология, составы топлива и оборудование для его производства находят применение в ближнем и дальнем зарубежье под брендовым названием «MSF-топливо» (англ. multicomponent solid fuel) [5].

Разработанная технология получения «MSF-топлива» предусматривает использование в качестве связующего компонента осадок сточных вод, лигнин гидролизный, нефтешламы, насыщенные нефтепродуктами опилки, отработанные смазки, отходы очистки мазутных и нефтяных резервуаров, отходы нефтеловушек очистных сооружений. По результатам проведенных исследований разработаны и утверждены в установленном порядке технические условия на производство твердого топлива ТУ ВУ 490319372.002-2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные» [6].

Оценка экономической эффективности производства многокомпонентного твердого топлива (МТТ) показала, что применение «MSF-топлива», произведенного в соответствии с требованиями технических условий [5], например, с использованием древесных отходов и отработанных сорбентов, насыщенных нефтепродуктами марки «Пенопурм», с учетом себестоимости производства оценивается в \$ 35,2 за тонну. При отпускной цене на МТТ (ОДО «ТеплоБел»), которая на 5 % ниже стоимости 1 т дров в поленице (кругляк) и составляет \$ 43,6, окупаемость производственной установки составляет 47,8 месяца (при монтаже установки в существующем здании и двухсменном режиме работы).

Оценка теплотехнических параметров различных видов твердого топлива с учетом их стоимости в Республике Беларусь представлена в табл.

Таблица

Расчет удельной стоимости твердых видов топлива
с учетом плотности и теплоты сгорания

Вид твердого топлива	Теплота сгорания топлива, ккал/кг	Цена твердого топлива, руб./т	Плотность твердого топлива, кг/м ³	Удельная теплота сгорания, ккал/т	Удельная стоимость топлива, руб./ккал
Твердое топливо «МКУ 3-1с», $W = 15\%$	4330	124,7	0,82	3550	0,036
Дрова поленик (кругляк), $W = 15\%$	2900	138,6	0,38	1102	0,126
Дрова колотые, $W = 15\%$	2900	200,0	0,38	1102	0,182
Торфобрикет (навалом), W не более 16 %	3600	119,5	0,45	1620	0,074
Топливный брикет RUF, $W = 12\%$	4100	350,0	1,0	4100	0,085
Топливный брикет Pini Kay, $W = 9\%$	4490	340,0	1,2	5388	0,063
Топливные гранулы, $W = 7,7\%$	4570	380,0	1,2	5484	0,069
Уголь бурый марки Б-2	4177	260,0	1,2	5012	0,052
Уголь антрацит марки АМ	6200	600,0	1,5	9300	0,064

*Цена образована по средней оптовой стоимости.

Анализ данных табл. показывает, что теплотехнические характеристики (теплота сгорания) МТТ, топливных гранул и брикетов типа RUF и PINY KEY, а также бурого угля марки 2БР находятся в одном диапазоне, при этом стоимость МТТ с углеводородсодержащими отходами в среднем в 1,8–2,6 раза ниже рыночной стоимости этих видов топлива.

Выводы

1. Расчетным и экспериментальным методами подтверждена эффективность брикетирования многокомпонентного топлива на основе углеводородсодержащих отходов в виде отработанных сорбентов, насыщенных

нефтепродуктами марки «Пенопурм». Применение этой технологии позволяет:

– использовать в брикетируемой смеси отработанные сорбенты, насыщенные нефтепродуктами марки «Пенопурм», с долей 3,0–7,9 % при содержании осадка сточных вод 32,8–48,6 % и влажности брикетируемой смеси $39,5 \pm 0,9$ %;

– обеспечивать предприятие местным видом топлива, себестоимость которого в 1,8–2,6 раза ниже рыночной стоимости аналогичных по теплоте сгорания видов топлива.

2. Разработанная технология позволяет сокращать экономические потери от неиспользования горючих производственных отходов и отходов жизнедеятельности человека, не нашедших технологического применения.

Применение технологии брикетирования многокомпонентного твердого топлива (MSF-топливо) и разработанных составов способствует развитию ресурсосберегающей экономики, обеспечивая создание новых рабочих мест, снижение объемов отходов производства и сокращение финансовых затрат предприятия на закупку энергоресурсов.

Литература

1. Капитонов, И. А. Актуальные методы утилизации бытовых отходов / И. А. Капитонов, К. Н. Пармененков, Ю. К. Бронская // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 1. – С. 246–252.

2. Мехта, Ю. Экономический анализ и оценка воздействия на жизненный цикл утилизации твердых бытовых отходов (ТБО): на примере Мумбаи, Индия / Ю. Мехта, Ю. Шастри, Б. Джозеф // Управление отходами и исследования: Журнал устойчивой экономики замкнутого цикла. – 2018. – Т. 36, № 12. – С. 1177–1189.

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

4. Пехота, А. Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэффективность. – 2022. – № 5. – С. 27–32.

5. Хрусталеv, Б. М. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркуляционной экономике / Б. М. Хрусталеv [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 340–348.

6. Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные. Технические условия: ТУ ВУ 490319372.002–2021. – Введ. 18.02.2022. – Минск: Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, рег. номер 063905 от 20.12.2021. – 27 с.

**Исследование брикетирования биомассы и городских отходов
с использованием установки ГБУМТ-1**

Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследованы и определены параметры брикетирования биомассы с применением гидравлической циклической установки марки ГБУМТ-1. Проанализированы закономерности получения при брикетировании многокомпонентных составов твердого топлива с использованием биомассы, обеспечивающие качественные теплотехнические показатели.

Одним из основных факторов при развитии производств, обеспечивающих получение искусственных видов твердого топлива с использованием отходов, является универсальность применяемых технологий и оборудования, что обеспечивает использование различных вторичных материальных ресурсов, в том числе и структурно неоднородных по составу отходов.

С применением отходов биомассы помимо жидкого и газообразного топлива, во всем мире находят применение технологии брикетирования. Брикетированное искусственное твердое топливо принято подразделять на однокомпонентные и многокомпонентные топлива. Однокомпонентные топлива представляют собой составы, в которых применяется один вид материала (древесина, торф, солома, лузга и т. п.). Многокомпонентные топлива получают путем смешивания нескольких видов отходов в топливный состав, в котором один из компонентов может использоваться в качестве связующего или в его состав специально вводят связующее вещество, при этом используется получение твердого топлива методом горячего или холодного брикетирования.

Не все технологии способны обеспечить высокий уровень рециклинга отходов, так как многие виды, например, отходы биомассы в виде осадков точных вод городских очистных сооружений не находят технологического применения.

В качестве решения данного вопроса разработана гидравлическая установка циклического брикетирования твердого топлива марки ГБУМТ-1, обеспечивающая формирование многокомпонентного твердого топлива.

Основой процесса гидравлического брикетирования является продавливание порций многокомпонентной смеси сквозь матричный канал. Поскольку этот процесс, представляет собой новое техническое решение в ча-

сти: эффективном использовании основных элементов и компоновки оборудования; поочередного циклического брикетирования; брикетирование многокомпонентных составов (при необходимости и донстройке возможно брикетирование однокомпонентного топлива); минимизации затрат на производство; возможность получения различных геометрических форм топлива; возможность настройки режимов работы в ручном режиме в зависимости от параметров влажности, плотности, и однородности применяемых отходов в многокомпонентной смеси.

Сущность работы установки заключается в циклическом продавливании многокомпонентной смеси через формирующий канал (рис. 1). Смесь уплотняется в холодном состоянии под действием давления, создаваемого пуансоном, и сопротивления перемещению, обусловленного межчастичным трением и трением о стенки матрицы, обеспечивая при этом частичное удаление излишней влаги, выделяемой под действием брикетирующего давления.

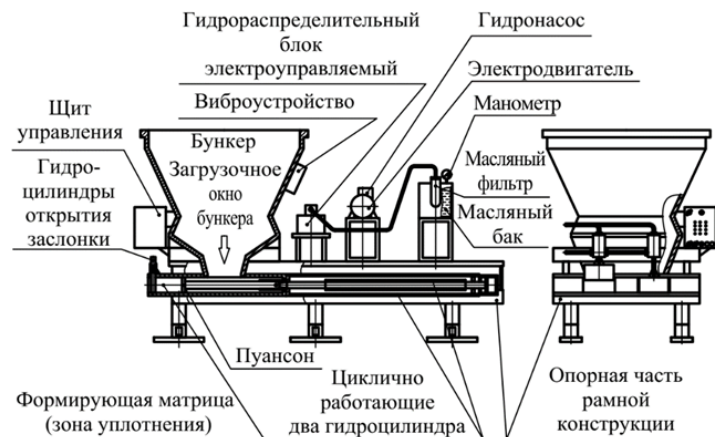


Рис. 1. Схема устройства гидравлической установки циклического брикетирования твердого топлива марки ГБУМТ-1

Согласно технологическому регламенту производства, подготовленные компоненты топлива дозируются и поступают в расходный бункер-смеситель, в котором они смешиваются при естественной температуре до однородного состояния. Подготовленная смесь характеризуется массовой влажностью w и определенным соотношением многокомпонентной смеси брикетируемых веществ, обеспечивающих необходимую пластичность и плотность.

К основным факторам, определяющим формирование структурного каркаса многокомпонентного брикета, относятся гранулометрический состав,

активность поверхности, влажность брикетируемой смеси, условия и пропорции смешивания компонентов, давление, создаваемое в матрице при брикетировании. Гранулометрический состав определяется суммарной поверхностью соприкосновения брикетируемых частиц, количеством и величиной пустот в структурном каркасе топлива, содержанием остроугольных частиц, рельефом их поверхности и обязательным наличием пылевидных частиц.

На основании проведенных исследований [1–4] определено, что проблема переработки горючих отходов биомассы, не нашедших применения в других технологиях, может быть решена за счет создания брикетируемого топлива путем специализированного подбора оптимального многокомпонентного состава с учетом обязательного использования экологически чистых отходов.

Такой подход при формировании многокомпонентных смесей обеспечивает оптимальное соотношение химических элементов в конечном составе топлива, что при его сжигании в котлоагрегатах обеспечивает нормированные параметры содержания вредных веществ в выбросах. Разработанная авторами технология, составы топлива и оборудование для его производства находят применение в ближнем и дальнем зарубежье под брендовым названием «MSF-топливо» (англ. multicomponent solid fuel) [5]. Разработанная технология получения «MSF-топлива» предусматривает использование в качестве связующего компонента осадок сточных вод, лигнин гидролизный, сапрпель, отходы переработки торфа и т. п., при этом брикетирование многокомпонентной смеси структурно неоднородных отходов, является сложным технологическим процессом.

Изучение физико-химических процессов, происходящих в сложных гетерогенных системах, осуществлено в соответствии с учением о фазовых равновесиях, представляющих собой общие закономерности для равновесных систем, содержащих любое число фаз и компонентов, и подчиняющихся правилу фаз Гиббса. Проведенные экспериментальные исследования показали, что на многокомпонентную топливную смесь с учетом ее равновесия существенное влияние оказывают четыре основных фактора: температура, давление брикетирования, влажность и долевое соотношение компонентов в смеси.

Поэтому основной целью исследований является анализ и нахождение оптимального многокомпонентного состава твердого топлива с применением трансформированного цикла улучшения качества Шухарта–Деминга – цикла МАИС, включающего графическую визуализацию результатов в виде состав – свойство.

Так, с помощью программы STATISTICA 7 получены адекватные уравнения регрессии, характеризующие степень влияния каждого компонента и их парных сочетаний на показатели производительности брикетирования и плотность производимого топлива.

На основе уравнений регрессии построены поверхности отклика с применением метода Гиббса–Розебома, представляющие собой равнобедренные треугольники (рис. 2), вершины которых соответствуют заданному варьированию содержания компонентов – влажности смеси (*A*), осадка сточных вод (*B*), измельченных древесных отходов (*C*) и углеводородсодержащих отходов (*D*).

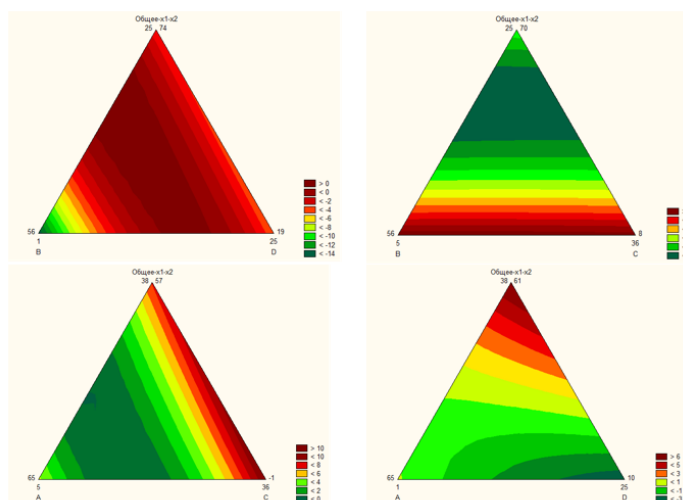


Рис. 2. Зависимость производительности установки брикетирования (кг/мин) от долевого содержания влажности смеси (*A*), осадка сточных вод (*B*), древесных отходов (*C*) и углеводородсодержащих отходов (*D*)

По результатам проведенных исследований разработаны и утверждены в установленном порядке технические условия на производство твердого топлива ТУ ВУ 490319372.002-2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные» [6].

Выводы

1. На основании теории планирования эксперимента, позволяющей получить математическое описание протекающего в установке технологиче-

ского процесса, в виде уравнения множественной регрессии второго порядка с учетом анализа и обработки результатов выполненных опытов определено, что при влажности брикетированной смеси 38–42 %, производительности установки по производству многокомпонентного твердого топлива 18 кг/мин, содержании в составе смеси 32,8–48,6 % осадков сточных вод, 3 % углеродсодержащих отходов плотность брикета составляет 0,86 кг/м³.

Анализ стоимости различных видов топлива показывает, что теплотехнические характеристики (теплота сгорания) MSF-топлива, топливных гранул и брикетов типа RUF и PINY KEY, а также бурого угля марки 2БР находятся в одном диапазоне, при этом стоимость MSF-топлива с использованием отходов в 1,8–2,6 раза ниже рыночной стоимости этих видов топлива.

3. Разработанная технология позволяет сокращать экономические потери от неиспользования горючих производственных отходов и отходов жизнедеятельности человека, не нашедших технологического применения.

Применение технологии брикетирования многокомпонентного твердого топлива (MSF-топливо) и разработанных составов способствует развитию ресурсосберегающей экономики, обеспечивая создание новых рабочих мест, снижение объемов отходов производства и сокращение финансовых затрат предприятия на закупку энергоресурсов.

Литература

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

2. Хрусталева, Б. М. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталева [и др.] // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 58–65.

3. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 164–174.

4. Хрусталева, Б. М. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталева [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 340–348.

5. Пехота, А. Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии / А. Н. Пехота // Энергоэффективность. – 2022. – № 5. – С. 27–32.

6. Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные. Технические условия: ТУ ВУ 490319372.002–2021. – Введ. 18.02.2022. – Минск: Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, рег. номер 063905 от 20.12.2021. – 27 с.

Осадок сточных вод городских очистных сооружений – ресурсная сокровищница для предприятий ЖКХ

Хрусталеv Б. М.¹, Пехота А. Н.¹, Вострова Р. Н.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь

Представлен анализ образования, основные направления использования и переработки осадка сточных вод городских очистных сооружений, с точки зрения ресурсоценного вторичного отхода, образующегося от работы очистных сооружений. Представленные методы и технологии его применения и использования, с учетом результатов современных исследований и разработанных доступных технологий.

Во всех крупных городах и многих населенных пунктов нашей страны и рубежных странах эксплуатируются очистные сооружения. Ежегодно в Республике Беларусь от работы очистных сооружений образуется до 200 тыс тонн осадков сточных вод (ОСВ), которые в основном складировуются и хранятся на специальных иловых площадках очистных сооружений. Осадок сточных вод является одним из значительных по объемам накопления в комплексе проблем жилищно-коммунального хозяйства и при этом он продолжает оставаться одним из малоиспользуемых отходов, образующихся от жизнедеятельности человека в условиях городской среды обитания. В связи с этим интерес к проблеме использования ОСВ остается актуальным в части поиска путей его утилизации, так как в последние годы специалистами природоохранных ведомств отмечено увеличение объемов его образования.

В настоящее время ОСВ в основном складировуются на территории очистных сооружений, что создает неблагоприятную экологическую ситуацию вблизи мест размещения.

Осадок сточных вод представляет собой вещество черного цвета с неприятным запахом. Имеет дисперсную систему, степень которой колеблется от 10 до 107 см⁻¹, что позволяет рассматривать осадки сточных вод как коллоиды с повышенной вязкостью, имеющие влажность 80 и более процентов. Механически обезвоженный осадок может содержать в своем составе 65–80 % воды. Специалистами состав химических элементов, содержащихся в ОСВ, оценивается в следующих соотношениях: углерод – 16–27 %; азот (общий) – 1,5–2,5 %; сухое вещество – 23–45 %; pH –

6,0–9,0; минеральная часть – 35–48 %; фосфор (общий) – 2–4 %; калий (общий) – 0,5–1,0 %. При этом наряду углеводами, соединениями органического происхождения и отдельными с полезными элементами питания растений, ОСВ могут содержать в своем составе токсичные органические соединения, «тяжелые металлы», патогенную микрофлору. Содержание элементов в ОСВ колеблется в широких пределах и определяется в основном составом и соотношением коммунально-бытовых и промышленных стоков, поступающих на очистные сооружения населенного пункта, а также вида очистных сооружений и степени обработки ОСВ.

В настоящее время, интерес к проблеме использования ОСВ постоянно растет, в связи с усилением внимания со стороны государства к вопросам охраны окружающей среды и постоянным возрастанием объемов очищаемых сточных вод. Поэтому актуальность решения проблем утилизации осадка сточных вод имеет важное общегосударственное и народнохозяйственное значение и требует скорейшего решения.

На современном этапе, основными направлениями использования и переработки осадка сточных вод являются технологии представленные на рис. 1.

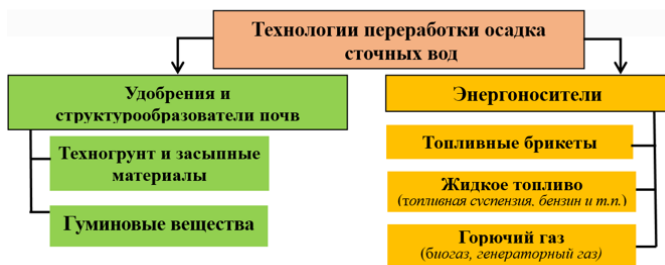


Рис. 1. Основные направления использования и переработки осадка сточных вод

По состоянию на настоящее время из хозяйственного оборота изымается для складирования, сушки или захоронения ОСВ значительные площади земель, которых, например, только, на очистных сооружениях КПУП «Гомельводоканал» задействовано более 15,0 га.

На современном этапе, учитывая многолетние проведенные исследования и разработанные основные направления использования и переработки осадка сточных вод, выбор путей утилизации и рециклинга должен базироваться на накопленном отечественном и зарубежном опыте.

В Республике Беларусь наибольшая активность исследований по направлениям утилизации ОСВ, отмечается с начала 70-х годов прошлого

столетия. В этот период белорусскими учеными и специализированными по этому направлению научными учреждениями республики в рамках республиканских программ, проводились исследования с разработкой различных способов наиболее эффективного использования осадков городских сточных вод. К ним можно отнести исследования по их использованию в сельскохозяйственном земледелии в качестве удобрения с учетом действующих на то время нормативов по охране окружающей среды. К концу восьмидесятых годов 20 века был выполнен значительный объем научных исследований по утилизации и рециклингу осадка, в результате в впервые в нашей республике были разработаны рекомендации, нормировавшие регламент использования ОСВ в качестве удобрений.

Российские ученые, исследовавшие данную проблему, пришли к мнению о возможности использования ОСВ в качестве удобрения в земледелии после компостирования, в зеленом строительстве города, а также допускается его применение при рекультивации нарушенных земель.

В странах Европейского Союза осадки находят применение при рекультивации земель, в первую очередь нарушенных при добыче полезных ископаемых, а также вырабатывают земельный гранулят, путем мокрого термического окисления, с последующим использованием в сельскохозяйственном производстве продукции.

Как показывает анализ последних десятилетий, растущее количество образующихся ОСВ успешно утилизировать с применением одной из технологий не удастся, поэтому во всем мире исследователи внедряют и разрабатывают комплексные подходы к утилизации осадков. При этом экспертами в этой области отмечено, что наиболее существенное количество осадка можно утилизировать, используя термическую переработку.

В качестве решения данного вопроса разработана технологическая линия, схема которой представлена на рис. 2. Разработанная технология обеспечивает брикетирование многокомпонентных составов твердого топлива на основе структурно-разнородных горючих отходов, а выполненный комплекс исследований, связанных с определением оптимального состава, обеспечил приемлемое соотношение смеси по экологическим и экономическим показателям. Применение данной технологии и разработанных составов позволяют получать многокомпонентное твердое топливо (МТТ) с оптимальным соотношением компонентов брикетируемой смеси: осадков сточных вод – не более 48 %, древесных отходов – не менее 49 %, отходов нефтепродуктов – не более 3 %. Это обеспечивает при влажности брикетируемой смеси в пределах 38–43 %, производительность установки по изготовлению твердого топлива не менее 1,01 т/ч, с возможностью получения твердого топлива с плотностью 0,86 т/м³, теплотой сгорания не менее 16 МДж/кг при влажности 20 % и удельной величине энергозатрат на его производство 29,7 кВт·ч на тонну топлива.

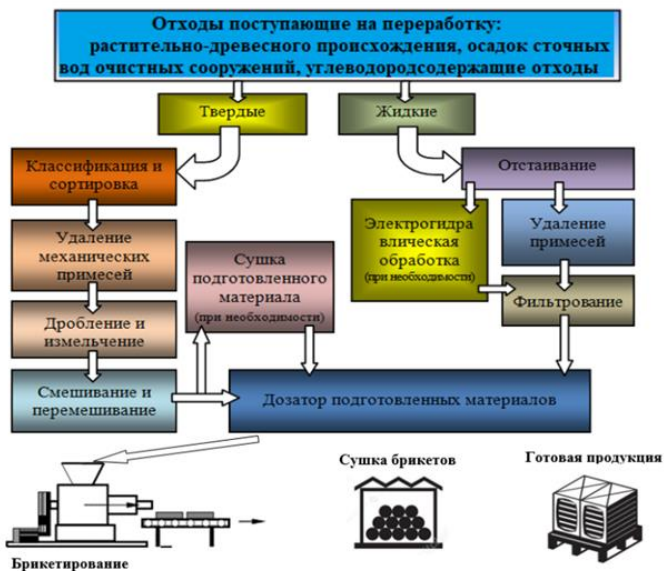


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема получения МТТ

Такой подход при формировании многокомпонентных смесей обеспечивает оптимальное соотношение химических элементов в конечном составе топлива, что при его сжигании в котлоагрегатах обеспечивает нормированные параметры содержания вредных веществ в выбросах. Разработанная авторами технология, составы топлива и оборудование для его производства находят применение в ближнем и дальнем зарубежье под брендовым названием «MSF-топливо» (англ. multicomponent solid fuel) [5]. Разработанная технология получения «MSF-топлива» предусматривает использование в качестве связующего компонента осадок сточных вод, лигнин гидролизный, сапропель, отходы переработки торфа и т. п., при этом брикетирование многокомпонентной смеси структурно неоднородных отходов, является сложным технологическим процессом.

После термической или атмосферной сушки МТТ в теплый период года, 1 переработанная тонна ОСВ (в расчете на сухую массу) позволяет получить 531–556 кг условного топлива, в зависимости от состава топлива. Учитывая общереспубликанский объем ранее накопленных осадков сточных вод и растущую потребность в их переработке, одним из путей опережающей утилизации этих отходов может являться производство котельно-

печного топлива в соответствии с разработанными техническими условиями ТУ ВУ 490319372.002–2021.

Одни из основных факторов экономического характера для предприятий внедряющих разработанную технологию получение искусственных видов твердого топлива с использованием отходов, является универсальность

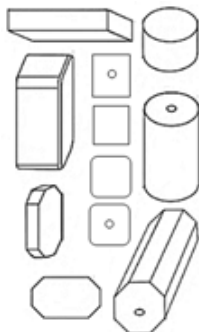


Рис. 3. Виды форм получаемых брикетов

разработанной технологий и оборудования, за счет использования различных вторичных материальных ресурсов, в том числе и структурно неоднородных по составу горючих отходов. Вид брикетов, получаемых в процессе брикетирования представлен на рис. 3.

Согласно технологическому регламенту производства, подготовленные компоненты смеси дозируются и поступают в расходный бункер-смеситель, в котором они смешиваются при естественной температуре до однородного состояния. Подготовленная смесь характеризуется массовой влажностью и определенным соотношением многокомпонентной смеси брикетируемых веществ, обеспечивающих необходимую пластичность и плотность. К

основным факторам, определяющим формование структурного каркаса многокомпонентного брикета, относятся гранулометрический состав, активность поверхности, влажность брикетируемой смеси, условия и пропорции смешивания компонентов, давление, создаваемое в матрице при брикетировании

В ходе оценки технико-экономических показателей ожидаемого экономического эффекта от использования технологии многокомпонентного брикетирования с применением ОСВ в указанных выше соотношениях смеси с другими отходами, определено, что при себестоимости многокомпонентного твердого топлива в 30,8 \$ США, произведенного по ТУ ВУ 490319372.002–2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные». При этом, с учетом данных «Департамента по энергоэффективности», согласно которых расчетная стоимость 1 тонны условного топлива равна 200 долларов США, по состоянию на 2023 год при расчете технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, экономия затрат на энергоресурсы с учетом калорийного эквивалента МТТ может составить не менее 75 \$ США с одной тонны.

Выводы

Применение разработанной технологии позволяет получать топливо обеспечивающее приемлемые теплотехнические характеристики для котлов локальных систем отопления в пределах 531–556 кг условного топлива,

при этом стоимость топлива с использованием в составе осадков сточных вод обеспечивает существенную экономию затрат на энергоресурсы, что обеспечивает разумные сроки окупаемости внедрения в пределах 21–48 месяцев, определяемые производительностью линии и марками производимого многокомпонентного топлива.

Литература

1. Пути утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений [Электронный ресурс] // Институт радиобиологии НАН Беларуси – Режим доступа: <https://www.irb.basnet.by/ru/puti-utilizacii-osadkov-stochnyx-vod-gorodskix-ochistnyx-sooruzhenij/> – Дата доступа 25.10.2022.

2. Вострова, Р. Н. Вторая жизнь осадка сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова // Известия Гомельск. государств. университета имени Ф. Скорины. – 2009. – Т. 54, № 3. – С. 92–98.

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

Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 164–174.

5. Пехота, А. Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии / А. Н. Пехота // Энергоэффективность. – 2022. – № 5. – С. 27–32.

УДК 691.1

Органические теплоизоляционные материалы в современном строительстве

Чернюк Н. В.¹, Пехота А. Н.²

¹Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет
Минск Республика Беларусь

Исследована эффективность применения теплоизоляционных материалов на основе использования органических компонентов. Выполненный обзор позволил определить актуальность создания новых теплоизоляционных материалов на основе органического сырья для строительства зданий различного назначения.

Чтобы повысить энергоэффективность здания и создать оптимальные условия для комфортного проживания, существует комплекс дополнительных мероприятий, к которым относится и теплоизоляция каждого элемента конструкции. **Основной задачей материалов для создания качественной теплоизоляции является препятствие теплопотерям в холодное время года и создание барьера для проникновения тепла в жаркую пору.**

К теплоизоляционным относятся материалы, применяемые в строительстве жилых и промышленных зданий, тепловых агрегатов и трубопроводов с целью уменьшения тепловых потерь в окружающую среду. Они характеризуются низкой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности от 0,02 до 0,2 Вт/(м·°С)), высокой пористостью (70–98 %), незначительной плотностью и прочностью (предел прочности при сжатии 0,05–2,5 Н/м²).

Использование теплоизоляционных материалов (ТИМ) позволяет уменьшить толщину и массу ограждающих конструкций, снизить расход основных конструктивных материалов, уменьшить транспортные расходы, что в целом снижает стоимость строительства. Наряду с этим при сокращении потерь тепла отапливаемыми зданиями уменьшается расход энергоресурсов на его обогрев. Многие теплоизоляционные материалы из-за высокой пористости обладают способностью поглощать звук, что позволяет использовать их также в качестве акустических материалов для борьбы с шумом.

Органика в качестве утеплителя известна с древних времен. Человек до появления технического прогресса начал использовать природные материалы для утепления своего жилища.

Органические теплоизоляционные материалы – это материалы, изготовленные на основе компонентов растительного (древесина, лен, конопля, соя, торф и т. д.) или животного (шерсть) происхождения с добавлением специальных связующих.

Многие органические теплоизоляционные материалы подвержены быстрому загниванию, порче различными насекомыми и способны активно поддерживать горение, поэтому их предварительно подвергают специальной обработке.

В настоящее время применяются следующие виды органических теплоизоляционных материалов:

1. На основе бумаги. Как правило, они имеют вид гранул, которые изготавливаются из вторсырья путем скатывания фрагментов бумаги. Чтобы материал стал негорючим и отталкивал воду, гранулы специально обрабатываются раствором нейтральных солей и органическими водоотталкивающими полимерами.

Полезные свойства бумажного утеплителя в следующем: не утяжеляет конструкцию; легко утилизируется; устойчив к появлению плесени или грибка; прост в монтаже.

Из «минусов» можно отметить: склонность к усадке со временем; невозможность заполнить все межстенные промежутки (проводит к появлению «мостиков холода»); необходимость тщательной трамбовки гранул при засыпке или использование специальных нагнетающих устройств, трамбующих устройств с виброукладкой.

2. На основе целлюлозы или древесного волокна. Самый распространенный вид органического утеплителя. Технология производства заключается в измельчении древесного волокна до состояния ваты.

Целлюлозная вата представляет собой рыхлый легкий изоляционный материал, состоящий на 81 % из вторичной целлюлозы и на 19 % – из добавок (нелетучих антипиренов и антисептиков). Монтаж эковаты производится либо методом напыления с помощью специальной установки (материал подается от компрессора по трубе к месту монтажа и уже в воздухе смачивается водно-клеевым раствором из форсунок, закрепленных на оконечности трубы), либо, что реже, засыпается непосредственно в перегородки.

Данный материал имеет отличные теплоизоляционные свойства; способен равномерно заполнять все промежутки конструкции; выполняет функции звукоизоляции и шумопоглощения; обладает паропроницаемостью. Материал универсален (его можно использовать в перекрытиях, стенах, скатных кровлях) и долговечен, а главное – недорог.

Однако имеет и свои «минусы»: Целлюлозная вата может быть горючей при недостаточной обработке; подвержена гниению и грибковому воздействию; применяется только внутри сухих простенков (не подходит для утепления зданий с влажными стенами). Чтобы материал стал огнеупорным, требуется добавление специальных веществ (полифосфат аммония).

3. Пробковый теплоизоляционный материал. Абсолютно натуральный утеплитель, производится из измельченной коры пробкового дерева.

Пробка – легкий материал (масса 1 м³ – всего 104–120 кг), устойчивый к сжатию и не подвержен усадке. Водопоглощение пробки после 20-дневного пребывания под водой не превышает 13 %. Пробковые панели чрезвычайно хорошо восстанавливают свою форму после механической деформации – сжатия или изгиба. В пробковых плитах отсутствуют искусственные добавки, они не подвержены гниению, атакам грызунов, неуязвимы для плесени. Материал также непроницаем для УФ-излучения, устойчив к воздействию углеводородов, а значит, может использоваться в контакте с асфальтом или битумом. Пробка не проводит электричество и не аккумулирует на своей поверхности электростатический заряд. Использовать этот материал может в широком диапазоне температур: от –200 до +130 °С. Благодаря обработке огнестойкими составами изоляционные плиты из пробки не горят (относятся к классу В1 – негорючие вещества).

К «минусам» можно отнести способность к тлению под воздействием высокой температуры и высокая стоимость.

Учитывая все положительные и отрицательные свойства органических теплоизоляционных материалов, был разработан новый строительный материал на базе природного сырья состоящего из биомассы с использованием смеси торфа и растительно-древесных отходов – «Геокар».

Технология производства торфо-растительно-древесных (ТРД) блоков проста: просеянный торф перемешивается с водой и перетирается на специальной мельнице до густой пасты; затем добавляется наполнитель (солома, опилки, стружка), в прессе формируются блоки, и после этапа сушки они готовы к использованию.

Технические характеристики и параметры ТРД-блоков:

- размеры блоков 510×250×88 мм;
- объемный вес 250–430 кг/м³;
- масса блока не более 4 кг;
- коэффициент теплопроводности 0,06–0,08 Вт/(м·°С);
- сопротивлением теплоотдаче $R_0 = 3,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$;
- предел прочности при сжатии 8–12 кг/см².

Преимущества ТРД-блоков:

1. Экологичность, так как в процессе изготовления используют натуральные компоненты. Экспериментальным путем доказано, что торф обладает бактерицидностью. Стены из ТРД-блоков прекрасно «дышат» за счет сорбционно-бактерицидных свойств, поддерживая микроклимат в помещении, который присущ сосновым срубам. Материал не гниет и не подвергается атакам грызунов.

2. Теплопроводность значительно ниже, чем у кирпича. Блок способен заменить минеральную вату, притом, что плотность его в два раза выше.

3. Прочность блоков достигается за счет незначительного применения связующих компонентов, усиливающих адгезию на пограничной поверхности при прессовании мелкодисперсной смеси в матрице.

4. ТРД-блоки не подвергаются возгоранию, а также не тонут в воде.

Учитывая «уникальность» свойств и характеристик торфо-растительно-древесных блоков, а также современные тенденции в необходимости использования при строительстве натуральных материалов, в том числе имеющих дополнительные свойства, обеспечивающие бактерицидность, обоснованным представляется заинтересованность в дальнейшем исследовании и внедрении нового органического теплоизоляционного материала для строительства и теплоизоляции зданий различного назначения, в том числе

для животноводческих, птицеводческих и звероводческих зданий и сооружений имеющих зачастую сложности с поддержанием нормируемых параметров микроклимата.

Литература

1. Халиков, Д. А. Классификация теплоизоляционных материалов по функциональному назначению / Д. А. Халиков // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11–6. – С. 1287–1291.

2. Классификация теплоизоляционных материалов по функциональному назначению [Электронный ресурс] // *Научный журнал «Фундаментальные исследования»* – Режим доступа: <https://metasold.com/bezopastnost/typy-sovremennyx-teploizolyacionnyx-materialov.html>. – Дата доступа 25.10.2022.

4. Какие существуют современные теплоизоляционные материалы в строительстве [Электронный ресурс] // *Строительный портал* – Режим доступа: <http://myprofnastil.ru/blog/2021/12/15/kakie-sushhestvuet-sovremennye-teploizolyacionnye-materialy-v-stroitelstve/>. – Дата доступа 14.02.2023.

5. Обзор рынка органических теплоизоляционных материалов [Электронный ресурс] // *Интернет издание «Кровли» портал*. – Режим доступа: <https://krovlirussia.ru/rubriki/materialy-i-technologii/teploizolyacionnye-materialy/obzor-rynka-organicheskix-teploizolyacionnyx-materialov/>. – Дата доступа 14.02.2023.

УДК 697.7

Солнечный воздухонагреватель с высокоэффективным матричным абсорбером

Орзиматов Ж. Т.¹, Абдулхаев З. Э.¹, Маматисаев Г. И.¹, Пехота А. Н.²

¹ Ферганский политехнический институт
Фергана, Республика Узбекистан,

² Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описана разработанная физико-математическая тепловая модель работы солнечного воздухонагревательного коллектора с воздухопроницаемым матричным абсорбером из проволочной металлической путанки, а также полученные аналитические решения модели для граничных условий первого и второго рода.

Системы солнечного теплоснабжения (ССТ) получили широкомасштабное практическое применение в теплоснабжении жилых и общественных зданий. В 2019 г. общая площадь установленных солнечных коллекторов (СК) в составе различных ССТ составила в мире 684 млн м² [1]. Это в основном жидкостные СК

используемые для подогрева воды горячего водоснабжения и специальных незамерзающих теплоносителей (антифризов) эксплуатируемых в круглогодичных системах теплоснабжения.

Однако, следует отметить, что в современной гелиотехнике наряду с жидкостными солнечными коллекторами [2] широко применяют воздушные солнечные коллекторы (ВСК). По данным на начало 2019 года во всем мире было установлено 1 084 МВт ВСК, что составляет 1 548 143 м² остекленных и неостекленных коллекторов [1]. Годовой объем мирового рынка ВСК в 2018 году находился в диапазоне 30 МВт (43 280 м²). Анализ показывает, что основными пользователями является Северная Америка, Австралия и Япония.

При этом основным производителем такого оборудования является Канада, где производится более половины мирового количества ВСК. В Европе самая большая воздушная гелиоустановка была сооружена в г. Свидница (Польша) с перфорированным абсорбером с площадью 2000 м². Она отапливает цеха завода с объемом помещений 55000 м². В солнечную погоду температура нагретого воздуха составляет от 30 °С, а в облачную нагревает до 10 °С [4]. Стоимость таких гелиоустановок 100–120 евро/м², срок окупаемости – 5 лет.

По конструкции абсорбера различают два класса ВСК [3; 4]:

- с воздухопроницаемыми матричными абсорберами;
- с воздухо непроницаемыми плоскими абсорберами, обтекаемый с передней или, чаще всего, с его тыльной стороны.

Воздушный коллектор с воздухопроницаемым матричным абсорбером состоит из поглотителей из пористого материала с открытыми порами. К примеру, это могут быть слои черных пористых текстильных материалов или пенопластовые пластины, которые размещают на пути воздуха как воздушные фильтры. Излучение солнца поглощается не только в поверхностном слое абсорбера, но и в его объеме. Между прозрачным покрытием и абсорбером оставляют щель переменной ширины для подачи воздуха к абсорберу. Когда воздух фильтруется через абсорбер, тот отдает свое тепло воздуху.

Противоположность матричным представляют коллекторы с обтекаемым плоским абсорбером из герметичного материала, как правило, листового металла. Воздух в таких коллекторах устремляется параллельно обтекаемому абсорберу либо вдоль передней поверхностей абсорбера, либо только вдоль его тыльной поверхности.

Разработанный экспериментальный солнечный воздушонагреватель [5] содержит теплоизолированный корпус с прозрачным покрытием и плоский поглотитель, выполненный в виде воздухопроницаемой структуры, разделяющей корпус на верхний подающий и нижний отводящий воздушные каналы, снабженные соответственно коллектором, обеспечивающим подачи холодного и коллектором отбора горячего воздуха.

В экспериментальном солнечном воздухонагревателе в процесс теплообмена включается вся развитая поверхность воздухопроницаемой структуры, выполненной в виде металлической проволочной путанки. При этом контактная поверхность теплообмена при малых диаметрах проволоки увеличивается более, чем на порядок. Кроме того, за счет многократного переотражения внутри металлической проволочной путанки уменьшаются потери отраженной солнечной радиации от лучепоглощающей поверхности, а многократное изменение направления движения воздуха внутри самой путанки обеспечивает интенсификацию процесса теплообмена путем увеличения турбулизации воздушного потока.

Это обеспечивает интенсивный теплообмен во всем объеме поглотителя, снижение температуры конструкции, а, следовательно, и снижение тепловых потерь воздухонагревателя в окружающую среду и повышение его КПД [6].

Рассмотрим показанный на рис. 1 воздухопроницаемый матричный абсорбер из металлической проволочной путанки с постоянным коэффициентом теплопроводности λ_c . Размеры абсорбера в направлениях y и z велики и температурное поле внутри абсорбера можно считать одномерным; последнее справедливо и для температуры охлаждающей жидкости, т. е.

$$t = t(x) \text{ при } 0 \leq x \leq \delta \text{ и } t_{ж} = t_{ж}(x) \text{ при } -\infty \leq x \leq 0.$$

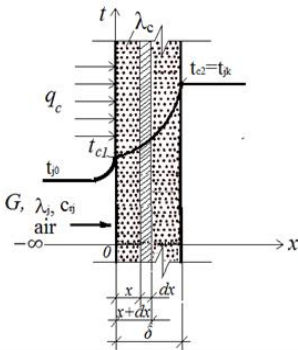


Рис. 1. Расчетная схема воздухопроницаемого матричного абсорбера из металлической проволочной путанки

На поверхности абсорбера при $x = \delta$ температура стенки равна t_{c2} , которая в свою очередь равна конечной температуре охлаждающей жидкости $t_{ж0}$. Температура нагнетаемой вдоль оси Ox через абсорбер жидкости при $x \rightarrow -\infty$ равно $t_{ж0}$. Температуры t_{c2} и $t_{ж0}$ известны. Задан удельный массовый расход охлаждающей жидкости G , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, теплоемкость $c_{рж}$ и теплопроводность $\lambda_{ж}$ которой постоянны. Необходимо найти распределение температуры в таком пористом абсорбере.

Для равномерной пористости можно считать, что на единице поверхности, нормальной к направлению потока жидкости, сечение для прохода жидкости, $f_{ж} = p$, а сечение твердого скелета, участвующего в теплопроводности, равно $f_c = 1 - f_{ж} = 1 - p$. Отметим также, что если удельный массовый расход натекающей жидкости равен G , то массовый расход внутри абсорбера будет равен G/p .

Плотность теплового потока за счет теплопроводности самого абсорбера в сечениях x и $x + dx$ запишется (рис. 1) в виде

$$q_x = -\lambda_c \frac{dt}{dx}(1-p),$$

$$q_{x+dx} = -\lambda_c \frac{d}{dx} \left(t + \frac{dt}{dx} dx \right) (1-p).$$

В условиях стационарного режима изменения теплового потока на участке dx произойдет вследствие теплообмена между твердым телом и протекающей через поры жидкостью, т. е.

$$dq = q_x - q_{x+dx} = Gc_{пж} dt$$

или

$$-\lambda_c \frac{dt}{dx}(1-p) + \lambda_c \frac{dt}{dx}(1-p) + \lambda_c \frac{d^2t}{dx^2}(1-p) dx = Gc_{пж} dt.$$

Следовательно, для области $0 \leq x \leq \delta$ дифференциальное уравнение запишется как

$$\frac{d^2t}{dx^2} - \frac{Gc_{пж}}{\lambda_c(1-p)} \frac{dt}{dx} = 0. \quad (1)$$

Если обозначить

$$\frac{Gc_{пж}}{\lambda_c(1-p)} = \xi_c,$$

то соотношение (1) запишется [7]:

$$\frac{d^2t}{dx^2} - \xi_c \frac{dt}{dx} = 0. \quad (2)$$

Аналогичным образом можно получить дифференциальное уравнение и для области $-\infty \leq x \leq 0$:

$$\frac{d^2t}{dx^2} - \xi_{ж} \frac{dt}{dx} = 0, \quad (3)$$

где

$$\xi_{\text{ж}} = \frac{Gc_{p\text{ж}}}{\lambda_{\text{ж}}}.$$

Общее решение уравнения (2) имеет вид:

$$t = C_1 e^{\xi_{\text{ж}} x} + C_2.$$

Постоянные C_1 и C_2 определяются из граничных условий: при $x = 0$, $t = t_{c1}$ и при $x = \delta$, $t = t_{c2}$.

После определения постоянных C_1 и C_2 получаем для области $0 \leq x \leq \delta$:

$$t = t_c + \frac{t_{c2} - t_{c1}}{e^{\xi_{\text{ж}} \delta} - 1} (e^{\xi_{\text{ж}} x} - 1). \quad (4)$$

Для уравнения (3) общее решение имеет вид:

$$t_{\text{ж}} = C_3 e^{\xi_{\text{ж}} x} + C_4.$$

Это уравнение должно удовлетворять граничным условиям для потока жидкости: при $x = -\infty$, $t_{\text{ж}} = t_{\text{ж}0}$; при $x = 0$, $\lambda_{\text{ж}} \frac{dt_{\text{ж}}}{dx} = \lambda_c (1-p) \frac{dt}{dx}$.

Из граничных условий находим, что $C_4 = t_{\text{ж}0}$ и

$$C_3 = \frac{t_{c2} - t_{c1}}{e^{\xi_{\text{ж}} \delta} - 1}.$$

Тогда решение для (3) запишется как

$$t_{\text{ж}} = t_{\text{ж}0} + \frac{t_{c2} - t_{c1}}{e^{\xi_{\text{ж}} \delta} - 1} e^{\xi_{\text{ж}} x}, \quad (-\infty \leq x \leq 0). \quad (5)$$

На основании (5) из уравнения (4) можно исключить неизвестную температуру t_{c1} . При $x = 0$: $t_{\text{ж}} = t_{c1} = t_{\text{ж}0} + (t_{c2} - t_{\text{ж}0}) e^{-\xi_{\text{ж}} \delta}$.

Подставив это значение t_{c1} в уравнение (4), получим окончательное выражение для распределения температуры в пористой пластине ($0 \leq x \leq \delta$):

$$\frac{t - t_{ж0}}{t_{c2} - t_{ж0}} = e^{-\xi_c \delta \left(1 - \frac{x}{\delta}\right)}. \quad (6)$$

Если безразмерную температуру абсорбера $(t - t_{ж0}) / (t_{c2} - t_{ж0})$ обозначить через Θ , уравнение (6) можно записать в следующем виде:

$$\Theta = e^{-\xi_c \delta \left(1 - \frac{x}{\delta}\right)}.$$

Средняя температура в пористой пластине для заданного значения $\xi_c \delta$, определяемая интегралом $\bar{\Theta} = 1 / \delta \int_0^{\delta} \Theta dx$, равна

$$\bar{\Theta} = \frac{\bar{t} - t_{ж0}}{t_{c2} - t_{ж0}} = \frac{1}{\xi_c \delta} \left(1 - e^{-\xi_c \delta}\right). \quad (7)$$

Если в качестве параметра выбрать безразмерный комплекс $\xi_c \delta$, зависимость (7) можно представить, как показано на рис. 2.

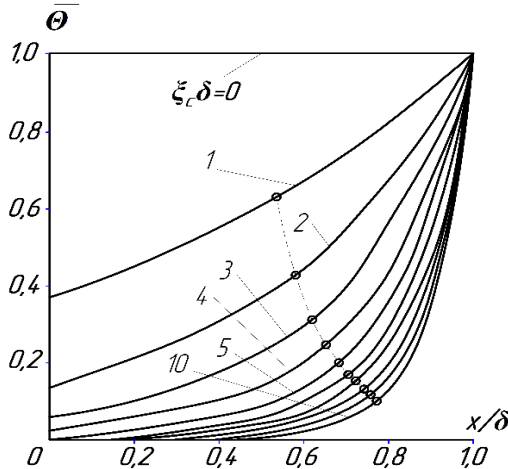


Рис. 2. Распределение безразмерной средней температуры $\bar{\Theta}$ в матричном воздухопроницаемом абсорбере из металлической проволочной путанки в зависимости от безразмерного комплекса $\xi_c \delta$

На основе выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1. Разработана конструкция солнечного воздухонагревательного коллектора с воздухопроницаемым матричным абсорбером, отличающаяся повышенной тепловой эффективностью.

2. Предложена физико-математическая модель процесса теплообмена, происходящего в матричном воздухопроницаемом абсорбере из металлической проволочной путанки, включающая дифференциальные уравнения с граничными условиями первого и второго рода.

3. Полученные решения дифференциальных уравнений позволяют рассчитать безразмерную среднюю температуры $\bar{\Theta}$ в матричном воздухопроницаемом абсорбере из металлической проволочной путанки в зависимости от безразмерного комплекса $\xi_c \delta$, который учитывает в себя пористость абсорбера p , его толщину δ , коэффициент теплопроводности λ_c , удельный массовый расход воздуха G и его теплоемкость $c_{pж}$. Данные решения позволяют осуществлять конструктивные и поверочные расчеты разработанного солнечного воздушного коллектора.

Литература

1. Weiss, W. «Solar Heat Worldwide» Global Market Development and Trends in 2019. Detailed Market Figures 2018. 2020 edition / W. Weiss, M. Spörk-Dür // Available: www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2020.pdf. – 86 p.

2. Бутузов, В. А. Солнечные коллекторы. Тенденции совершенствования конструкций // В. А. Бутузов и [др.] // Альтернативная энергетика и экология, 2009. – Т. 78, № 10. – С. 41–51.

3. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

4. Даффи, Дж. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ.: учебно-справочное руководство / Дж. Даффи, У. Бекман. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. – 888 с.

5. Патент № FAP 01588. Солнечный воздухонагреватель / Ю. К. Рашидов, Ж. Т. Орзиматов, К. Ю. Рашидов // Бюл. 2021 – Т. 239, № 6. – с. 85.

6. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

7. Madaliev, M. E. Comparison of finite-difference schemes for the first order wave equation problem / M. E. Madaliev [et al.] (2022, October) // In AIP Conference Proceedings (Vol. 2637, No. 1, p. 040022). AIP Publishing LLC.

Некоторые результаты исследований сорбционной влажности материалов применительно к теории расчета влажностного режима ограждающих конструкций

Крутилин А. Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведены результаты исследований влажности ячеистого бетона при его сорбции и десорбции. Указано, что фактические коэффициенты теплопроводности ячеистого бетона могут быть выше расчетных, приведенных в СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника».

Наружные ограждающие конструкции современных зданий проектируются в соответствии с требованиями строительных норм и правил, в которых изложены требования, в том числе и к влажностному режиму конструкций. В настоящее время в большинстве ограждающих конструкций используются эффективные теплоизоляционные материалы, а также конструктивно-теплоизоляционные материалы, с целью достижения максимального уровня теплозащиты при минимальной толщине конструкции. Особенно это актуально для наружных стен вновь возводимых зданий.

В соответствии с [1] образование влаги вследствие конденсации водяного пара из воздуха в порах материалов при расчетных параметрах наружного и внутреннего воздуха не допускается, а эксплуатация материалов для таких условий происходит, преимущественно, в области их сорбционного увлажнения. При этом расчетные коэффициенты теплопроводности материалов в соответствии с требованиями [2] определяются с учетом их сорбционной влажности

$$\lambda_{\text{мат}} = \lambda_A \text{ при } W_{\text{мат}}^{\text{сп}} \leq W_A; \lambda_{\text{мат}} = \lambda_B \text{ при } W_B \geq W_{\text{мат}}^{\text{сп}} > W_A,$$

где $\lambda_{\text{мат}}$ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м²·°С); λ_A, λ_B – расчетные коэффициенты теплопроводности материала для условий эксплуатации «А» и «Б», соответственно, Вт/(м²·°С); $W_{\text{мат}}^{\text{сп}}$ – средняя влажность материала по массе, %; W_A, W_B – расчетные массовые отношения влаги для условий эксплуатации «А» и «Б», соответственно.

После возведения здания в ряде случаев материалы имеют влажности превышающие показатели массовой влажности W_A и W_B вследствие наличия в них технологической и строительной влаги. В первые годы эксплуатации данных конструкций в материалах может происходить движение

жидкой (несвязанной) влаги за счет влагопроводности и термовлагопроводности. При этом возможно, как высыхание материалов с течением времени, так и частичное разрушение конструкций за счет исчерпания ресурса морозостойкости [3].

При высыхании в процессе эксплуатации ограждающих конструкций материалы приобретают некоторую влажность, которая, как правило, изменяется в течение последующих периодов года в области их сорбционного увлажнения.

Исследования сорбционного увлажнения выполняли в эксикаторах с помощью растворов солей и растворов серной кислоты. Образцы выдерживались при относительных влажностях воздуха, близких к $\varphi = 10\%$, 33% , 55% , 75% , 85% , 90% и 97% . Определение влажностей материалов выполняли периодическим взвешиваем образцов.

На рис. 1 показаны изотермы сорбции и десорбции ячеистого бетона автоклавного твердения (плотность 500 кг/м^3). Видно, что в диапазоне относительной влажности воздуха $\varphi = 10\text{--}97\%$ массовые влажности ячеистого бетона выше при десорбции, чем при сорбции.

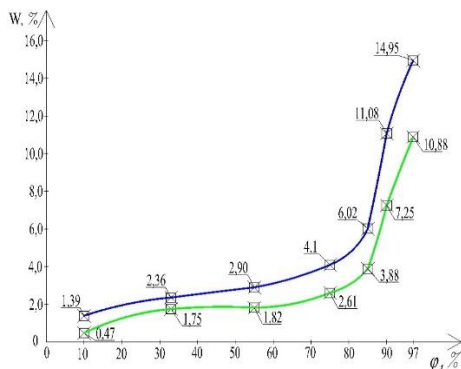


Рис. 1. Изотермы сорбции и десорбции ячеистого бетона ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$)

Установлено, что если образцы с постоянной влажностью в процессе десорбции поместить в эксикаторы с большей относительной влажностью среды, то влажность образцов будет увеличиваться только тогда, когда сорбционная влажность ячеистого бетона при данной относительной влажности среды выше влажности, установившейся в процессе десорбции.

Для примера, рассмотрим влажностное состояние образца ячеистого бетона с начальной влажностью, превышающей $W_{\text{мат}} = 15\%$ по массе, и его дальнейшим высыханием в ограждающей конструкции. При относительной

влажности воздуха в порах материала равной $\varphi = 90\%$, с течением времени, за счет десорбции, влажность ячеистого бетона будет снижаться и станет равной $W_{\text{мат}}^{\text{д}} \approx 11\%$ по массе, а при относительной влажности воздуха в порах материала равной $\varphi = 75\%$ – станет равной $W_{\text{мат}}^{\text{д}} \approx 4\%$ по массе. При последующем увеличении относительной влажности воздуха в порах материала с $\varphi = 75\%$ до $\varphi = 90\%$ происходит увлажнение материала до $W_{\text{мат}}^{\text{с}} \approx 7\%$ по массе в соответствии с изотермой сорбции.

На основании изложенного следует вывод, что для ячеистых бетонов, имеющих технологическую влагу после возведения здания, при их высыхании изменение влажности будет происходить в соответствии с изотермой десорбции, а увлажнение – в соответствии с изотермой сорбции при условии: $W_{\text{мат}}^{\text{с}} > W_{\text{мат}}^{\text{д}}$. Учитывая, что влажности материалов при десорбции выше чем при сорбции, фактические коэффициенты теплопроводности ячеистого бетона могут быть выше расчетных, приведенных в [2].

При моделировании тепло-влажностного режима ограждающих конструкций, в том числе с использованием ячеистого бетона, необходимо определять, как изотерму сорбции, так и изотерму десорбции материалов.

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: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 72 с.
3. Рыхленок, Ю. А. Особенности эксплуатации и причины снижения долговечности наружных стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения / Ю. А. Рыхленок, А. Б. Крутилин // Проблемы современного бетона и железобетона: Сборник научных трудов. – Минск, Издательский центр БГУ, 2012. – Вып. 4. – С. 107–119.

УДК 620.97

Рекуперация от холодильного оборудования с целью получения теплоты для нужд отопления и ГВС

Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрены основные аспекты ТЭО рекуперации теплоты от холодильного оборудования и некоторые принципиальные схемы.

В соответствии с определением Экологического энциклопедического словаря рекуперация (от лат. recuperatio – обратное получение) – это возвращение части материалов или энергии для повторного использования в том же технологическом процессе. Рекуперация является основой безотходного производства, наиболее прогрессивного метода рационального использования природных ресурсов и охраны природы [1].

По данным Ассоциации предприятий индустрии микроклимата и холода (АПИМХ) среднегодовое количество электрической энергии, расходуемой в Республике Беларусь на работу холодильных машин, составляет около 35 %. Среднесуточная мощность в энергосистеме в летний период составляет порядка 5 ГВт, из них промышленностью отбирается порядка 73 %, таким образом, для работы холодильных машин необходимо порядка 1,277 ГВт мощности:

$$5 \cdot 0,73 \cdot 0,35 = 1,277 \text{ ГВт.}$$

В установившейся практике, теплота, отводимая холодильными машинами, сбрасывается в атмосферу через воздушные конденсаторы. Практический смысл применения рекуперации теплоты заключается в нагреве воды путем передачи ей тепловой энергии, отводимой в процессе охлаждения продуктов, холодоснабжения технологических процессов или кондиционирования воздуха **без дополнительных затрат** электрической энергии.

Рассматривая термодинамический цикл парокомпрессионной холодильной машины, видно, что перенос теплоты осуществляется от условно «холодного тела» (процесс 4–1) к условно «горячему телу» (процесс 2–3). Гретья среда, которой являются продукты питания, технологические процессы, требующие отвода теплоты, кондиционируемый воздух – это условно «холодное тело», которое передает тепловую энергию хладагенту в испарителе холодильной машины.

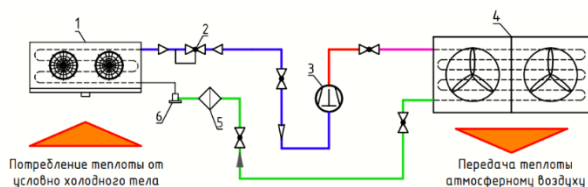


Рис. 1. Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины:
1 – испаритель; 2 – регулятор давления испарения; 3 – компрессор; 4 – воздушный конденсатор; 5 – фильтр; 6 – терморегулирующий вентиль (ТРВ)

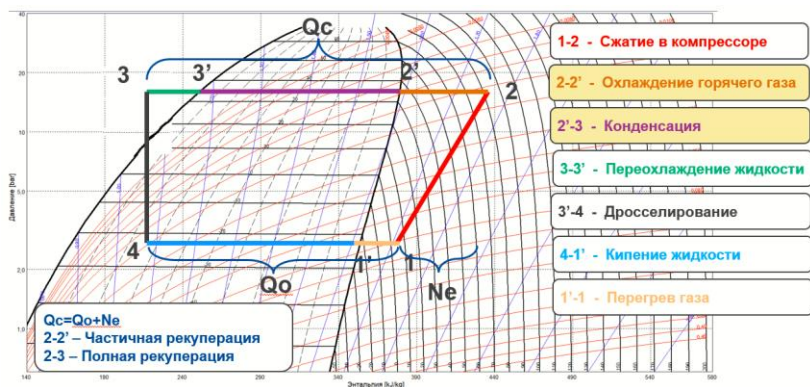


Рис. 2. Цикл холодильной машины

Далее хладагент после сжатия в компрессоре (процесс 1–2) и повышения температуры перемещается в конденсатор, где передает тепловую энергию нагреваемой среде, то есть условно «горячему телу» (процесс 2–3). Температура хладагента в конденсаторе выше, чем в испарителе. Тем самым обеспечивается подогрев нагреваемой среды до температуры большей, чем температура греющей среды. Холодильная машина в этом процессе применяется в режиме **теплового насоса** [2].

В конденсаторе холодильной машины должна быть отведена как воспринятая теплота в испарителе Q_o , так и теплота, эквивалентная затраченной мощности компрессора на адиабатическое сжатие паров холодильного агента, ккал/ч [3]:

$$Q_c = Q_o + 860N_{im} ,$$

где Q_c – теплопроизводительность (для конденсатора); Q_o – холодопроизводительность (для испарителя); N_{im} – теоретическая индикаторная мощность компрессора, затраченная на адиабатическое сжатие паров холодильного агента.

В общем случае принципиальные схемы для проектирования систем рекуперации включают в себя специальные теплообменники, в которых нагрев воды происходит за счет охлаждения паров фреона (процесс 2–2'), конденсации его в жидкость (процесс 2'–3') и переохлаждения до температуры испарения (процесс 3'–3). Применение **накопительных емкостей (теплоаккумуляторов)** является обязательным, так как это позволяет сглаживать не-

равномерность и неодновременность потребления горячей воды и потребность в охлаждении. Также необходимо предусматривать системы автоматического регулирования, насосное оборудование и расширительные баки.

На рис. 3 приведена схема **частичной рекуперации теплоты** с применение кожухотрубного пароохладителя. Применяется для нагрева воды при небольшой потребности в теплоте относительно мощности холодильной машины. Нагрев происходит за счет охлаждения горячего газа хладагента до температуры конденсации (процесс 2–2').

При выборе схемы для системы рекуперации теплоты от холодильного оборудования важным аспектом является сбор исходных данных и технико-экономическое обоснование (ТЭО). Для этого необходимо проанализировать мощности и режимы работы холодильного оборудования, количество необходимой тепловой энергии для нужд отопления, горячего водоснабжения (ГВС), теплоснабжения приточных установок и воздушно тепловых завес. Так же необходимо оценивать стоимости существующих источников тепловой энергии и сравнивать их с капитальными затратами на проектирование и строительство систем рекуперации для расчета срока окупаемости. Нужно учитывать, что срок окупаемости не должен превышать 5–6 лет.

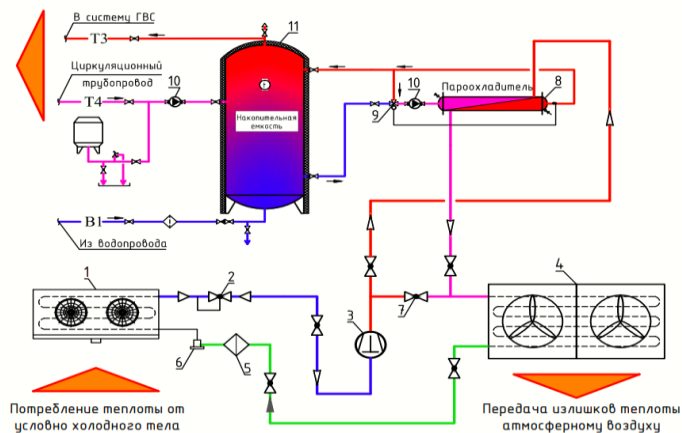


Рис. 3. Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины с пароохладителем для частичной рекуперации теплоты:

- 1 – испаритель; 2 – регулятор давления испарения; 3 – компрессор; 4 – воздушный конденсатор; 5 – фильтр; 6 – терморегулирующий вентиль (ТРВ); 7 – байпасный кран для ТО теплообменника; 8 – кожухотрубный пароохладитель;
- 9 – трехходовой термостатический клапан; 10 – циркуляционный насос; 11 – накопительная емкость

Нагрев воды для систем горячего водоснабжения (ГВС), является приоритетным в данных схемах рекуперации, так как потребность в ГВС существует круглогодично.

На рис. 4 приведена схема с **полной рекуперацией теплоты** с применением последовательно установленного кожухотрубного пароохладителя и конденсатора.

Применяется для нагрева воды при расходах теплоты сопоставимых с мощностью и режимом работы холодильной машины. Нагрев воды происходит в два этапа:

1 этап – предварительный нагрев воды до температуры 38–42 °С за счет тепловой энергии, отводимой при конденсации хладагента и переохлаждения (процесс 2'–3);

2 этап – нагрев воды до температуры 50–55 °С за счет тепловой энергии, отводимой при охлаждении горячего газа хладагента до температуры конденсации (процесс 2–2').

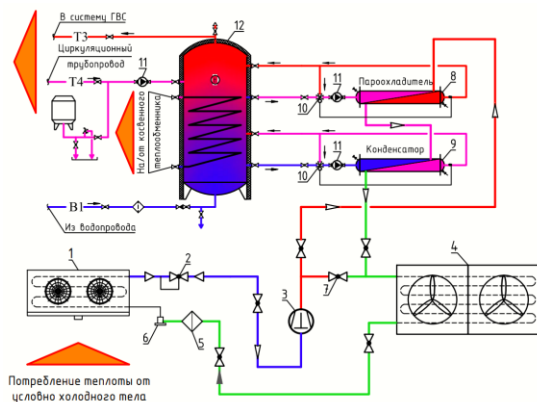


Рис. 4. Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины с пароохладителем и конденсатором для полной рекуперации теплоты:
 1 – испаритель; 2 – регулятор давления испарения; 3 – компрессор; 4 – воздушный конденсатор; 5 – фильтр; 6 – терморегулирующий вентиль (ТРВ); 7 – байпасный кран для ТО теплообменников; 8 – кожухотрубный пароохладитель; 9 – кожухотрубный конденсатор; 10 – трехходовой термостатический клапан; 11 – циркуляционный насос; 12 – накопительная емкость

На рис. 2 видно, что энтальпия частичной рекуперации составляет около 15–20 % от полной рекуперации. В связи с этим, реализация схемы полной

рекуперации является более энергетически целесообразной и позволяет получать больший объем воды с более высокой температурой, но не всегда находит практическое применение при небольших расходах энергии только для нужд ГВС. Поэтому схемы с полной рекуперацией целесообразны при использовании полученной тепловой энергии для нагрева ГВС круглогодично и для отопления через контуры теплого пола, теплоснабжения приточных установок и воздушно тепловых завес в отопительный период. При использовании рекуперативной тепловой энергии в системах вентиляции нужно уделять особое внимание подбору теплообменников в приточных установках. При недостаточной мощности в расчетный период они могут использоваться в качестве теплообменников первого (предварительного) подогрева.

При проектировании систем рекуперации важными являются меры по защите холодильного оборудования от неправильного режима работы.

При отсутствии регулирующего органа высока вероятность переохлаждения хладагента до температуры ниже, чем требуется для его испарения при определенном давлении. В таком случае в автоматике холодильной машины сработает защита по низкому давлению испарения (кипения).

На рис. 5 показано как установка трехходового термостатического клапана обеспечивает поддержание температуры теплоносителя, выходящего из теплообменника (датчик TE2), тем самым ограничивая избыточный теплосъем и переохлаждение хладагента (датчик TE4).

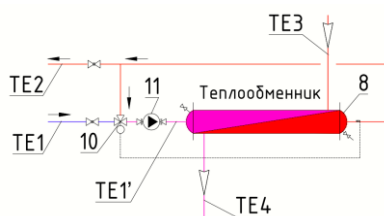


Рис. 5. Принципиальная схема автоматического регулирования:
 8 – теплообменник; 10 – трехходовой термостатический клапан;
 11 – циркуляционный насос

Регулирование происходит плавно благодаря постоянному потоку, поддерживаемому циркуляционным насосом (11) и смешению необходимого объема холодной воды (датчик TE1) и горячей воды (датчик TE2) до результирующей температуры (датчик TE1'). Данная схема позволяет под-

держивать постоянный перепад температуры между нагреваемой и греющей средой ($\Delta T = TE2 - TE4$), а также исключает влияние потребления теплоты от режима работы холодильной машины и расход хладагента.

Энергетическая эффективность холодильных машин с полной рекуперации энергии T.E.R. (Total Energy Recovery) есть отношение суммы холодопроизводительности и теплопроизводительности к полной затраченной мощности в расчетном режиме эксплуатации.

$$T.E.R. = E.E.R + C.O.P. = Q_o / N_e + Q_c / N_e ,$$

где E.E.R. (Energy Efficiency Ratio) – коэффициент энергетической эффективности – отношение холодопроизводительности машины к полной затраченной мощности в расчетном режиме эксплуатации; C.O.P. (Coefficient of Performance) – коэффициент производительности холодильной машины в режиме теплового насоса – это отношение теплопроизводительности к полной затраченной мощности в расчетном режиме эксплуатации; Q_o – мощности холодопроизводительности; Q_c – мощность теплопроизводительности; N_e – мощность электрической энергии.

Экономическая эффективность рекуперации теплоты от холодильного оборудования определяется путем сопоставления затрат на ее реализацию и последующую эксплуатацию с доходами от сэкономленных средств на ТЭР. Следует отметить, что рекуперация теплоты от холодильного оборудования в некоторых случаях относится к импортозамещающим мероприятиям и сокращает зависимость от роста цен на энергоносители. Сокращение потребления энергии через снижение выбросов парниковых газов при производстве тепловой энергии имеет и положительный **экологический эффект**.

Выводы

1. Применение рекуперации теплоты от холодильного оборудования имеет огромную экономическую выгоду, относящуюся к энергосберегающим мероприятиям, снижает зависимость от роста цен на энергоносители.

2. Перечень объектов, на которых может применяться одновременное охлаждение и нагрев довольно широкий:

- молочно-товарные фермы, на которых для хранения молока применяется его охлаждение в специальных емкостях;
- мясокомбинаты, на которых используется охлаждение и глубокая заморозка мясных продуктов;
- овощехранилища, и продовольственные магазины, где применяются холодильные камеры и витрины для хранения продуктов;
- фармацевтические производства;

– строительство офисных и многофункциональных зданий с повышенным комфортом, где применение одновременного кондиционирования и нагрева воды для ГВС является экономически целесообразным.

3. Положительный экологический эффект.

Литература

1. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинев: Главная редакция Молдавской советской энциклопедии, 1989.

2. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / П. И. Дячек. – М: АСВ, 2017.

3. Кокорин, О. Я. Установки кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин. – М: Машиностроение, 1978.

УДК 620.97

Мониторинг эффективности систем рекуперация от холодильного оборудования.

Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрены методы оценки эффективности принятых технических решений по рекуперации теплоты с помощью цифрового мониторинга и системного анализа исторических данных, накопленных в ходе процесса эксплуатации.

В соответствии с определением в Законе Республики Беларусь от 8 января 2015 г. № 239-З «Об энергосбережении», **энергетическая эффективность** (энергоэффективность) – характеристика, отражающая отношение полученного эффекта от использования топливно-энергетических ресурсов к затратам топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), произведенным в целях получения такого эффекта [1].

Эффективное и рациональное использование ТЭР является стратегической задачей для достижения целей «устойчивого развития» (задача 12.6) [2]. Область знаний об энергетической эффективности находится на стыке физико-математических, технических и экономических наук.

Использование энергосберегающих решений и оборудования на этапе проектирования должно подтверждаться технико-экономическим обоснованием инвестиций в комплекс мероприятий по энергосбережению. ТЭО должно включать качественный и количественный расчет капитальных за-

трат, эксплуатационных расходов на обслуживание системы за весь срок эксплуатации, потенциальные выгоды и экономию от внедренной технологии в виде сэкономленных средств на ТЭР и снижения затрат.

Исследования по рекуперации низкотемпературной теплоты от холодильного оборудования проводятся на протяжении последних 40 лет. Большинство работ описывают проектирование, предварительный экономический анализ и способы внедрения систем рекуперации.

В этой статье рассматривается инструмент качественной и количественной оценки эффективности от внедренной системы. Мониторинг здесь является широким понятием, не является закрытой концепцией и зависит от конфигурации системы рекуперации в каждом конкретном случае. Как правило, у систем мониторинга есть ряд общих характеристик: наблюдение и анализ в режиме реального времени, система оповещения об авариях, графическая визуализация, отчеты, история, прогнозирование, уровни пользователей.

В качестве примера цифрового мониторинга предлагается рассмотреть решение «GreenHVAC» разработанное компанией «Экоинжиниринг-строй», включающее в себя базу для накопления исторических данных, панель для отображения текущего состояния системы, графики изменения температуры, расхода тепловой, электрической энергии, расхода воды на ГВС в течении дня, месяца, года. Вход в онлайн режиме доступен по ссылке: energy.greenhvac.tech. Логин для входа: demo. Пароль: f#h8YHVVQu.

На объекте мониторинга отображена принципиальная схема полной рекуперации теплоты от парокомпрессионной холодильной машины с двумя последовательно установленными кожухотрубными теплообменными аппаратами (пароохладитель в качестве первой ступени и конденсатор) (рис. 1).

Для накопления энергии применяется три накопительные емкости общим объемом 2,5 м³ подключенные последовательно по ходу движения холодной воды. На ней же отмечены расположение датчиков температуры первичных преобразователей расхода.

Мониторинг эффективности, включает в себя:

- наблюдение за изменением температуры воды, подаваемой в систему ГВС (датчик ТЕ3) в зависимости от времени суток и режима работы холодильной машины;

- анализ распределения тепловой энергии, накапливаемой в тепло-аккумуляторах в утренние и вечерние пики, в дневные и ночные провалы, путем сравнения значений температуры по датчикам, расположенным в нижней, средней и верхней части накопительных емкостей (датчик ТЕ4, ТЕ5, ТЕ6, ТЕ7);

- контроль режима работы холодильной машины посредством датчиков температуры TE8, TE9, TE10;
- контроль потребления электрической энергии, расходуемой на работу холодильной машины и тепловой энергии отдаваемой из системы рекуперации в систему ГВС здания, в том числе с пересчетом в денежный эквивалент по действующему тарифу;
- прогноз потребления тепловой энергии из тепловой сети необходимой для нагрева воды на нужды ГВС через пластинчатый теплообменник (п. 10), используемый в качестве второй ступени.

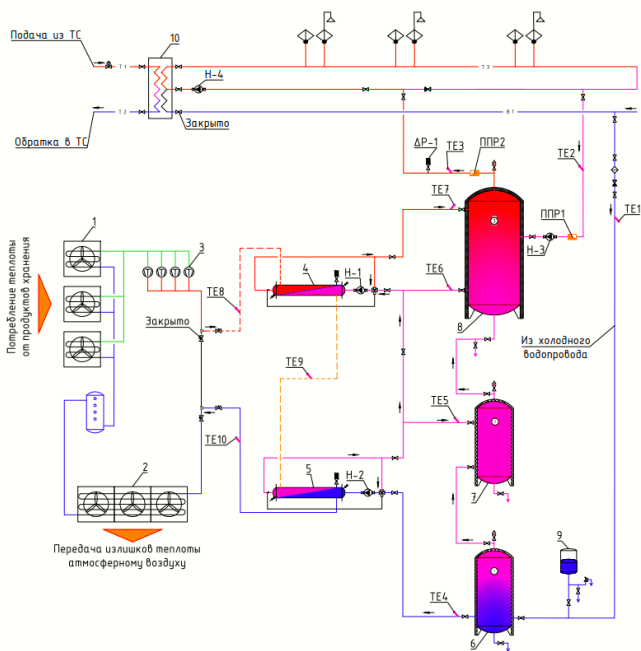


Рис. 1. Принципиальная схема полной рекуперации теплоты от парокомпрессионной холодильной машины:

1 – испаритель; 2 – воздушный конденсатор; 3 – компрессор; 4 – кожухотрубный пароохладитель; 5 – кожухотрубный конденсатор; 6–8 – накопительная емкость (теплоаккумулятор); 9 – расширительный бак; 10 – пластинчатый теплообменник

На рис. 2 приведен график изменения показаний, зафиксированных с температурных датчиков в течении суток.

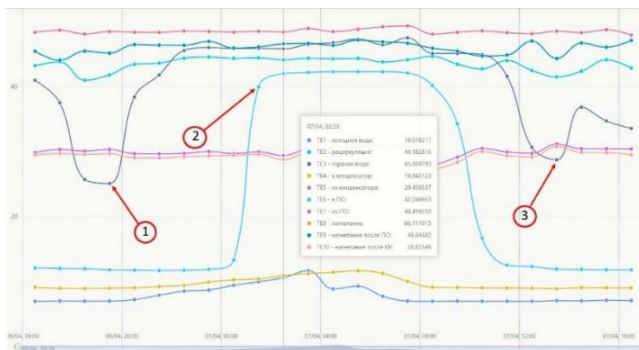


Рис. 2. График изменения температуры теплоносителя в течении суток

На данном графике видно, как в промежутке между 18 и 20 часами температура воды, подаваемой в систему ГВС (датчик TE3, обозначен как процесс 1) опускается ниже 28 °C. Далее температура ГВС увеличивается до значения 45 °C, промежуток с 20 часов до 12 часов следующего дня. Одновременно мы можем наблюдать, как в ночное время происходит повышение температуры в средней части накопительной емкости, в промежутке с 2-х часов ночи до 8 утра, до температуры выше чем 42°C, что свидетельствует о том, что в данной системе объема теплоаккумулятора не достаточно для накопления всей тепловой энергии, поступающей в парохладитель и отводимой теплоносителю за счет охлаждения паров до температуры конденсации (датчик TE6, обозначен как процесс 2). Далее в дневное время, в промежутке с 12 до 2 часов дня видно, как снова происходит уменьшение температуры воды, подаваемой в систему ГВС ниже 30 °C (датчик TE3, обозначен как процесс 3).

Полученные данные с датчиков температуры сопоставляются с данными об объемном расходе холодной воды и тепловой энергией, расходуемой на ее нагрев для нужд ГВС в часы максимального и минимального водопотребления.

На рис. 3 приведена столбчатая диаграмма, на которой видно, что расход холодной воды для системы ГВС в течение суток неравномерный.

В ночное время потребление уменьшается, а в утреннее и вечернее время резко увеличивается. Почасовой объемный расход холодной воды $V_{хв}$, (м³) фиксируется с помощью первичных преобразователей расхода теплового счетчика и вычисляется по следующей формуле

$$V_{хв} = ППР2 - ППР1 ,$$

где ППР2 – расход через первичный преобразователь расхода горячей воды после системы рекуперации; ППР1 – расход через первичный преобразователь расхода циркуляционной линии системы ГВС.

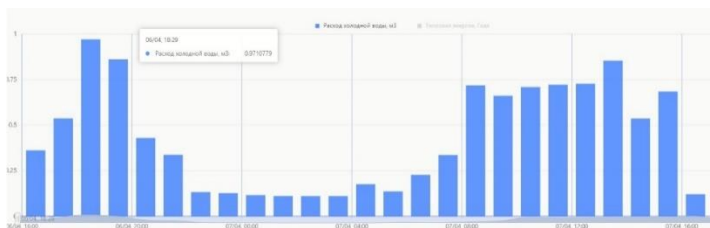


Рис. 3. Диаграмма расхода холодной воды в течении суток

На рис. 4 приведена столбчатая диаграмма расхода тепловой энергии по часам в течение суток, расходуемой на нагрев холодной воды и циркуляционного трубопровода.

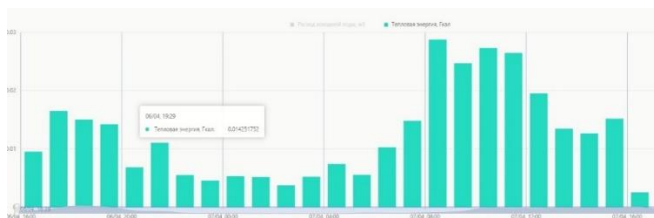


Рис. 4. Диаграмма расхода тепловой энергии полученной от системы рекуперации теплоты в течении суток

Показания снимаются с теплового счетчика ТЭМ-104М и фиксируются в базе данных. Тепловой счетчик работает по схеме учета «ГВС + циркуляция» с соответствующей формулой расчета энергии. Значение часового расхода тепловой энергии вычисляется путем вычитания показаний накопленной энергии в начале предыдущего часа из показаний в начале каждого нового часа.

Анализируя данные расхода холодной воды, тепловой энергии на ее нагрев и потребление электрической энергии холодильной машиной приходим к выводу, что значение расхода воды и тепловой энергии сопоставимы в начале дня, так как в ночное время произошло ее накопление в теплоаккумуляторе. Но анализируя значения потребления электрической энергии холодильной машины и расходуемой тепловой энергии на нагрев воды для

нужд ГВС в течении дня, становится понятным, что накопление тепловой энергии происходит не эффективно, о чем свидетельствуют перегрев теплоаккумуляторов в ночное время и уменьшение температуры горячей воды в часы максимального водопотребления.

На рис. 5 видно, что количество затраченной электрической энергии в ночное время перекрывает значение потребленной теплоты системой ГВС. В часы максимального водопотребления наоборот, количество теплоты необходимой для нагрева воды в разы больше, чем количество потребленной электрической энергии, умноженное на коэффициент теплопроизводительности в режиме теплового насоса. Что свидетельствует о превышении потребности в теплоте для ГВС над производительностью системы в данный момент.

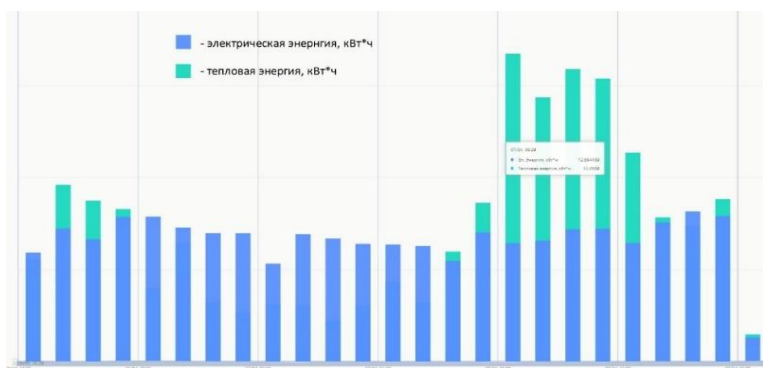


Рис. 5. Диаграмма потребления электрической энергии холодильной машиной и тепловой энергии полученной от системы рекуперации для нужд ГВС в течение суток

Анализируя график изменения температуры в разных частях теплоаккумуляторов, делаем вывод, что потенциал системы рекуперации теплоты от холодильного оборудования на данном объекте используется не в полном объеме. На данном объекте это было обусловлено техническими ограничениями в наличии места для установки дополнительных накопительных емкостей.

На рис. 6 наглядно показан потенциал тепловой энергии, которая могла бы накапливаться в теплоаккумуляторах для дальнейшего использования на нужды ГВС в часы максимального водопотребления.

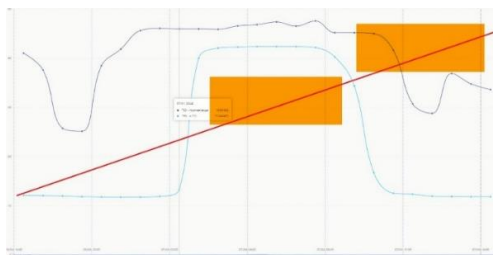


Рис. 6. График изменения температуры теплоносителя в течение суток

Важно отметить, что на момент написания данной статьи Законодательством Республики Беларусь не предусмотрен коммерческий учет тепловой энергии, полученной путем рекуперации теплоты от холодильного оборудования.

Выводы

1. Мониторинг эффективности систем рекуперация от холодильного оборудования является математической моделью обосновывающей инвестиции в энергосберегающие технологии, поэтому требует законодательской инициативы для коммерческого учета тепловой энергии полученной из вторичных энергетических ресурсов.

2. Критерии оценки эффективности требуют единой стандартизации и являются первым шагом в переходе к построению децентрализованных систем теплоснабжения, источником теплоты в которых являются системы рекуперации от холодильного оборудования и тепловые насосы.

3. Применение автоматизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с функцией цифрового мониторинга и элементами искусственного интеллекта позволяют контролировать работу системы в целом, накапливать архив данных, с помощью которого можно проводить текущий анализ эффективности работы. А также составлять прогнозы, моделировать мероприятия по улучшению эксплуатации системы, замены запасных частей, окончания срока службы оборудования, срока окупаемости систем рекуперации, прогнозировать прибыль от внедрения энергосберегающих технологий.

Литература

1. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 8 января 2015 г. № 239-З [Электронный ресурс] // Эталон-Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

2. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda. – <https://sdgs.un.org/goals>.

УДК 697.1

Особенности расчета теплопотерь зданий в программе Autodesk Revit

Борухова Л. В., Летун Е. А., Сокол Д. Ю.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведено исследование возможностей технологий ВЕМ и ВПС в расчетах теплопотерь. Приведены сравнительные результаты расчетов теплопотерь с помощью Autodesk Revit и нормативной методике

Расчет теплопотерь является важным этапом в проектировании зданий, так как он позволяет принять оптимальные технические решения, связанные с системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Важно отметить, что расчет теплопотерь необходим не только на этапе проектирования, но и при проведении реконструкции и модернизации зданий.

Расчет теплопотерь здания является трудоемким процессом, который требует точного учета таких факторов, как геометрические и теплотехнические характеристики каждой ограждающей конструкций здания.

Выполнение расчета теплопотерь без использования специальных программных инструментов может занять значительное количество времени, а полученные результаты могут быть неточными и не соответствовать действительности в следствии различных ошибок.

Для решения этих проблем возможно использование технологии информационного моделирования зданий (Building Information Modelling – BIM), моделирования энергопотребления зданий (Building Energy Modelling – BEM) и симуляции энергопотребления зданий (Building Performance Simulation – BPS), которые позволяют выполнить расчет теплопотерь более точно и эффективно.

BIM – процесс создания цифровой модели здания, которая содержит всю необходимую информацию об объекте, включая геометрию, материалы, конструкцию, функциональные характеристики, а также информацию об энергетической производительности и управлении зданием.

BEM – процесс создания математической модели здания с использованием специальных программных инструментов. BEM позволяет анализировать и оп-

тимизировать энергопотребление здания и прогнозировать энергетическую эффективность здания. BEM используется для расчета теплотерь, нагрузок на системы охлаждения, отопления, вентиляции, освещения и компонентов, влияющих на энергопотребление здания.

BPS – это комплексный подход к анализу и оценке энергоэффективности зданий, использующий программные средства и математические модели. BPS используется для моделирования тепловых потоков, воздухообмена и электрических нагрузок в зданиях, а также для определения наиболее эффективных путей улучшения их энергетической эффективности.

С помощью BIM и BEM можно создать детальную трехмерную модель здания. А BPS позволяет смоделировать процесс теплообмена в здании, учитывая тепловые потоки через стены, окна, двери и другие элементы конструкции здания. Полученные результаты расчета с использованием BIM, BEM и BPS более точны и соответствуют реальным условиям эксплуатации здания.

BIM, BEM и BPS широко используются в строительной отрасли и инженерном проектировании для повышения эффективности и точности проектирования, а также для оптимизации эксплуатации зданий и систем управления ими. Эти технологии активно распространяются в различных странах мира, в том числе в Беларуси и России, где активно развивается отрасль BIM-технологий [1].

Для улучшения теплоизоляции и энергоэффективности здания университета проведен анализ тепловых потерь здания с помощью программы Autodesk Revit и предложены мероприятия по повышению энергоэффективности [2].

Для коммерческого здания, расположенного в ОАЭ, проведен анализ нагрузки на охлаждение, исследовано влияние и потенциал использования фотоэлектрических фасадных систем с помощью Autodesk Revit и Autodesk Green Building Studio [3].

Проведено сравнение энергопотребления офисного здания в результате изменения сценариев его использования и внедрения различных улучшений. Для моделирования здания использовалась программа Autodesk Revit, а для анализа энергопотребления – EnergyPlus и Autodesk Green Building Studio [4].

Разработана модель для оценки энергетической эффективности зданий на основе регрессионного подхода с использованием инструментов BIM и статистических методов для здания учебного центра в Китае [5].

Анализ энергопотребления выполнен для здания общественной библиотеки, используя для моделирования здания программу Autodesk Revit, а для анализа энергопотребления – EnergyPlus и Autodesk Green Building Studio [6].

Расчетные программы являются инструментом, который может значительно увеличить качество и скорость проектирования и расчетов энергоэффективности. Однако, важно понимать, что результаты, полученные с помощью этих программ, могут содержать неточности, связанные с различием нормативных документов и методик, а также человеческим фактором.

Поэтому необходимо оценивать данные, выдаваемые расчетными программами, на соответствие нормативным требованиям, а также проводить сравнительный анализ с результатами других программ и экспериментальными данными. Это поможет увеличить объективность полученных результатов и снизить вероятность ошибок при принятии решений на основе этих данных.

Вследствие чего сравнение результатов расчетов различных программ друг с другом и с нормативной базой является актуальной задачей.

Наиболее распространенным программным комплексом для реализации ВМ на территории Беларуси является Autodesk Revit. В нем же присутствует инструментарий для реализации ВЕМ в виде модуля EnergyPlus.

Цель работы – сравнить результаты расчетов энергопотребления здания, полученных с помощью модуля EnergyPlus в составе программы Autodesk Revit, с результатами, полученными с использованием устоявшейся методики расчета. Это позволит оценить точность расчетов программы и ее применимость в практических условиях.

Методики расчета теплопотерь по нормативным требованиям Республики Беларусь имеют некоторые отличия от аналогичных за рубежом. В Беларуси расчет теплопотерь регламентирован приложением Д [7], которое устанавливает методику расчета потерь теплоты через ограждающие конструкции.

В данной работе проведено исследование квартиры типового этажа многоквартирного жилого дома, расположенного в городе Минск. Расчетная температура для жилых помещений принимается равной $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, для угловых помещений $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, для ванн и совмещенных санузлов $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Принятые теплотехнические характеристики ограждающих конструкций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Принятые теплотехнические характеристики ограждающих конструкций

Ограждающая конструкция	Принятое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
Наружная стена	3,2
Окно	1
Балконная дверь	1
Внутренняя стена	1

Для выполнения расчета энергопотребления в Autodesk Revit была создана трехмерная модель квартиры и ее аналитическая модель энергопотребления (рис. 1).

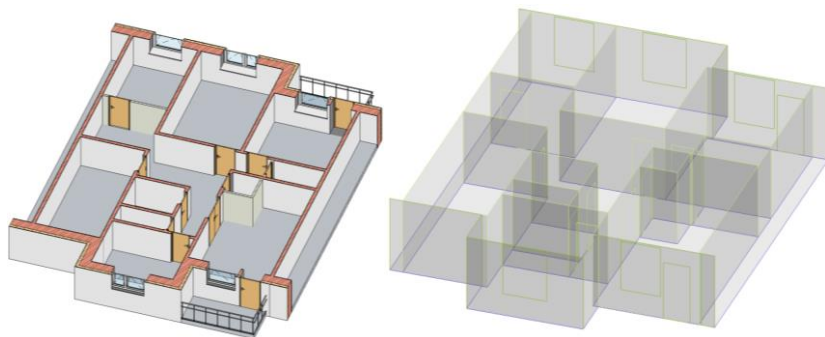


Рис. 1. Трехмерная и аналитическая модели расчетной квартиры

В соответствии с приложением Д [7] расчет теплопотерь выполняется по формуле

$$Q = A \cdot (t_p - t_{ext}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n / R_T,$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, m^2 ; t_p – расчетная температура воздуха в помещении, $^{\circ}C$, с учетом повышения ее в зависимости от высоты помещения для помещения высотой более 4 м; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции или температура воздуха более холодного помещения при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь, учитывающих влияние ориентации фасада и других факторов; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; R_T – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$.

Данные, полученные в результате расчета двумя способами, приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что потери теплоты, полученные по методикам расчета в Autodesk Revit, отличаются от потерь теплоты, рассчитанных по нормативной методике для различных помещений от 8,4 % до 59,7 %, что в целом по квартире составляет 26,7 %.

Таблица 2

Сравнение теплотерь, полученных по нормативной методике и рассчитанных в программе Autodesk Revit

№ пом.	Наименование помещения	Теплотери рассчитанные по нормативной методике, Вт	Теплотери рассчитанные в Revit, Вт	Расхождение, %
1	Жилая комната	201	156	22,4
2	Жилая комната	367	276	24,8
3	Жилая комната	269	205	23,8
4	Жилая комната	323	296	8,4
5	Кухня	486	317	34,8
6	Ванная	134	54	59,7
Итого:		1780	1304	26,7

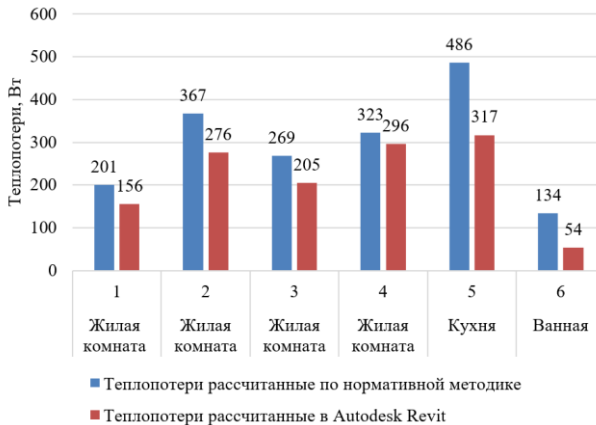


Рис. 2. Сравнение теплотерь полученных по нормативной методике и рассчитанных в программе Autodesk Revit

Полученные расхождения результатов являются следствием следующих факторов:

- аналитические поверхности стен в Autodesk Revit строятся по их середине в отличие от нормативной методике, где необходимо вычислять площадь по наружным граням ограждающей конструкции;
- в расчете потерь теплоты в Autodesk Revit не учитываются добавочные потери теплоты, определяемые коэффициентом β ;
- в расчете теплотерь в Autodesk Revit перетоки теплоты между помещениями учитываются при любой разности температур.

Следует отметить, что модуль EnergyPlus является открытой расчетной программой, в связи с этим возможна корректировка метода расчета с целью приведения его к требованиям нормативных документов.

Использование BIM-технологий для анализа энергоэффективности зданий может помочь проектировщикам и заказчиком в оптимизации конструкции здания и выборе наиболее эффективных технологий и инженерных систем. Энергетические расчеты, выполненные в расчетных программах, позволяют получить данные энергопотребления для любого отрезка времени года (день, неделя, месяц, квартал). Расчет выполняется автоматически, что исключает случайные ошибки.

Однако, несмотря на эти преимущества существует ряд сложностей:

- необходимость проверки на соответствие нормативной методике расчета и корректировка настроек программы в случае расхождений;
- необходимость наличия или создания качественной 3D-модели;
- необходимость наличия программного обеспечения;
- необходимость наличия навыков и соответствующей квалификации;
- возможно возникновение ошибок в процессе обмена данными между программами для моделирования и анализа.

Помимо рассмотренного модуля EnergyPlus в составе Autodesk Revit, существует ряд других программных комплексов для выполнения энергетического анализа зданий таких как: Autodesk Green Building Studio, Hourly Analysis Program, DesignBuilder, ClimateStudio for Rhinoceros, IDA Indoor Climate and Energy, Bentley Hevacomp, IES VE, Graphisoft EcoDesigner STAR, Sankom Audytor OZC, eQuest и др.

По результатам исследования можно сделать вывод, что при использовании технологий BEM и BPS для расчета потерь теплоты необходимо анализировать методику и корректировать с учетом требований нормативной документации.

Литература

1. Васильева, М. С. Энергомоделирование как современная основа повышения энергоэффективности зданий / М. С. Васильева, М. Д. Терех // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 85–92.

2. Raaid, R. J. A. D. Opportunity of Improving the Thermal Performance of a High-performance University Building Based on Revit Software / R. J. A. D. Raaid, S. Thamer, K. I. Thamir // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2020. – Vol. 43 – P. 497–513.

3. Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system / T. Salameh [et al.] // Solar Energy. – 2020. – Vol. 199 – P. 617–629.

4. Investigation of Energy Saving Using Building Information Modeling for Building Energy Performance in Office Building / H. Fitriani [et al.] // Civil Engineering and Architecture. – 2022. – Vol. 10, № 4. – P. 1280–1292.

5. Implementation of BIM Energy Analysis and Monte Carlo Simulation for Estimating Building Energy Performance Based on Regression Approach: A Case Study / F. Tahmasebinia [et al.] // Buildings. – 2022. – Vol. 12, № 4. – P. 449.

6. Gao, X. Research on Building Energy Consumption Based on BIM / X. Gao, Y. Wu, Y. Li // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 474, № 7. – P. 072022.

7. СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2019–12–16. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 68 с.

УДК 697.9 +51-74

Анализ возможностей применения топологической оптимизации в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции

Борухова Л. В., Летун Е. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведено исследование методов и возможностей топологической оптимизации. Приведены результаты исследований в области применения топологической оптимизации в элементах систем отопления и вентиляции

Топологическая оптимизация является относительно новой методологией в инженерной оптимизации. Первые работы, связанные с применением топологической оптимизации в проектировании конструкций, появились в 1980-е годы.

Следующий важный шаг в развитии топологической оптимизации был сделан в 1990-х годах, когда методы оптимизации были введены для управления геометрией и топологией конструкций. Это позволило исследователям использовать более сложные и точные модели конструкций и применять для решения более широкого спектра задач.

В 1993 году был предложен метод эволюционной оптимизации [1], позволяющий достичь оптимальной формы с помощью обучения программного обеспечения следовать определенному эволюционному пути.

В дальнейшем, с появлением новых материалов и технологий, в том числе аддитивного производства, топологическая оптимизация стала получать все большее распространение и использоваться в самых разных областях, включая автомобильную промышленность, авиацию, микроэлектронику, медицинскую технику, энергетику и др.

Сегодня топологическая оптимизация продолжает развиваться и совершенствоваться, появляются новые методы и алгоритмы, которые позволяют получать более точные и эффективные результаты.

Существует ряд различных методов топологической оптимизации, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Чтобы выбрать оптимальный метод для решения конкретной задачи, необходимо иметь информацию о всех доступных методах. Также необходимо учитывать характеристики конкретной задачи, размерность пространства, количество ограничений, необходимую точность, доступность ресурсов и т. д.

Метод эволюционной оптимизации конструкции (Evolutionary Structural Optimization – ESO) использует эволюционный алгоритм для изменения топологии структуры. Путем удаления наиболее нагруженных элементов и замещения их наиболее легкими элементами, создается новая топология, которая оптимизирует жесткость и массу структуры. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будут достигнуты целевые значения оптимизируемых параметров.

Метод двунаправленной эволюционной оптимизации конструкции (Bi-directional Evolutionary Structural Optimization – BESO) работает похожим образом, но использует двунаправленный эволюционный алгоритм. BESO обычно считается более эффективным, чем ESO.

Метод пенализации для твердого изотропного тела (Solid Isotropic Material with Penalization – SIMP) является одним из наиболее популярных методов топологической оптимизации. В методе SIMP каждый элемент структуры имеет плотность, которая может изменяться от 0 до 1. Если плотность элемента близка к 0, это означает, что элемент находится в отключенном состоянии, а если плотность близка к 1, элемент находится в активном состоянии. Чем выше плотность элемента, тем больше его жесткость и тем меньше деформации при нагрузке.

Основным преимуществом метода SIMP является его простота и эффективность. Он может быть легко реализован в виде программного обеспечения и может работать с различными типами ограничений и условий задач.

Метод множества уровней (Level Set Method – LSM) представляет кривую или поверхность в неявном виде, приняв ее в качестве нулевого уровня многомерной функции, а затем изучает деформацию этой введенной функции.

Преимуществом LSM является то, что он может легко учитывать сложные геометрические формы и не требует аналитического описания поверхности дизайна. Однако его недостатком является сложность вычислений.

В методе движущихся асимптот (Method of Moving Asymptotes – MMA) строится функция асимптотически эквивалентная к исходной и оптимизируется вместо исходной, что существенно ускоряет сходимость метода.

Также существует ряд как принципиально других, так и комбинаций либо улучшений, приведенных выше методов: ESO-SIMP (комбинация методов ESO и SIMP), GCMMA (Globally Convergent Method of Moving Asymptotes), SNOPT (Sparse Nonlinear OPTimizer) и IPOPT (Interior Point OPTimizer), Guide-Weight Method, eXtended Finite Element Method (XFEM), CutFEM Method, PolyTop Method, The Bound Optimization BY Quadratic Approximation (BOBYQA).

Топологическая оптимизация для решения задач гидродинамики и теплообмена может быть применена для улучшения конструкции элементов систем отопления и вентиляции.

Для теплообменных аппаратов топологическая оптимизация позволяет интенсифицировать теплообмен и минимизировать гидравлическое сопротивление. Это достигается путем изменения формы каналов, либо оптимизации количества и расположения интенсифицирующих теплообмен устройств, с целью увеличения площади теплообменной поверхности и повышения эффективности передачи теплоты.

Широкое применение топологическая оптимизация нашла в проектировании радиаторов охлаждения элементов микроэлектроники. Это связано с тем, что в микроэлектронике очень важно обеспечить оптимальное тепловое распределение, чтобы избежать перегрева и повреждения элементов.

В результате топологической оптимизации радиаторов, расположенных непосредственно на источнике тепла, получают геометрические формы, представленные на рис. 1 [2].

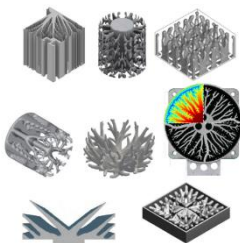


Рис. 1. Геометрические формы радиаторов охлаждения элементов микроэлектроники, полученные с помощью топологической оптимизации

Другим вариантом охлаждения элементов микроэлектроники является использование промежуточного охлаждения. Промежуточным теплоносителем является вода или гликолевая смесь.

Топологическая оптимизация в таком случае используется для оптимизации формы и расположение каналов устройств съема тепла и радиаторов. Результаты топологической оптимизации таких устройств приведены на рис. 2 [3; 4].

Топологическая оптимизация проточных частей (коллекторов, каналов) позволяет находить наиболее оптимальные геометрические характеристики, учитывая требуемые параметры (минимальное/заданное сопротивление потоку, минимальный вес). Результаты приведены на рис. 3 [5].

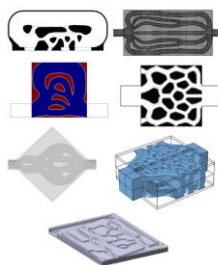


Рис. 2. Результаты топологической оптимизации теплообменных устройств, используемых для охлаждения микроэлектроники



Рис. 3. Результаты топологической оптимизации геометрических характеристик проточных частей

Рассматривается возможность применения топологической оптимизации для оптимизации формы воздуховодов [6]. Результаты оптимизации приведены на рис. 4. Одной из задач при проектировании воздуховодов является минимизация потерь давления в системе. Это достигается за счет оптимизации формы воздуховодов, что позволяет снизить потери давления и уровень аэродинамического шума.

С помощью топологической оптимизации возможна оптимизация барьеров для глушения шума в помещениях [7].

Топологическая оптимизация позволяет создавать оптимальные конструкции, учитывая требования к жесткости, прочности, эффективности теплообмена, гидравлической производительности, уровню шума и другим характеристикам. Соответственно, возможно широкое применения топологической оптимизации для ряда элементов систем отопления и вентиляции.

Наиболее эффективное использование топологической оптимизации в системах отопления и вентиляции возможно в следующих конструктивных элементах:

- в теплообменниках для оптимизации формы каналов и их расположения;
- в увлажнителях для оптимизации формы отверстий и элементов, направляющих поток;

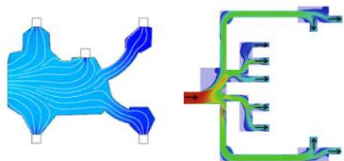


Рис. 4. Результаты топологической оптимизации геометрических характеристик воздуховодов

– в воздухораспределителях систем вентиляции и кондиционирования воздуха для оптимизации потерь давления, равномерности распределения воздуха по сечению воздухораспределителя, эжекции окружающего воздуха;

- в клапанах для оптимизации формы диска либо проточных частей;
- в отопительных приборах для оптимизации поверхности теплообмена;
- в фасонных изделиях трубопроводов и воздуховодов для оптимизации проточных частей;
- в устройствах глушения шума для оптимизации структуры шумопоглощающего материала;
- в коллекторах, разветвляющих устройствах для оптимизации проточных частей.

Литература

1. Xie, Y. M. A simple evolutionary procedure for structural optimization / Y. M. Xie, G. P. Steven // Computers & Structures. – 1993. – Vol. 49, № 5. – P. 885–896.

2. Investment casting and experimental testing of heat sinks designed by topology optimization / T. Lei [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2018. – Vol. 127 – P. 396–412.

3. Zhou, T. Study of the Performance of a Novel Radiator with Three Inlets and One Outlet Based on Topology Optimization / T. Zhou, B. Chen, H. Liu // Micromachines. – 2021. – Vol. 12, № 6. – P. 594.

4. Concurrent optimization of the internal flow channel, inlets, and outlets in forced convection heat sinks / J. Zhao [et al.] // Struct Multidisc Optim. – 2021. – Vol. 63, № 1. – P. 121–136.

5. Othmer, C. Implementation of a Continuous Adjoint for Topology Optimization of Ducted Flows / C. Othmer, E. de Villiers, H. Weller // 18th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference 18th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference. – Miami: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007.

6. Manuel, M. C. E. Optimal duct layout for HVAC using topology optimization / M. C. E. Manuel, P. T. Lin, M. Chang // Science and Technology for the Built Environment. – 2018. – Vol. 24, № 3. – P. 212–219.

7. Dühring, M. B. Acoustic design by topology optimization / M. B. Dühring, J. S. Jensen, O. Sigmund // Journal of Sound and Vibration. – 2008. – Vol. 317, № 3–5. – P. 557–575.

УДК 697.3.4

Теплопередача через ограждающие конструкции тоннельных сооружений метрополитенов

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

¹ Белорусский национальный технический университет,

² ОАО «Минскметропроект»

Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены основные понятия и уравнения теплопередачи через ограждающие конструкции тоннельных сооружений. Способы определения теплофизических характеристик грунтов и ограждающих конструкций, коэффициента теплоотдачи, определения температуры грунтов и определение постоянного теплового потока в грунт из тоннельных сооружений.

При работе метрополитена тепло, выделяемое в тоннелях, ассимилируется вентиляционным воздухом и частично поступает через ограждающие конструкции тоннелей в окружающий грунт. Теплопередача в грунты происходит при нестационарном режиме, так как температурное поле грунтов

меняется во времени. Не стационарность теплового процесса обуславливается изменением теплосодержания ограждающих конструкций тоннеля и грунтов при изменении их температуры во времени и всегда связана с процессом нагрева или охлаждения.

Если в тоннеле появятся тепловыделения, то сразу же, между воздухом тоннеля и ограждающими его конструкциями, и грунтом возникнет процесс теплопередачи, сопровождающийся прогревом конструкции тоннеля и грунтов. Сначала будут нагреваться поверхностные слои, но постепенно процесс прогрева распространится в глубь грунта. Естественно, что при постоянной величине тепловыделений в тоннеле, а, следовательно, постоянном тепловом потоке, увеличение прогретой толщи грунта и его теплосодержания влечет за собой непрерывное повышение температуры воздуха в тоннеле. И наоборот, если стремиться поддерживать постоянной температуру воздуха в тоннеле, то в связи с увеличением во времени прогреваемой толщи грунта возникает необходимость соответствующего снижения во времени теплового потока в грунты и вследствие этого снижения тепловыделений в тоннелях.

Различают три вида теплопередачи, имеющие место также и в тоннелях метрополитена: излучение, конвекцию и теплопроводность (кондукцию). В соответствии с законом Стефана-Больцмана [7] количество тепла Q , излучаемого с 1 м^2 поверхности тела в течение 1 ч , определяется по формуле

$$Q = C_0 \left[\frac{T}{100} \right]^4, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч},$$

для случая, когда одна поверхность со всех сторон окружена другой поверхностью, не имеющей входящих углов (2)

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left[\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0} \right]} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1, \text{ кал/ч},$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты излучения поверхностей, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{К}/100)^4$; $C_0 = 4,96$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot (\text{К}/100)^4$; F_1 и F_2 – значения поверхностей взаимно облучаемых тел, м^2 ; T_1 и T_2 – абсолютные температуры взаимно облучаемых поверхностей, К .

В тоннелях метрополитена теплопередача излучением происходит от более нагретых поверхностей периодически проходящего по тоннелю подвижного состава, расположенного в тоннелях оборудования, приборов

освещения, кабельных линий и других источников тепловыделений, расположенных на поверхности ограждающих конструкций тоннелей, и составляет незначительную величину (примерно 3–5 % суммарного теплового потока).

В тоннелях метрополитена теплопередача на поверхности ограждающих конструкций тоннелей от нагретого тепловыделениями воздуха осуществляется в основном конвекцией, составляющей примерно 95–97 % общего теплового потока на эти поверхности.

Количество тепла, передаваемого при конвективном теплообмене между жидкостью или газом и поверхностью твердого тела, определяется по формуле [7]

$$Q = \alpha_k F(t_{B1} - t_{II}), \text{ ккал/ч,}$$

где F – поверхность твердого тела, м^2 ; t_{B1} – температура жидкости или газа, $^{\circ}\text{C}$; t_{II} – средняя по площади температура данной поверхности, $^{\circ}\text{C}$; α_k – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи конвекцией, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Однако в теплотехнических расчетах с целью упрощения задачи принимается, что распространение тепла происходит только по законам теплопроводности. В тоннелях этим законам (при условии отсутствия движения грунтовых вод) подчиняется теплопередача от внутренней поверхности ограждающих их конструкций вглубь толщи грунта и обратно в процессе охлаждения прогретой толщи.

Можно получить дифференциальное уравнение теплопроводности для одномерного движения тепла, т. е. только в направлении одной из осей координат.

Интегрируя дифференциальное уравнение можно решить задачи, связанные с передачей тепла теплопроводностью при предварительном установлении крайних условий процессов. Краевые условия разделяются на временные и пространственные. Временные состоят в задании распределения температуры для момента времени $z = 0$. Пространственные крайние условия относятся к поверхностям, ограничивающим данную среду. Они разделяются на три рода. Краевое поверхностное условие I рода (наиболее простое и редко встречающееся) состоит в задании распределения температуры на поверхности, ограничивающей данную среду, и ее изменения во времени.

Краевое поверхностное условие II рода состоит в задании величины теплового потока через поверхность, ограничивающую данную среду, и его изменения во времени. Краевое поверхностное условие III рода состоит в за-

дании температуры среды (воздух или жидкость), окружающей поверхность, и законов теплообмена между поверхностью, окружающей средой и потоком тепла внутри тела. Искомой величиной является величина теплового потока. Это крайнее условие наиболее распространено в практике и является самым сложным при аналитическом решении задачи теплопередачи.

При стационарном тепловом режиме температурная кривая внутри стенки переходит в постоянную прямую с постоянным углом наклона в направлении потока тепла. Если выделить внутри такой стенки бесконечно тонкий слой толщиной dx , в котором соблюдается постоянная во времени разница температур dt , что соответствует стационарному тепловому потоку Q (проходящему через 1 м^2 этого слоя в течение 1 ч), который согласно закону Фурье, выражается в виде

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dx}.$$

Отношение dt/dx называется градиентом температуры ($^{\circ}\text{C}/\text{м}$). Знак минус в правой части уравнения означает, что движение тепла происходит в направлении понижения температуры.

Для цилиндрической кольцевой стенки величина Q определяется по формуле

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr},$$

где dr – бесконечно тонкий кольцевой слой с радиусом r .

Теплофизическая характеристика грунтов и ограждающих конструкций тоннелей.

Точность расчетов теплопередачи в значительной степени зависит от правильного определения теплофизических характеристик грунтов, окружающих тоннели, и их ограждающих конструкций.

Плотность γ – это масса 1 м^3 материала ($\text{кг}/\text{м}^3$ или $\text{т}/\text{м}^3$). Удельный вес $\gamma_{\text{уд}}$ – это отношение веса объема частиц материала к массе такого же объема воды.

Пористость материала P – это отношение объема пор в материале к объему всего материала. Плотность P_1 материала является обратной величиной пористости. Она характеризует степень заполнения материала веществом. Влажность характеризуется наличием в материале свободной (химически несвязанной) воды. Теплопроводность – это способность материала в той

или иной степени проводить тепло. Теплоемкость – это свойство материалов поглощать тепло при повышении температуры. Температуропроводность материала, характеризуемая коэффициентом температуропроводности a , показывает поведение материала при прохождении через него потока тепла при нестационарном режиме, т. е. с какой скоростью происходит передача температуры от одной плоскости к другой или ее выравнивание.

Определение температуры грунтов. Для обеспечения наибольшей точности при теплотехнических расчетах теплопередачи в грунт следует пользоваться данными температуры грунтов, полученными на основании многолетних натуральных измерений. Амплитуда колебаний температуры грунтов на глубину до 4 м от поверхности для всех периодов года хорошо изучена на основании длительных наблюдений во многих городах СНГ [7].

Амплитуда годового колебания температуры поверхности земли A_0 , зависящая главным образом от климата составленной Ю. И. Кулжинским [5].

Отношение амплитуды колебания температуры на поверхности земли A_0 к амплитуде колебания температуры грунта A на глубине H , т. е. затухание амплитуды колебания температур при проникновении тепловой волны в массив грунта приближенно может быть определено по формуле

$$\frac{A_0}{A_H} = e^{H \sqrt{\frac{\pi \gamma c}{\lambda z}}},$$

где e – основание натуральных логарифмов ($e = 2,72$); H – глубина рассматриваемой точки от поверхности земли, м; γ , c и λ – соответственно плотность (кг/м^3), теплоемкость (ккал/кг) и коэффициент теплопроводности грунта ($\text{ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$); z – годовой период колебания температур ($z = 8760$), ч.

Формула является приближенной.

Определение коэффициента теплоотдачи. Коэффициент пропорциональности α , называемый коэффициентом теплоотдачи (тепловосприятости), характеризует условия сложного теплообмена, проходящего между жидкостью или газом и поверхностью твердого тела.

Принимая для шахтных стволов (без учета степени шероховатости их стенок) отношение l/d в пределах 30–200 и $(1/d_3)^{-0,054} = 0,8/0,77$ (в среднем 0,8), после преобразования формулы А. Ф. Воропаев [1] получил формулу для определения коэффициента теплоотдачи

$$\alpha = 3,3 \frac{V_0^{0,8}}{d_3^{0,2}}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C},$$

где v_0 – средняя скорость движения воздуха, м/с; d_s – эквивалентный диаметр ствола, м.

В метростроении отношение l/d чаще встречается в пределах 50–400.

На основании проведенных в последнее время исследований установлено значительное влияние шероховатости на увеличение коэффициента теплоотдачи.

Для практических расчетов из этой зависимости получена формула [7]:

$$\alpha = 2 \frac{\varepsilon_c v_0^{0.8} \gamma_{BO}^{0.8} P^{0.2}}{F^{0.2}}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C},$$

где ε_c – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности; γ_{BO} – плотность воздуха, кг/м³; P – периметр тоннеля, обтекаемого воздухом, м; F – площадь сечения тоннеля, м².

Формула рекомендуется для определения коэффициента теплоотдачи, α в тоннелях метрополитена. Преобразовывая ее относительно d_s , получим

$$\alpha = \frac{2,64 \varepsilon_c (\gamma_{BO} v_0)^{0.8}}{d_s^{0.2}}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}.$$

Определение постоянного теплового потока в грунт из тоннельных сооружений. Процесс нагревания и охлаждения конструкции тоннеля и грунта с физико-математической точки зрения можно рассматривать как нагревание и охлаждение при нестационарном тепловом режиме неограниченного по длине полого цилиндра, имеющего неограниченную по толщине стенку. Этот процесс подчиняется дифференциальным уравнениям теплопроводности Фурье, аналитическое решение которых является сложной математической задачей, приводящей к громоздким для практического применения формулам. С целью упрощения инженерных расчетов на практике применяются формулы, точность которых уступает строгим математическим решениям, но лежит в пределах точности, удовлетворяющей практическим требованиям. Эти формулы, как правило, представляют собой аналитические решения дифференциальных уравнений, в которые внесены упрощающие предпосылки. Такие формулы, рекомендуемые для определения теплопередачи в грунт при нестационарном тепловом режиме и постоянном тепловом потоке, известны в технической литературе. К их числу относятся формулы О. Е. Власова, С. И. Наумова, Б. А. Казанцева, Ю. И. Кулжинского, Ниссоле, К. Д. Смирнова, С. С. Вялова, А. Н. Щербаня, А. Ф. Воропаева, Б. Ф. Щкурко, Л. Р. Ингерсолл, М. Рубинэ и др. Все эти формулы исходят из начальных условий конвективного теплообмена, при котором температуры воздуха t_b , внутренней поверхности стенки t_c и грунта t_p равны между собой.

Так как при стационарном режиме количество тепла, переданного воздухом внутренней стенке, равно количеству тепла, прошедшего через стенку и переданного наружной стенке и равно количеству тепла, переданного внешней среде, то величину Q , приходящуюся на 1 м длины цилиндра, можно выразить в виде

$$\frac{Q}{l_1} = q_l = \alpha_1 \pi d_1 (t_{B1}'' - t_{C1}''), \text{ ккал/ч} \cdot \text{м},$$

$$\frac{Q}{l_1} = q_l = \frac{2\pi\lambda(t_{C1}'' - t_{C1}')}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \text{ ккал/ч} \cdot \text{м},$$

$$\frac{Q}{l_1} = q_l = \alpha_2 \pi d_2 (t_{C2}' - t_{B2}''), \text{ ккал/ч} \cdot \text{м},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты пропорциональности (называемые коэффициентами теплоотдачи), характеризующие условия сложного теплообмена, проходящего между жидкостью или газом и поверхностью твердого тела, т. е. между средами с разными агрегатными состояниями.

Тепловой поток для всей поверхности площадью F примет вид

$$Q_{sp} = F \frac{t_{B1}'' - t_{sp}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{d}{2\lambda} \ln \left(1 + \frac{2e_p}{d} \right)}, \text{ ккал/ч}.$$

Тогда количество тепла $Q_{гр}$ поступающего в грунт через всю заданную поверхность теплопередачи, выразится в виде

$$Q_{sp} = FK_z (\sigma_{B1}'' - t_{sp}), \text{ ккал/ч}.$$

Вышеперечисленные методы определения теплопередачи через ограждающие конструкции метрополитена сводятся к простым уравнениям для стационарных процессов. Что уменьшает точность результатов, так как процесс теплопереноса через ограждающие конструкции метрополитена не стационарен процессом, на который влияет наружные атмосферные факторы, движение грунтовых вод, изменение теплофизических характеристик грунтов и ограждающих конструкций в связи с изменением их влажности и температуры в течение года.

Литература

1. Воропаев, А. Ф. Тепловая депрессия шахтной вентиляции / А. Ф. Воропаев. – Москва: АН СССР, 1950. – 282 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев. – М.: Госэнергиздат, 1949. – 396 с.
3. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов издание второе, переработанное и дополненное / В. Я. Цодиков. – М.: Недра, 1975. – 568 с.
4. Мачинский В. Д. Теплопередача в строительстве / В. Д. Мачинский. – М.: Госстройиздат, 1938. – 294 с.
5. Франчук, А. У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М.: Стройиздат, 1949. – 186 с.
6. Ингерсолл Л. Р. Теплопроводность, ее применение в технике и геологии / Л. Р. Ингерсолл, О. Зобель, А. К. Ингерсолл. – М.: Машгиз, 1959. – 260 с.
7. Смухнин, П. Н. Курс отопления и вентиляции / П. Н. Смухнин, Ю. И. Кулжинский, С. И. Пейсахович. – М.: ВИА им. В. В. Куйбышева, 1961. – 542 с.

УДК 697.3.4

Аналитические исследования процесса охлаждения и разогрева цементобетонных покрытий и теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей при их укладке

Сизов В. Д., Кононов Д. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены процессы охлаждения и разогрева цементобетонных покрытий. Произведена теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей при их укладке.

В соответствии с технологическим регламентом [3] в условиях производства работ при строительстве Минской кольцевой автодороги необходимо было укладывать монолитное покрытие из тяжелого бетона методом сращивания двух слоев – бетон нижнего слоя (толщиной 0,18 м) и бетон верхнего слоя (толщиной 0,06 м) в соответствии с [2].

В переходный период года бетонное покрытие может охлаждаться от начальной температуры 20 °С до 0 °С, а в летнее время бетонное покрытие может разогреваться от температуры 20 °С до 30 °С в облачную погоду, а с учетом солнечной инсоляции температура поверхности может достигать и больших значений.

Для анализа температурных градиентов при указанных тепловых воздействиях необходимо в первую очередь определить время выравнивания

температур, в массиве покрытия, учитывая заданные начальные и граничные условия, принимая массив покрытия, как полуограниченное тело или неограниченную пластину.

Для этой цели используем метод [4], для решения соответствующей задачи.

В первом случае при $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{к}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ решение принимает следующий вид [4]:

1) параметр температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi \cdot (1-\eta)}{Bi+1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin} \left[v_n \cdot (1-\eta) \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo) \right],$$

где
$$A_n = \frac{2Bi}{\text{Sin } v_n \cdot (v_n^2 + Bi^2 + Bi)};$$

2) параметр средней температуры:

$$\frac{t-t_0}{\vartheta-t_0} = \frac{Bi}{2 \cdot (Bi+1)} - \sum_{n=1}^{\infty} Bn \cdot \exp(-v_n^2 \cdot Fo), \quad (1)$$

где
$$Bn = \frac{A_n}{v_n} \cdot (1 - \text{Cos } v_n),$$

3) аргументы:
$$Fo = \frac{\alpha \tau}{h^2}; Bi = \frac{\alpha \cdot h}{\lambda}; \eta = \frac{x}{h}.$$

Для расчета цементобетонного покрытия принимаем следующие теплофизические характеристики материала: коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,69 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 25,0 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, плотность $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, теплоемкость $C = 0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, толщина слоя покрытия $x = 0,24 \text{ м}$, температуропроводность:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \frac{1,69}{2500 \cdot 0,84} = 0,0029 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Исходные аргументы вычисляются на основании исходных данных и начальных условий.

Критерий Fo :
$$Fo = \frac{\alpha \tau}{x^2} \quad \text{для} \quad \tau = 1 \text{ час:}$$

$$Fo = \frac{0,0029 \cdot 1}{0,24^2} = 0,05; \quad Bi = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda} = \frac{25 \cdot 0,24}{1,69} = 3,55.$$

По графикам [6] определяем относительную температуру поверхности, и средняя температура массива определяется по соотношению

$$\bar{t} = t_0 + \bar{\theta} \cdot (\vartheta - t_0).$$

По полученным результатам вычислений можно построить графические зависимости $t_n, \bar{t} = f(\tau)$ (рис. 1).

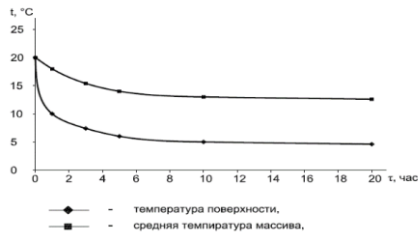


Рис. 1. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

Во втором случае при $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{кон}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ решение аналогично задаче при охлаждении массива, т. е. можно использовать рассчитанные ранее значения аргументов Fo и Bi .

По результатам вычислений можно построить график $t = f(\tau)$ (рис. 2).

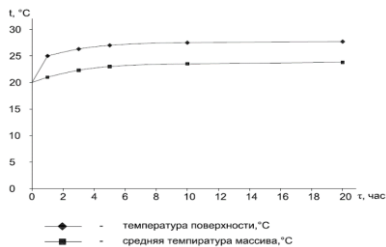


Рис. 2. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

В третьем случае при наличии солнечной радиации в летний период с максимальной интенсивностью для г. Минска в июле [5] $q_r = 662 \text{ Вт/м}^2$ на горизонтальную поверхность расчетные формулы имеют вид.

Начальные и граничные условия

$$t_{\tau=0} = t_0; \quad \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=\infty} = \theta - \lambda \cdot \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = S; \quad \text{аргументы } Fo = \frac{\alpha \tau}{x^2}.$$

Расчетные формулы: $t = t_0 + \theta \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda};$

средняя температура: $\bar{t} = t_0 + \theta \cdot \frac{S \cdot x}{\lambda};$

теплофизические характеристики принимаются такие же, как в предыдущих расчетах, температура поверхности массива определяется по выражению [4]

$$t = t_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{S \cdot \sqrt{\tau}}{\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}}. \quad (2)$$

По полученным расчетным данным можно построить графические зависимости $t = f(\tau)$ при максимальном $q_{\text{рад}}$ (рис. 3).

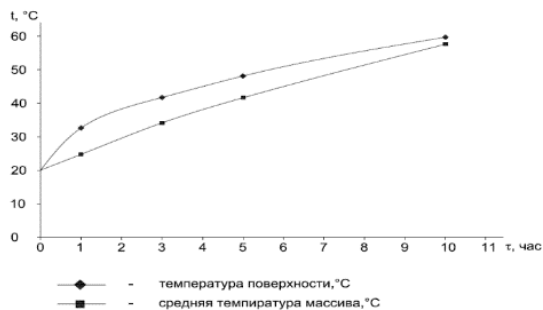


Рис. 3. График зависимости $t = f(\tau)$ для температуры поверхности и средней температуры массива

Полученные графики показывают, что время выравнивания температуры в массиве покрытия составляет примерно 10–20 часов. Для уточнения полученных значений температур в определяющих точках в различные про-

межутки времени была разработана компьютерная программа решения указанной задачи охлаждения, уточнены полученные ранее результаты, а также учтено влияние солнечной радиации на температуру поверхности и окружающей среды, т. е. при усредненной наружной температуре при наиболее неблагоприятных условиях, когда $t_{\text{нач}}$ при охлаждении принимается равной $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По данным расчета на рис. 4 представлены графики зависимости соответствующих температур от времени охлаждения массива, изменения средней температуры массива в различных точках. Как известно, одним из видов деформаций цементобетонных покрытий при их эксплуатации является появление трещин при снижении температуры цементобетонных покрытий, т. е. трещиностойчивость, которая проявляется при возникновении внутренних температурных напряжений в массиве при данных видах воздействий. Основным критерием, определяющим трещиностойчивость, является скорость охлаждения Ψ – критическая величина которой, например для асфальтобетона, составляет $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, и при ее превышении асфальт начинает растрескиваться [6].

Расчетную скорость охлаждения дорожных покрытий можно определить по формуле

$$\Psi = \frac{t' - t''}{\tau' - \tau''}, \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}. \quad (3)$$

Для определения скорости охлаждения воспользуемся графиками рис. 4. Скорости охлаждения цементобетонного покрытия $\delta = 0,24\text{ мм}$ с $t_{\text{нач}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{кон}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

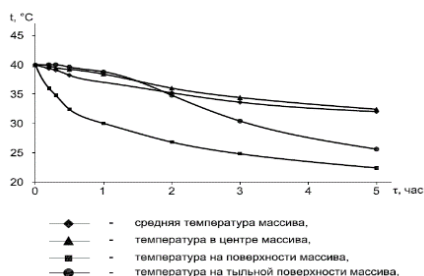


Рис. 4. График зависимости $t = f(\tau)$ для температур массива

По полученным результатам построены зависимости скорости охлаждения в различных точках и при средней температуре массива, которые представлены на рис. 5.

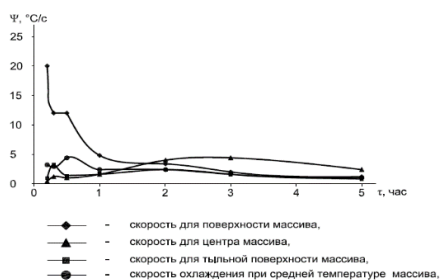


Рис. 5. График зависимости $\Psi = f(\tau)$ для скоростей охлаждения массива в различных точках и при средней температуре массива

Результаты расчетов и графики показывают, что максимальная скорость охлаждения цементобетонного покрытия составляет 20 °C/час и осредненные значения по массиву в целом около 2,0 °C/час, что несколько превышает критическую скорость охлаждения асфальтобетонного покрытия, но вполне удовлетворяет критическим нормам при нагреве монолитных железобетонных конструкций, принимаемых равными $\approx 15\text{--}8$ °C/час [1].

Литература

1. Марцинкевич, В. Л. Энергосберегающие технологии производства бетона / В. Л. Марцинкевич, А. С. Дыдышко. — Изд. 2-е, доп. и перераб. — Минск, 2006. — 283 с.
2. ТКП 45-3.03-88-2007(02250) Автомобильные дороги. Цементобетонные основания и покрытия.
3. Технологический регламент № 20/00.14.11 Устройство цементобетонного покрытия автомобильной дороги методом сращивания двух слоев бетона В35В04.4 комплексом SP 850 Wirtgen. Минск, 2015.
4. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел // А. И. Пехович, В. М. Жидких // Л.: Энергия, 1968. — 304 с.
5. Строительная климатология (Справ. Пособие к СНиП) / НИИ Строит. Физики. — М.: Стройиздат, 1990. — 86 с.
6. Солдаткин, М. Т. О скорости охлаждения дорожных асфальтобетонных покрытий / М. Т. Солдаткин, Я. И. Ковалев, В. Д. Акельев // В сб.: Отопление, вентиляция и строительная теплофизика. Вып.1. — Минск, 1971. — С. 52–56.

Тепловые режимы тоннелей и станций метрополитенов мелкого заложения в условиях умеренно континентального климата

Сизов В. Д.¹, Белениник О. И.², Кононов Д. А.¹
Белорусский национальный технический университет,
² ОАО «Минскметропроект»
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрено формирование температурного режима подземных сооружений метрополитена, основные системы и способы вентиляции тоннелей и станций метрополитена.

Основными источниками тепла на станциях метрополитенов являются: электропоезда; пассажиры; трансформаторы; отопление и вентиляция, горячее водоснабжение; освещение; электропривод эскалаторов.

Тепловой баланс всей станции метрополитена складывается из общего количества тепловых поступлений и тепловых потерь за рассматриваемый период эксплуатации. При этом учитываются только те тепловые потери станции, которые происходят в результате теплового потока из внутренних помещений в грунт. Отрицательное значение тепловых потерь со станции в грунт означает противоположное направление теплового потока, т. е. в этом случае происходят не тепловые потери со станции в грунт, а тепловые поступления из грунта на станцию.

Прогнозирование температурного режима подземных сооружений метрополитенов. Температура внутреннего воздуха в тоннелях и на станциях метрополитена зависит от температуры атмосферного воздуха и от глубины заложения подземного сооружения. Изменения температуры атмосферного воздуха влияют на воздушную среду метрополитенов при мелком заложении намного сильнее, чем при глубоком. Это обусловлено двумя факторами: малым аэродинамическим сопротивлением вентиляционных трактов, связывающих подземные выработки с атмосферой, и низкими теплоаккумулирующими возможностями массива окружающих грунтов.

Для нормального функционирования подземных сооружений в них должна обеспечиваться и сохраняться в течение всего времени эксплуатации требуемая температура внутреннего воздуха. Основное отличие подземного сооружения от его наземного аналога – характер теплообмена с окружающей средой. В наземных объектах такой средой является атмосферный воздух с температурой, изменяющейся по закону, близкому к гармоническому (с периодом сезонных изменений, равным 1 году). По тому же закону изменяются поля температур в наружных ограждениях.

В подземных сооружениях мелкого заложения окружающей средой является массив грунтовых пород с переменной температурой [1]. В связи с этим формирование в них заданных температур требует значительно большего времени, чем у аналогичных наземных объектов. Изменение температуры воздуха в подземном сооружении и температуры грунтовых пород носит выраженный нестационарный характер [2]. При этом если период формирования заданного теплового режима (предэксплуатационный) характеризуется четко выраженным неустановившимся режимом теплообмена, то большая часть эксплуатационного периода удовлетворительно описывается закономерностями, характерными для непериодического режима.

Направления и интенсивность тепловых потоков через ограждения подземных сооружений метрополитена непосредственно зависят от температуры окружающего грунта. На динамику изменения температур по глубине оказывает влияние сезонное изменение температуры наружного воздуха, в то же время колебания температуры наружного воздуха в течение суток не влияют на температурные поля в земле.

Выраженный нестационарный характер процессов теплового взаимодействия воздушной среды подземных сооружений с окружающим массивом грунта приводит к изменяющимся во времени условиям теплообмена и определяет необходимость осуществления непрерывного управления параметрами и системами регулирования теплового режима.

Основные способы вентиляции тоннелей. Вентиляция тоннелей метрополитена предусматривается для извлечения на поверхность выделяющихся в них вредностей (тепло, влага, пыль, газы и др.), а также поддержания в тоннелях заданных метеорологических условий и химического состава воздуха. Она может осуществляться с естественным и искусственным побуждением распределения воздуха.

При вентиляции с естественным побуждением воздух в тоннель поступает вследствие поршневого действия проходящих по тоннелям поездов и под действием гравитационных сил (вследствие разницы удельных весов наружного и внутреннего тоннельного воздуха). При вентиляции с искусственным побуждением воздух в тоннель или только подается, или только из него извлекается, или одновременно подается и извлекается принудительно (вентиляторами).

Для обеспечения основного принципа вентиляции сооружений метрополитена, заключающегося в поддержании в допустимых пределах параметров и состава воздуха, необходимо подавать чистый воздух к местам наибольшего скопления пассажиров и длительного пребывания обслуживающего персонала с последующим распределением воздуха по всем тоннелям. Обслуживающий персонал в основном находится на станциях и в при-

станционных сооружениях. Наибольшее скопление пассажиров также бывает на станциях (особенно на пересадочных станциях), потому чистый воздух следует подавать на станции и через перегон извлекать отработанный воздух.

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации (сохранение отделочных материалов, исключение возможности замораживания систем водопровода, водопровода и канализации) температура воздуха на станциях по существующим нормам [3] должна быть не менее $t_{ст.} \geq +5^{\circ} \text{C}$. Исходя из этого в климатических районах, где средняя температура самого холодного месяца $t_{х.м.} < 0^{\circ} \text{C}$, систему вентиляции следует сооружать реверсивной: в теплое время года воздух необходимо подавать на станцию и извлекать через перегон, а в холодное – на перегон и извлекать через станцию. В теплое время года на станции будет поддерживаться наиболее низкая температура, а в холодное время года воздух, поступающий на перегон, подогревается за счет тепла, выделяемого в тоннелях различным оборудованием, и на станцию поступает с наиболее высокой температурой.

Описание систем вентиляции тоннелей мелкого заложения. Системы вентиляции с естественным побуждением. В связи с незначительным напором ($10\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$), возникающим под влиянием поршневого действия поездов и гравитационных сил, системы вентиляции с естественным побуждением могут применяться только в тоннелях мелкого заложения. Ограниченный радиус действия таких систем вызывает необходимость расположения вентиляционных шахт на небольшом расстоянии между собой. В противном случае сопротивление движению вентилируемого воздуха будет превышать располагаемый напор, вследствие чего количество вентиляционного воздуха будет поступать меньше необходимого.

В таких системах вентиляционные шахты располагаются по всей длине перегона между станциями. Расстояние между шахтами должно быть в пределах $100\text{--}150 \text{ м}$. Наиболее рационально располагать вентиляционные шахты с примыканием к каждому путевому тоннелю в шахматном порядке. Однако условия поверхности не всегда позволяют так располагать шахты, что приводит к необходимости их расположения вдоль «красной» линии улиц с одной стороны какого-либо тоннеля или вдоль шоссе в средней его части (в нейтральной зоне). В этом случае допускается разделение параллельных путевых тоннелей колоннами или в крайнем случае средней перегородкой, имеющей проемы площадью не менее 60% площади перегородки. Однако такое расположение вентиляционных шахт резко снижает поршневое действие поездов, а, следовательно, и эффективность вентиляции. В зависимости от положения поезда на перегоне вентиляционные шахты работают или на приток, или на вытяжку.

Станции в этих системах оборудуются, как правило, реверсивной системой вентиляции с искусственным побуждением, подающей или удаляющей воздух в количестве, необходимом только для станции.

Для снижения амплитуды колебания давления воздуха на станциях с целью уменьшения явления «дутья» (сквозняки) через их входы и выходы на расстоянии 30–100 м от каждого торца станции в перегонных тоннелях, не имеющих между собой сплошных соединений (проемов), следует предусматривать соединение их между собой циркуляционными сбойками. При наличии таких сбоек значительная часть воздуха выталкивается проходящими поездами не на станцию, а в расположенный рядом перегонный тоннель, снижая объем воздуха, поступающего на станцию и вытягиваемого из нее поршневым действием движущихся поездов, в связи с чем уменьшается амплитуда колебания давления воздуха на станции и вследствие этого снижается «дутье» во входах и выходах.

Системы вентиляции с искусственным побуждением воздуха в умеренно континентальном климате применяются реверсивные. В реверсивных системах вентиляции наружный воздух для вентиляции тоннелей в теплый период года подается с поверхности через станционные вентиляционные шахты. Отработанный воздух удаляется из перегонных тоннелей через перегонные вентиляционные шахты или заменяющие их шахты, расположенные у станций. В холодный период года система вентиляции реверсируется, и наружный воздух подается на перегон, а вытягивается через станции. Такие системы вентиляции целесообразны для метрополитенов, расположенных в любых климатических районах. Они позволяют поддерживать на станциях в теплый период года наиболее низкую температуру, а в холодный – поступление на станцию теплого (подогретого на перегоне) наружного воздуха при меньшем его расходе (по сравнению с теплым периодом).

Вентиляция станций. При вентиляции с искусственным побуждением станции и перегонные тоннели проветриваются совместно. Поэтому на станции подается и вытягивается значительно большее количество воздуха, чем требуется.

Поршневым действием движущихся поездов вентиляционный воздух эффективно перемешивается с воздухом, выталкиваемым поездом с перегона, и продвигается вдоль путевых тоннелей станций.

На станциях колонного типа мелкого заложения средние тоннели (залы) также эффективно проветриваются за счет взаимного воздействия потоков воздуха в двух противоположных путевых тоннелях, создающих поперечные потоки воздуха в среднем тоннеле (зале). Воздух от станционных вентиляционных установок в теплый период года следует подавать сосредоточенно в два противоположных торца по ходу движения поезда. Выпуск воз-

духа осуществляется в путевые тоннели через решетчатые проемы, расположенные на уровне посадочных платформ. Так как вентиляционная установка расположена с одного торца станции под наклонным эскалаторным ходом или в вентиляционной камере шахты, воздух со стороны вентиляционной установки подается непосредственно в торец станции. В другой торец станции воздух подается по подплатформенному вентиляционному каналу, совмещенному с кабельным. Регулирование количества подаваемого воздуха в каждый торец станции осуществляется жалюзийными многостворчатыми клапанами.

Стоит отметить, что на станциях метрополитена довольно сложно подавать свежий воздух непосредственно в зону дыхания пассажиров. Основная масса пассажиров находится сравнительно далеко от жалюзийных решеток. Продольные же потоки воздуха, выталкиваемые поездом с перегона при входе на станцию, интенсивно перемешивают воздух перегона с воздухом, подаваемым из жалюзийных решеток, что в зону дыхания фактически поступает такая же смесь, как и при подаче воздуха в торец станции.

Опыт эксплуатации метрополитена показывает, что в вентиляционных каналах тоннельной вентиляции в значительном количестве осажается пыль, что вызывает необходимость ежегодной их промывки или прочистки. Поэтому основные магистральные вентиляционные каналы должны быть проходного сечения. Выпускные вертикальные каналы могут быть небольшого сечения, но должны располагаться так, чтобы они просматривались и их можно было очищать.

Выводы

Так как метрополитен является подземным сооружением, установление его температурных режимов значительно отличается от наземных зданий и носит нестационарный характер. Для комфортного пребывания на станциях пассажиров и работников метрополитена в холодный период необходимо время для прогрева станции, т. е. для прогрева массива грунта, окружающего ограждающие конструкции станции метрополитена.

Очень важным фактором является вентиляция воздуха метрополитенов, так как там нет инфильтрации. Необходимо удалять избыточную теплоту и вредности и подавать свежий воздух. Актуальной проблемой остается подача чистого воздуха в зону дыхания людей. Это сложная задача, которую на практике конструктивно выполнить не удастся.

Литература

1. Красовицкий, Б. А. Методика прогнозирования термовлажностных режимов подземных сооружений / Б. А. Красовицкий, Е. Ю. Куликова // Строительство подземных сооружений и шахт. – М.: Изд-во МГИ, 1992. – С. 11–22.
2. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди // пер. с венг. В. М. Беляева; под ред. В. И. Прохорова, А. Л. Наумова. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.
3. СП 3.03.04-2022 Метрополитены. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2022. – 95 с.
4. Красюк, А. М. Вентиляция метрополитенов / А. М. Красюк И. В. Лугин. – Сиб. отд. РАН, Новосибирск: Наука, 2019. – 316 с.
5. Цодиков, В. Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В. Я. Цодиков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 568 с.

УДК 628.5+504.5

Экологические проблемы добычи сланцевого газа

Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основании анализа литературных источников приведены основные этапы технологии добычи сланцевого газа и влияние его добычи на экологическое состояние окружающей среды.

Сланцевый газ (Shale Gas) – это природный газ, который добывается из сланцевых скважин, а именно из богатой газом горной породы – сланца.

Сланец – это весьма распространенная форма осадочной породы, которая встречается практически по всему миру. Данная порода формируется из песка, грязи, глины и других мелких частиц минералов, таких как кварц. Со временем данная смесь осаждается и сильно сжимается, образуя залежи сланца. Подобные пласты встречаются в породах палеозойского и мезозойского периода, что свидетельствует о их возрасте – в среднем от 500 до 700 миллионов лет. Помимо того, что в сланцах содержится природный газ, данная порода включает в себя целый набор полезных органических веществ, которые могут быть использованы людьми в различных целях. Довольно часто сланец используют в различных промышленных целях в качестве наполнителя для бетона или кирпича.

Как и при многих других методах добычи полезных ископаемых, технология добычи сланцевого газа состоит из нескольких важнейших этапов:

- разведка;
- бурение сети скважин;
- установка оборудования для сбора газа;
- создание гидравлических разрывов;
- сбор и сортировка полученных из скважин продуктов.

На этапе разведки проводится оценку рентабельности и других показателей, связанных с добычей и влиянием на экологию. Если экологические нормы соответствуют законодательству региона, начинается процесс бурения нескольких пробных скважин. Из них будут братья пробы на количество содержащегося в сланце газа.

Процесс бурения скважин при добыче сланцевого газа изрядно отличается от стандартного – «просто пробурить глубокую дырку в земле». Все дело в том, что в отличие от традиционного способа добычи газа из газовых залежей, со сланцевым газом такая схема не работает. Основным различием выступает тот фактор, что сланцевый газ не находится в условном «газовом пузыре под землей». Он содержится в крошечных порах сланцевого пласта, расположенного горизонтально под поверхностью. Таким образом, пробурив вертикальную скважину на определенную глубину ее уведят в горизонтальную плоскость и бурят дальше пока это необходимо. Таким образом, на участке добычи создаются несколько (возможно десятки) подобных скважин.

После процесса непосредственного бурения происходит герметизация скважин. Это необходимо для того, чтобы не допустить неконтролируемый выход газа и других химических материалов, связанных с добычей. Т. е. трубы изолируют различными герметичными уплотнителями, которые не пропускают газ на поверхность и устанавливают оборудование, которое будет принимать, сортировать и отправлять полученный продукт дальше по назначению.

Создание гидравлических разрывов – это самая уникальная часть процесса добычи сланцевого газа. Дело в том, что нужный газ содержится в «порах» пласта, и сам по себе он выходит естественно не собирается. Для того чтобы он начал выделяться, добытчикам необходимо разрушить структуру пласта и освободить запертый там газ. В этих целях, практически в самый конец трубы продвигается специальный пиротехнический заряд. Он выстреливает в нужном месте, создавая отверстия в трубе, и ломает структуру пласта, создавая в нем трещины. Поле этого в трубу под высоким давлением закачивается специальная смесь из воды и песка, которая собственно заполняет созданные трещины. Песок в свою очередь не дает трещинам сомкнуться обратно и отлично пропускает газ. Подобная процедура

при необходимости повторяется по всей горизонтальной плоскости скважины.

После манипуляций с гидравлическим разрывом, в трубы начинает поступать газ, вода и другие материалы, которые содержатся в недрах. На поверхности, специально установленные сортировальные установки разделяют газ и воду. Газ отправляется в специальные коллекторы, а вода в свою очередь поступает на переработку и снова используется для создания гидравлических разрывов.

Данный метод добычи сланцевого газа уже получил промышленное применение в США, однако он не лишен целого ряда недостатков. Во-первых, при гидроразрыве закачиваемая в пласты смесь воды с химикатами выкачивается обратно и, если на поверхности вдруг произойдет разлив химикатов, возникают экологические проблемы. Плюс смесь создает большую нагрузку на породную среду, что также может привести к загрязнению грунтовых вод химическими реагентами.

Противники создания гидравлического разрыва пласта – основного метода добычи сланцевого газа – критикуют его за появление в скважинной воде большого количества опасных для человека веществ, включая толуол, бензол, ксилолы и др. В местах применения РГП ситуация чуть ли не катастрофическая: люди чаще болеют, у животных выпадает шерсть, а воздухом становится сложнее дышать.

Еще одной проблемой является уже фактически доказанное повышение сейсмической активности в районах проведения гидроразрывов пласта, т. к. микровзрывы нарушают целостность горных пород, а закачка воды с целым набором химических соединений, песка и наполнителей, также негативно сказывается на целостности и устойчивости грунтов. Именно по этим причинам целый ряд стран законодательно запретил добычу сланцевого газа на своей территории.

Литература

1. Дмитриевский, А. Н. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья / А. Н. Дмитриевский, В. И. Высоцкий // Газовая промышленность. – 2010. – № 8.
2. Высоцкий, В. И. Перспективы освоения ресурсов сланцевого газа // Приложение к журналу «ТЭК. Стратегии развития». – 2010. – № 2.
3. Мустакимова, А. Г. Общие сведения о сланцевом газе / А. Г. Мустакимова // Молодой ученый. – 2016. – № 16 (120). – С. 452–454.

**Влияние рекламных баннеров
на температурный режим ледовых площадок**

Ливанский Д. Г.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ледовые площадки используются для проведения различных видов спорта, таких как хоккей, фигурное катание, конькобежный спорт и др. Для обеспечения необходимых условий проведения спортивных мероприятий, лед должен быть в оптимальном температурном режиме. Различные факторы могут влиять на температуру льда, одним из которых является наличие рекламных баннеров или логотипов команд на его поверхности.

Ледовые площадки являются важным местом для проведения различных спортивных соревнований использующих поверхность льда. Одним из важных параметров, влияющих на состояние льда, является его температура. В последнее время широко распространено применение в теле льда логотипов хоккейных команд и рекламных баннеров спонсоров, которые наносятся на промежуточные слои льда перед началом проведения соревнований различного уровня. По информации, опубликованной на сайте ИИХФ (Международная федерация хоккея с шайбой) [1], общая площадь стандартной ледовой поверхности для проведения международных соревнований по хоккею обычно составляет 1 800 квадратных метров. Суммарная площадь всех логотипов на ледовой арене во время Чемпионата мира по хоккею обычно зависит от требований организаторов мероприятия и спонсорских соглашений. Так, например, логотипы могут занимать от 5 до 50 % площади ледовой поверхности, в зависимости от их количества и размеров.

Логотип команды в теле льда может оказывать несколько эффектов на ледовый каток. Во-первых, логотип команды может стать визуальным элементом, который привлечет внимание зрителей на катке и телезрителей во время телевизионной трансляции, например, хоккейного матча. Это может повысить интерес к спортивной команде и спортивному мероприятию в целом. Во-вторых, логотип команды может влиять на эстетику ледового катка. Если логотип выполнен в ярких цветах и соответствует общему дизайну катка, то он может добавить яркости и энергии в общую атмосферу. Однако, если логотип не соответствует дизайну катка, то он может создать впечатление нарушения гармонии и испортить общее впечатление. В-третьих, логотип команды может стать символом для болельщиков и зрителей. Если команда является популярной и имеет фанатскую базу, то логотип может

стать элементом идентификации и своего рода «брендом» для команды и ее болельщиков. Наконец, логотип команды может использоваться для финансирования спортивной команды или мероприятий, связанных с ней, таких как матчи или турниры. В этом случае, логотип является необходимым элементом организации мероприятия и может иметь позитивный эффект на привлечение новых участников и зрителей.

В свою очередь рекламные баннеры могут оказывать влияние и на температурный режим ледового поля. Баннеры представляют собой листы с нанесенными на них цветными рисунками или надписями, которые обычно выполняются из бумаги, полиэтиленовой или поливинилхлоридной пленки. В случае, если логотип выполнен из материала, который плохо проводит тепло, то это может привести к небольшому увеличению температуры на поверхности льда над логотипом и как результат ухудшить качество льда в зоне расположения логотипа или рекламного баннера.

Рекламный баннер располагают на ледовой площадке в теле льда на расстоянии примерно 20 мм от поверхности бетонной плиты (рис.).

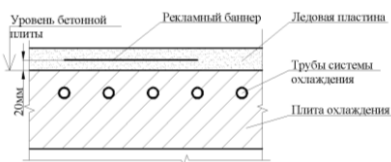


Рис. Разрез ледового поля и бетонной плиты охлаждения с размещенным рекламным баннером внутри льда

Площадь логотипов команд на ледовом катке может значительно различаться в зависимости от конкретных требований. Обычно размер логотипа зависит от размеров ледовой арены, на которой будет играть команда. Например, для профессиональных лиг, таких как Национальная хоккейная лига (NHL), минимальный размер логотипа для центральной зоны на льду составляет 10 футов или 3,05 м в диаметре, а для зон угловых бортов – 4 фута или 1,22 м в диаметре. В то же время, в любительских лигах и на маленьких ледовых аренах размеры логотипов могут быть значительно меньше. Важно отметить, что в различных странах и регионах могут быть свои требования и нормативы к размерам логотипов на ледовых аренах.

Литература

1. Правила ИИХФ по строительству и эксплуатации катков [Электронный ресурс] // Спортивное чтение: спорт. электрон. б-ка. – Режим доступа:

http://sportfiction.ru/upload/iblock/df7/d7258bb3_ae1d_4da0_9a21_da5bf4b06c73.pdf. – Дата доступа: 10.12.2018.

УДК 621.644.074

Инновации в трубопроводах систем отопления

Мацукевич К. А., Гриб С. А., Кузнецова А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Существует множество новых технологий и материалов для трубопроводов в системах отопления. Некоторые из них были описаны в последних научных статьях и публикациях.

Одной из новинок является использование труб из композитных материалов. Эти трубы изготавливаются из стекловолокна, арамидных волокон, карбона и других материалов. Они имеют высокую прочность и жесткость, а также могут выдерживать высокие температуры и давления. Кроме того, они легкие и коррозионно-стойкие, что делает их привлекательными для использования в системах отопления.

Еще одной новой технологией является использование труб с покрытием из полимерных материалов. Это позволяет уменьшить трение внутри труб и увеличить эффективность теплообмена. Полимерное покрытие также защищает трубы от коррозии и уменьшает вероятность образования накипи.

Другая новинка – это трубы с микроканалами. Они имеют небольшие каналы внутри себя, которые повышают поверхность теплообмена и позволяют более эффективно передавать тепло. Такие трубы могут использоваться в системах отопления, где необходимо высокое качество теплообмена, например, в системах инфракрасного отопления.

Еще одна новинка – это трубы с памятью формы. Они способны изменять свою форму при изменении температуры, что позволяет им адаптироваться к изменениям температуры в системе отопления. Такие трубы могут быть полезными в системах с высокой динамикой температурных изменений, например, в системах теплого пола.

Наконец, одной из последних новинок в отоплении являются трубы с встроенными сенсорами. Они могут быть использованы для измерения температуры, давления и других параметров в системе отопления. Это позволяет более точно контролировать процесс отопления и уменьшать расходы на энергию.

В целом, новые технологии и материалы для трубопроводов в системах отопления открывают новые возможности для более эффективного и экономичного использования энергии. Например, использование труб из композитных материалов может значительно снизить затраты на замену трубопроводов и увеличить их срок службы, что в свою очередь позволит снизить общие затраты на эксплуатацию системы отопления.

Кроме того, стоит отметить, что на рынке также есть новые технологии для управления и мониторинга систем отопления, которые помогают повысить эффективность и надежность работы системы. Например, системы автоматической регулировки температуры, управляемые смартфонами или компьютерами, могут значительно сократить расходы на отопление, обеспечивая более точный контроль за тепловыми процессами.

В заключение, развитие технологий и материалов для трубопроводов в системах отопления является важным шагом в направлении создания более эффективных и экологичных систем отопления. Они позволяют сократить расходы на энергию, уменьшить вредное воздействие на окружающую среду и улучшить качество жизни людей.

Кроме того, новые технологии и материалы для трубопроводов в системах отопления позволяют более точно контролировать температуру в разных зонах помещения. Например, системы зонного отопления, использующие трубы с микроканалами позволяют разграничить отопление в разных зонах, что способствует сокращению расходов на отопление и улучшению комфортных условий внутри помещения.

Некоторые новые материалы для трубопроводов в системах отопления также обладают антибактериальными свойствами, что позволяет снизить риск развития болезней и инфекций внутри помещений.

Также существуют новые технологии для установки трубопроводов в системах отопления, которые позволяют сократить время и затраты на их установку и обслуживание. Например, технологии безотходной установки труб и установка труб методом горизонтального бурения позволяют избежать разрушения покрытия на месте установки, сократить количество отходов и снизить затраты на транспортировку и утилизацию отходов.

В целом, новые технологии и материалы для трубопроводов в системах отопления представляют огромный потенциал для улучшения качества жизни людей, а также снижения негативного воздействия на окружающую среду. Однако, перед внедрением новых технологий и материалов, необходимо учитывать их экономическую эффективность, техническую реализуемость и соответствие нормам безопасности. Для выбора оптимальной системы отопления с использованием новых технологий и материалов для

трубопроводов, следует учитывать такие факторы, как географическое расположение, климатические условия, тип и характеристики помещения, бюджет и другие факторы.

Например, в регионах с холодным климатом наиболее эффективной может оказаться система отопления с использованием тепловых насосов, в которой трубопроводы выполнены из материалов с высокой теплопроводностью. В зонах с более теплым климатом можно использовать трубопроводы из менее теплопроводных материалов.

Важным фактором также является техническая реализуемость выбранной системы отопления. Некоторые новые технологии могут требовать специальных навыков и оборудования для установки и обслуживания, что может увеличить затраты на и использование.

Наконец, необходимо учитывать и соответствие новых технологий и материалов нормам безопасности. Для трубопроводов в системах отопления, в частности, могут быть установлены определенные требования по сопротивлению коррозии и долговечности, что также должно быть учтено при выборе оптимальной системы отопления.

В целом, новые технологии и материалы для трубопроводов в системах отопления представляют огромный потенциал для улучшения качества жизни людей и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Однако, выбор оптимальной системы отопления должен быть основан на комплексном анализе всех факторов и учитывать экономическую эффективность, техническую реализуемость и соответствие нормам безопасности.

Кроме того, стоит отметить, что использование новых технологий и материалов для трубопроводов в системах отопления также может способствовать повышению энергоэффективности и экономии ресурсов.

Например, использование трубопроводов с высокой теплопроводностью может снизить потребление энергии на обогрев помещения, а использование систем отопления на основе тепловых насосов может позволить значительно снизить расходы на энергоносители.

Кроме того, некоторые новые технологии могут позволить использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, для обогрева помещений. Это не только способствует экономии ресурсов, но и помогает снизить вредные выбросы в атмосферу. В целом, новые технологии и материалы для трубопроводов в системах отопления имеют большой потенциал для улучшения качества жизни и защиты окружающей среды. Однако, при выборе оптимальной системы отопления следует учитывать не только технологические новшества, но и экономические, технические и социальные факторы, чтобы достичь наилучшего результата и обеспечить комфортное и безопасное жилье для людей.

Таким образом, использование новых технологий и материалов для трубопроводов в системах отопления может значительно повысить их эффективность и экономичность, снизить вредные выбросы и защитить окружающую среду. Однако, при выборе оптимальной системы отопления необходимо учитывать различные факторы, такие как климатические условия, тип и характеристики помещения, техническая реализуемость, соответствие нормам безопасности и экономическая эффективность. И только комплексный анализ всех этих факторов, может помочь определить оптимальную систему отопления, которая будет не только эффективной, но и комфортной и безопасной для людей.

Литература

1. Продвинутое материалы для трубопроводов в системах отопления и водоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.advancedmaterials.ru/>. – Дата доступа: 20.11.2022.
2. Новые технологии в отоплении: перспективы и проблемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplonet.ru/>. – Дата доступа: 23.11.2022.
3. Энергосберегающие системы отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy-saving.ru/>. – Дата доступа: 01.12.2022.
4. Новые технологии теплоснабжения и теплотранспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energoportal.ru/>. – Дата доступа: 23.11.2022.
5. Инновации в системах отопления и водоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.heatinginnovation.com>. – Дата доступа: 23.11.2022.

УДК 697.341

Выбор источника теплоснабжения и вида используемого топлива в контексте декарбонизации

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

С использованием предложенных критериев выполнены численные исследования и получены новые результаты, показывающие количественную взаимосвязь между степенью эффективности источника системы теплоснабжения, видом используемого первичного энергоносителя и объемом эмиссии CO₂ в атмосферу.

В Республике Беларусь наибольшее количество выбросов парниковых газов связано со сжиганием топлива и другими процессами в секторе «Энергетика» – 62 % от общего объема выбросов парниковых газов. При этом основным парниковым газом, эмитируемым в Республике Беларусь, является диоксид углерода, доля которого в 2018 году составляла 67,3 % от общего объема выбросов парниковых газов [1]. Все это подтверждает важность принятия решений, направленных на снижение эмиссии CO₂ в системах теплоснабжения.

Эмиссия CO₂ в системах теплоснабжения обусловлена главным образом сжиганием органического топлива на источниках теплоты либо использованием электрической энергии, на производство которой также расходуется органическое топливо.

В зависимости от вида системы теплоснабжения – централизованной или децентрализованной – могут применяться источники тепловой энергии, различающиеся способом получения энергии, видом используемых при этом топлива и энергоносителей, техническими и технологическими особенностями теплогенерирующего оборудования. Существуют и широко применяются для целей теплоснабжения два основных варианта получения тепловой энергии: 1) получение энергии в результате сжигания топлива (когенерационный и раздельный способы выработки тепловой и электрической энергии) [2–4]; 2) получение тепловой энергии от природных возобновляемых источников (от солнца, из теплоты грунта, использовании энергии падающей воды).

Когенерационная выработка предполагает получение электрической энергии на базе теплового потребления в результате использования энергии первичного топлива на едином источнике. При раздельной выработке электрической и тепловой энергии вырабатывается на разных источниках, не имеющих между собой термодинамической связи: электрическая энергия генерируется на конденсационных электрических станциях (КЭС), потребляющих различные виды первичного топлива, а тепловая энергия – в разнообразных теплогенерирующих установках (ТГУ). Термодинамическая эффективность раздельного получения тепловой и электрической энергии значительно ниже, чем при совместной их выработке. В итоге удельные затраты первичного топлива на генерацию при совместной выработке энергии существенно ниже, а эксергетический КПД значительно выше, чем при раздельной ее выработке [5].

Использование для тепловой генерации сбросных тепловых потоков различных энерготехнологических процессов – вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) – повышает термодинамические КПД этих процессов, что также ведет к снижению удельных показателей потребления первичного топлива [5].

В качестве основных видов первичного органического топлива, используемого в системах тепловой генерации, выступают: 1) природный газ; 2) мазут и котельно-печное топливо; 3) нефтяной сжиженный газ; 4) уголь; 5) биомасса (древесина, отходы ее заготовки и переработки). Все эти виды топлива различаются теплотворной способностью, массой атомов углерода в общей массе топлива и, следовательно, объемами эмиссии CO_2 , а также способом организации процесса их сжигания.

В качестве первичного энергоносителя для выработки тепловой энергии на источниках теплоснабжения также может использоваться электрическая энергия. В этом случае эмиссия CO_2 , связанная с выработкой электроэнергии на электростанциях, должна относиться на теплогенерирующее оборудование источника теплоснабжения рассматриваемой системы теплоснабжения, поскольку производство электроэнергии на электростанциях было обусловлено ее потреблением для целей теплогенерации.

Если в качестве первичного энергоносителя для целей тепловой генерации потребляются различные тепловые вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), полученные ранее при организации каких-либо технологических или теплотехнических процессов, в ходе которых расходовались органическое топливо или электрическая энергия, то такое потребление тепловых ВЭР не приводит к дополнительной эмиссии CO_2 , так как весь объем эмиссии ранее уже был отнесен к этим технологическим или теплотехническим процессам.

Методы оценки объемов выбросов парниковых газов при использовании органических топлив основываются на двух показателях: количестве сожженного топлива и содержании в нем углерода [6]. Для расчета выбросов парниковых газов от стационарного сжигания топлива необходимо иметь данные о количестве использованного топлива и о коэффициентах удельных выбросов парниковых газов на единицу массы сожженного топлива или на единицу теплотворной способности топлива. При этом данные оценки основываются на том, что полнота сжигания топлива максимальна [6].

В качестве комплексного критерия выбора вида и типа источника теплоснабжения может быть предложен следующий размерный комплекс

$$M_{Q, \text{CO}_2} = \frac{Q_{fec}}{\eta_{hg} \eta_{netw}} \cdot k_{\text{окисл}} \cdot K_{\text{CO}_2} \cdot (1 - \psi),$$

где M_{Q, CO_2} – общий объем эмиссии CO_2 при тепловой генерации в течение заданного периода времени, тонн/период; Q_{fec} – объем конечного потребления тепловой энергии потребителями в течение заданного периода времени, ГДж/период; ΔQ_{os} – потери тепловой энергии при передаче от источника к

потребителям в течение заданного периода времени, ГДж/период; η_{hg} – эффективность преобразования энергии первичного энергоносителя на источнике теплоснабжения в тепловую энергию; η_{netw} – КПД системы транспорта тепловой энергии; K_{CO_2} – удельный выход CO_2 на единицу расхода энергии использованного первичного топлива или энергоносителя при тепловой генерации, тонн CO_2 /ГДж; $k_{окисл}$ – коэффициент окисления углерода топлива; $k_{окисл} < 1$; ψ – показатель, характеризующий степень углеродной нейтральности источника первичной энергии для целей тепловой генерации, принимающий значения от 0 до 1.

Показатель углеродной нейтральности ψ должен оцениваться, исходя из следующих предпосылок: он принимается равным 1, если в качестве первичного энергоносителя для целей тепловой генерации используются тепловые ВЭР с достаточным температурным потенциалом, солнечная энергия, электрическая энергия, полученная от ветряных и/или солнечных электростанций, ГЭС и АЭС; в случае прямого сжигания органического топлива этот показатель будет равным нулю. При использовании электрической энергии, полученной от энергосистемы, а также при использовании низкопотенциальных тепловых ВЭР с применением тепловых насосов, имеющих электрический привод показатель ψ принимает значения большие нуля, но меньшие единицы в зависимости от удельного веса в энергетическом приходе углеродно-нейтральных компонентов.

Дискретный ряд исследуемых модельных систем теплоснабжения района жилой застройки и их характеристики представлены в ниже следующей табл., полученные результаты – на рис. 1 и 2.

Таблица

Варианты принятых к исследованию модельных систем теплоснабжения и их характеристика

№ варианта	Описание системы теплоснабжения	Тепловая мощность по конечному потреблению, Q_{fec} , ГВт	Вид топлива	КПД тепловой генерации, η_{hg}	КПД системы транспорта теплоты, η_{netw}
1	2	3	4	5	6
1	Централизованная	0,015	природный газ	0,92	0,9
2	Централизованная	0,015	мазут	0,91	0,9
3	Централизованная	0,015	уголь	0,75	0,9
4	Централизованная	0,015	дрова	0,6	0,9

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
5	Централизованная	0,015	тепловые ВИЭ и ВЭР, тепловой насос с COP = 3	КПД генерации электроэнергии равен 0,385	0,9
6	Децентрализованная	0,015	природный газ	0,9	0,99
7	Децентрализованная	0,015	мазут	0,89	0,99
8	Децентрализованная	0,015	уголь	0,75	0,99
9	Децентрализованная	0,015	дрова	0,55	0,99
10	Децентрализованная	0,015	тепловые ВИЭ и ВЭР, тепловой насос с COP = 3	КПД генерации электроэнергии равен 0,385	0,99

Варианты 5 и 10 предполагают потребление низкопотенциальных тепловых ресурсов (ВИЭ или ВЭР) с использованием теплового насоса, имеющего коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую COP = 3. В этом случае коэффициент $\psi = 2/3$.

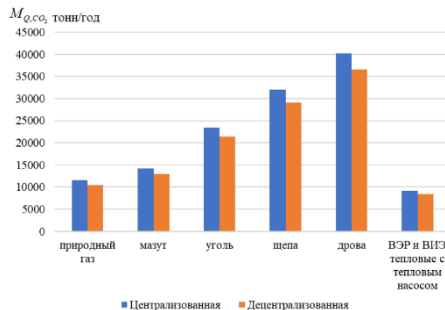


Рис. 1. Сравнительный анализ годовой эмиссии CO₂ для различных конфигураций модельной системы теплоснабжения

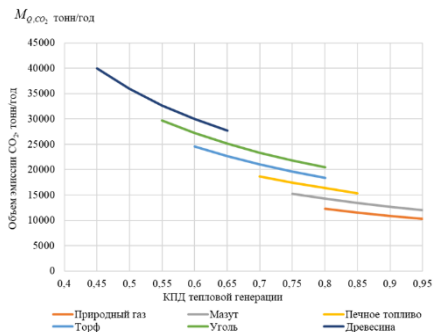


Рис. 2. Зависимость валового выброса CO₂ в окружающую среду от вида топлива и энергетической эффективности системы теплоснабжения

Таким образом, в результате проведения исследований установлено:

1. Переход от газообразного топлива к жидкому и твердому при неизменной величине конечного потребления тепловой энергии ведет (с учетом эффективности тепловой генерации) к росту валового выброса CO₂ по сравнению с газообразным топливом для жидких топлив, в среднем, в 1,3 раза, для угля и торфа – в 1,9 раза, для древесного топлива – в 2,9 раза.

2. Показано, что при использовании в качестве источника теплоснабжения низкопотенциальных тепловых ВЭР и ВИЭ с применением компрессионных тепловых насосов валовой выброс CO₂ в окружающую среду по сравнению с источниками, использующими природный газ, снижается не менее чем на 20 %.

Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 сентября 2021 г. № 553 «Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года.

2. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А. А. Ионин [и др.]; под ред. А. А. Иониной. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

3. Теплоснабжение: Учебное пособие / В. Е. Козин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

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

5. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

6. Ильшева, Н. Н. Совершенствование методического инструментария количественной оценки выбросов парниковых газов с учетом международного опыта / Н. Н. Ильшева, Е. В. Балдеску // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 108–126. – DOI 10.15826/vestnik.2017.16.1.006.

УДК 697.1:536

Определение температурно-влажностного состояния наружной стены, подвергнутой тепловой реабилитации, при изменениях температуры наружного воздуха

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

Представлены результаты влажностного расчета несветопрозрачной многослойной конструкции наружной стены на основе двух наиболее распространенных в инженерной практике методов и проведен их сравнительный анализ. Установлены неопределенности двух использованных методов расчета. Показано, что в действующих нормативных документах, устанавливающих теплотехнические требования к ограждающим конструкциям, не определены правила учета ключевых факторов влагопереноса в ограждающих конструкциях.

Эксплуатационные качества здания зависят не только от теплового и воздушного режимов, но и от влажностного состояния, которое, в основном, определяется влажностным состоянием ограждающих конструкций [1]. Защита ограждающих конструкций зданий от влаги необходима для сохранения их теплозащитных и эксплуатационных качеств, экономии энергии для создания и поддержания в устойчивом состоянии микроклиматических и санитарно-гигиенических условий в помещениях.

Многообразие факторов, влияющих на распределение и перемещение влаги в толще ограждающих конструкций, привело к развитию большого количества подходов к изучению теории влагопереноса. Впервые метод расчета влагопереноса в конструкциях был разработан К. Ф. Фокиным. Метод основан на модели молекулярной диффузии водяного пара за счет разности парциальных давлений пара по обе стороны ограждений. Ввиду простоты физико-математической модели и малой трудоемкости различные модификации этого метода широко применяются в настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике [2].

Особый интерес представляет метод расчета влагопереноса в ограждающих конструкциях на основе теории потенциала влажности. Теория потенциала влажности была разработана В. Н. Богословским. Достоинством теории потенциала влажности является возможность учесть не только сконденсировавшуюся влагу, но и содержание влаги в материале при любом ее фазовом состоянии [3]. Метод позволяет определить не только положение зоны возможной конденсации, но и количественно определить влагосодержание по толщине ограждения в широком диапазоне влажности, включая область сверхсорбционного увлажнения материалов. Однако широкое практическое применение теории потенциала влажности в инженерных расчетах сдерживается отсутствием единой методики расчета потенциалов влажности [3]. Другим недостатком является неопределенность значений коэффициентов влагопроводности χ для многих существующих строительных материалов [3].

Существуют четыре основных параметра, которые определяют характер температурно-влажностного режима ограждений [4]:

- 1) расчетная температура наружного воздуха;
- 2) продолжительность периода увлажнения (конденсации) и высыхания;
- 3) количество парообразной влаги, проходящей через ограждение;
- 4) взаимное расположение слоев в многослойном ограждении.

Отечественные нормативные документы не рассматривают перечисленные параметры в виде ключевых и не содержат рекомендаций по их определению и использованию при проектировании теплозащиты ограждающих конструкций. Так, например, согласно СП 2.04.01-2020 требуется выполнять влажностный расчет ограждающих конструкций только при средней температуре отопительного периода (для г. Полоцка, она равна $-1,1$ °С согласно таблице 3.1 изменения № 1 к СНБ 2.04.02-2000). Однако при понижении температуры наружного воздуха уменьшается упругость водяного пара, а следовательно, изменяется распределение влаги в конструкции [1].

На самом деле изменение температуры наружного воздуха изменяет весь процесс паропроницаия [4] – изменяются температуры по сечению ограждения и, как следствие, изменяются значения максимальной и фактической упругостей водяного пара на наружной поверхности стены E_n, e_n и по ее сечению E_x, e_x . Произойдет изменение потоков влаги до зоны конденсации G_1 и после зоны конденсации G_2 и, как следствие, изменится количество конденсированной влаги $G_{\text{конд}}$. Таким образом, температура наружного воздуха во влажностных расчетах ограждающих конструкций, как расчетный параметр, требует специального исследования и обоснования [4].

Принятая по нормам для влажностного расчета расчетная температура наружного воздуха как средняя за отопительный период $t_{н,от}$ является более высокой по сравнению с расчетной температурой для теплотехнического расчета.

Считается [1], что процессы диффузии водяного пара протекают значительно медленнее процессов теплопроводности и для установления стационарного состояния влаги в конструкции необходим более длительный промежуток времени, чем для установления температурного поля. Однако конструкции, не подверженные периодическому нагреву за счет солнечной радиации, способны к более интенсивному накоплению влаги [4], а установление стационарного режима тепло- и влагообмена в них происходит в более короткие сроки, чем в конструкциях, периодически нагреваемых и охлаждаемых.

Для исследования температурно-влажностного режима выбрана наружная стена помещения лаборатории строительной теплофизики, находящейся на первом этаже главного корпуса университета, и имеющая ориентацию на Север. Состав конструкции представлен в табл.

Данные для таблицы приняты из проекта термореновации 18.17 «Реконструкция учебно-лабораторных корпусов № 1, 2 Полоцкого государственного университета», разработанного в 2017 г. Полоцким государственным университетом.

Параметры воздуха внутри помещения приняты по табл. 5.1 СП 2.04.01-2020 как для общественных зданий: режим помещений – сухой, режим эксплуатации конструкций по таблице 5.2 СП 2.04.01-2020 – А.

Для выполнения влажностного расчета также необходимо задать относительную влажность наружного воздуха, которая согласно таблице 3.9 СНБ 2.04.02-2000 практически постоянна в холодный период года – в декабре 88 %, в январе 85 %, в феврале 84 % (для г. Полоцка), и не находится в прямой взаимозависимости с температурой наружного воздуха. Таким образом, относительная влажность наружного воздуха принята в расчетах постоянной и соответствующей средней за отопительный период для г. Полоцка (принята равной 83 % по табл. 3.1 изменения № 1 к СНБ 2.04.02-2000) [1].

При изучении материалов проекта термореновации установлено [1], что в проектной документации отсутствуют какие-либо расчетные показатели, характеризующие влажностный режим ограждающих конструкций. Кроме того, при определении величины приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены в проекте не учтены сопротивления теплопроводности наружного армированного и защитно-отделочного полиминерального слоев.

Существует утверждение [4], что ограждение не будет накапливать влагу, если паропроницаемость наружного слоя G_n будет как минимум в 5 раз выше паропроницаемости внутреннего слоя G_v . Однако это противоречит характеристикам паропроницаемости облицовочного слоя, который должен быть достаточно плотным и водостойким. Следствием этого будет накопление влаги перед облицовочным слоем.

Характеристики материалов слоев исследуемой наружной стены

Наименование материала слоя*	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ по условиям эксплуатации, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Сопrotивление теплопроводности R_t , м ² ·°С/Вт	Сопrotивление паропроницанию R_{μ} , м ² ·ч·Па/мг
1. Штукатурка из цементно-песчаного раствора $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$	0,02	0,76	0,09	0,026	0,222
2. Кладка из полнотелого керамического кирпича на цементном растворе $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$	0,38	0,7	0,11	0,543	3,455
3. Кладка из полнотелого силикатного кирпича на цементном растворе $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$	0,13	0,99	0,11	0,131	1,182
4. Плиты минераловатные ПТМ СТБ 1995-T5-DS(TH)1-CS(10)40-TR15-WS1 $\rho = 135 \text{ кг/м}^3$	0,12	0,0428	0,482	2,804	0,249
5. Армированный полиминеральный слой по СТБ 1621 $\rho = 1730 \text{ кг/м}^3$	0,006	0,87	0,015	0,007	0,4
6. Защитно-отделочный полиминеральный слой по СТБ 1621 $\rho = 1740 \text{ кг/м}^3$	0,006	0,87	0,02	0,007	0,3

* – нумерация и последовательность расположения слоев конструкции соответствует направлению от внутреннего воздуха помещения к наружному воздуху.

В подавляющем большинстве известных конструкций наружный облицовочный слой имеет меньшую паропроницаемость, чем теплоизоляционный, в связи с чем такая конструкция заведомо предполагает конденсацию водяного пара в ограждении. Это обстоятельство характерно и для исследованной конструкции стены. Установлено [1], что неучет наружного армированного и защитно-отделочного полиминерального слоев в исследуемой

ограждающей конструкции при ее влажностном расчете приводит к ошибочному выводу об отсутствии зоны конденсации в конструкции даже при понижении температуры наружного воздуха относительно средней за отопительный период. При этом величина приведенного сопротивления теплопередаче при добавлении к ней сопротивлений теплопроводности двух вышеуказанных слоев увеличивается не более чем на 0,3 %, что для теплового расчета можно считать несущественной ошибкой [1].

Расчетами установлено [1], что образование зоны конденсации в исследованной конструкции наружной стены будет происходить при температурах наружного воздуха от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Зона конденсации будет располагаться между поверхностью слоя утеплителя (минераловатных плит), ближайшей к наружному воздуху, и внутренней поверхностью защитно-отделочного полиминерального слоя.

Количество конденсата в ограждении зависит от продолжительности конденсации, т. е. от продолжительности климатических условий, приводящих к конденсации водяного пара в ограждении. Отечественные нормы не определяют ни продолжительности увлажнения, ни продолжительности высухания. Расчетами установлено [1], что при понижении температуры наружного воздуха и сохранении постоянными параметров внутреннего воздуха количество поступающего в исследованную конструкцию водяного пара увеличивается со $119\text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ при температуре наружного воздуха $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $128\text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ при $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до $137\text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ при $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Т. е. при понижении температуры наружного воздуха на каждые $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ количество поступающего в конструкцию водяного пара увеличивается примерно на 15 %. При этом количество конденсирующегося пара $G_{\text{конд}}$ при понижении температуры наружного воздуха от -5 до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ сначала возрастает до $32\text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$, при дальнейшем понижении температуры от -7 до $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ возрастает почти в 2 раза, а затем на каждые $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ понижения температуры увеличивается примерно на 20–30 %. Отечественные нормы не устанавливают предельное количество конденсирующейся влаги $G_{\text{конд}}$. Отсутствие нормируемой величины конденсирующейся влаги в ограждающих конструкциях не позволяет установить нормативную величину сопротивления влагопередаче $R_{\text{вл.норм}}$ и сопоставить с ней величину фактического сопротивления влагопередаче конструкции $R_{\text{вл}}$, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot^{\circ}\text{Вл}/\text{кг}$, определенную на основе теории потенциалов влажности [3; 5].

Величина фактического сопротивления влагопередаче $R_{\text{вл}}$ зависит от множества факторов, взаимно влияющих друг на друга – от распределения температуры по сечению ограждающей конструкции, распределения потенциалов влажности θ , $^{\circ}\text{Вл}$, величин коэффициентов влагопроводности строительных материалов χ , $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^{\circ}\text{Вл})$, количества влаги, проходящей через ограждающую конструкцию. Согласно проведенным расчетам фактическое

сопротивление влагопередаче рассматриваемой конструкции, несмотря на зависимость от вышеперечисленных факторов, при увеличении температуры наружного воздуха от -9 до $-1,1$ °C возрастает не более чем на 5 %, т. е. в пределах допустимой инженерной погрешности метода. Таким образом, фактическое сопротивление влагопередаче допустимо считать величиной постоянной при выбранных для расчета температурных и влажностных условиях окружающей среды, однако установить допустимость ее фактической величины при отсутствии данных о нормативном значении $R_{\text{вл.норм}}$ не представляется возможным.

Поглощение влаги материалом определяется зависимостью равновесного влагосодержания w , кг/кг от абсолютного потенциала влажности θ при разных температурах при помощи относительного потенциала влажности θ_{ϕ} [6]. Существующие зависимости равновесного влагосодержания материала w от относительного потенциала влажности θ_{ϕ} охватывают небольшой перечень строительных материалов, поэтому определение на их основе количества и состояния влаги в материалах рассматриваемой ограждающей конструкции можно выполнить лишь приближенно.

Установлено [7], что для рассматриваемой ограждающей конструкции превышение абсолютного потенциала влажности θ над максимальным потенциалом θ_{max} отсутствует при температурах наружного воздуха выше -9 °C (согласно результатам, полученным по теории молекулярной диффузии [1] – при температурах наружного воздуха выше -5 °C). На стыке теплоизоляционного слоя с наружными армированным и защитно-отделочными слоями относительный потенциал влажности θ_{ϕ} выше 1,0, но не превышает 1,5. Установлено [7], что наибольшей степени увлажнения подвергается теплоизоляционный слой рассматриваемой конструкции – в этом слое образуется зона сверхсорбционной влажности при температурах наружного воздуха от -9 °C и ниже. При этом в данном слое наблюдается переход от сорбционно-связанной влаги к капиллярной ($\theta_{\phi} < 1,5$), однако перехода к свободной влаге (при $\theta_{\phi} \geq 1,5$) не наблюдается, что можно расценивать как удовлетворение условия невыпадения влаги в толще ограждения, – вопреки результатам, полученным согласно теории молекулярной диффузии.

На рассмотренном примере показана важность учета факторов влажностного состояния наружных ограждающих конструкций. Порядок выбора расчетной величины температуры наружного воздуха, данные о продолжительности периода увлажнения и высыхания конструкции, порядок расчета количества парообразной и сконденсированной влаги в ограждении, а также требования к взаимному расположению слоев конструкций должны быть обоснованы, поскольку они непосредственно определяют характер влагопе-

переноса в ограждающих конструкциях, и соответственно должны быть прописаны в действующих нормативных документах, устанавливающих теплотехнические требования к ограждающим конструкциям. Учет и обоснование величин перечисленных факторов важен для длительного сохранения теплозащитных и эксплуатационных качеств наружных ограждающих конструкций, экономии энергии для создания и поддержания в устойчивом состоянии микроклиматических и санитарно-гигиенических условий в помещениях.

Литература

1. Батенкова, А. В. Температурно-влажностный режим наружных ограждающих нестенопрозрачных конструкций главного корпуса ПГУ при изменении температуры наружного воздуха / А. В. Батенкова, А. А. Коршун, А. Д. Милочкина, В. А. Зафатаев // Электронный сборник статей IV междунар. научн. конференции, Новополоцк, 20–21 апр. 2022 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк, 2022. – С. 119–126.
2. Корниенко, С. В. Влагозащита ограждающих конструкций и ее повышение: монография / С. В. Корниенко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – 96 с.
3. Рафальская, Т. А. Определение влагонакоплений в многослойных ограждающих конструкциях на основе потенциала влажности / Т. А. Рафальская // Современное промышленное и гражданское строительство, 2019. – Том 15. – № 2. – С. 91–98.
4. Куприянов, В. Н. Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций: учеб. пособие / В. Н. Куприянов. – Казань: КГАСУ, 2011. – 161 с.
5. Кучеренко, М. Н. Применение теории потенциала влажности для расчета переноса влаги через наружные ограждения / М. Н. Кучеренко, Е. В. Чиркова // Известия вузов. Строительство, 2013. – № 5. – С. 63–67.
6. Корниенко, С. В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий / С. В. Корниенко // Строительные материалы, 2007. – № 4. – С. 74–76.
7. Батенкова, А. В. Определение температурно-влажностного режима наружной стены на основе теории потенциала влажности / А. В. Батенкова, А. А. Коршун, А. Д. Милочкина // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. – 2022. – № 44 (114). – Прикладные науки. Строительство. – С. 126–129.

**Инновационные энергосберегающие решения в системах
отопления жилых зданий**

Королева Т. И., Пивоварова С. И., Могиленко В. А.

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Республика Беларусь

Предложенные инновационные инженерно-технические решения узкоспециализированного характера, обеспечиваются средствами рациональной организации и конструктивного оформления систем отопления и значительно снижают энергопотребление при выполнении нормативных требований. К числу энергосберегающих систем отопления относятся рассмотренные для жилых зданий водяные системы напольного отопления с регулированием с помощью балансировочных клапанов на ветках контуров и системы с горизонтальной разводкой.

Технические нормативные требования к системам отопления в Республике Беларусь, которыми установлены классы энергетической эффективности жилых и общественных зданий в зависимости от уровня их теплопотребления по таблице 10.1 [1], ставят аналогичную задачу и перед отдельными элементами инженерных систем зданий [2]. Целью решения такой задачи является выбор наиболее энергоэффективного оборудования или технического решения по каждому из элементов системы отопления в жилом или общественном здании при организации комфортного микроклимата в помещениях, чтобы в итоге проектирования прийти к нормируемому уровню теплопотребления всех систем в здании, а, следовательно, к соответствующему энергосберегающему классу энергетической эффективности от А+ до С.

Согласно СН 4.02.03-2019 [2] в проектах систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны предусматриваться энергоэффективные технические решения, энергосберегающие технологии и оборудование, обеспечивающие рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, а также применение энергии возобновляемых источников и местных видов топлива с учетом экономической целесообразности и экологической обстановки.

Применение отопления в зданиях обеспечивает необходимый тепловой режим в зимний период года с затратой около 25 % энергии в балансе страны. Поэтому в регионах с суровым и продолжительным отопительным сезоном, что типично для большей части территории нашей страны, эффективное использование энергии для систем отопления является определяющим фактором

энергосбережения при теплоснабжении зданий. В условиях сложной мировой энергетической обстановки и необходимости совершенствовать политику энергосбережения актуально считать ее приоритетной государственной задачей для нашей страны в свете решений программы «Энергосбережение» Республики Беларусь на 2021–2025 гг. [3].

Существенной экономии теплотрат в водяных системах теплоснабжения достигают, применяя автоматическое регулирование теплового потока, поступающего в систему отопления. Устойчивость работы повышается при приближении места проведения регулирования к теплопотребителю за счет более полного учета различных факторов, определяющих теплопотребность помещений отапливаемых зданий. При местном регулировании в тепловом пункте здания учитывают особенности режима его эксплуатации, ориентацию по сторонам горизонта, действие ветра и солнечной радиации [4].

При проектировании систем отопления в последние годы отмечается тенденция к применению системы теплого пола или в сочетании с конвективной системой водяного отопления [4].

В результате рассмотрения вопроса энергосбережения в системах отопления [1; 2; 4] видно, что сочетание различных путей энергосбережения в системах отопления и создание комфортных условий в помещениях общественных зданий недостаточно рассмотрено в литературных источниках и требует дальнейшего углубленного изучения, поэтому нами рассмотрено два варианта систем отопления с поквартирным учетом тепловой энергии на примере одной трехкомнатной квартиры, расположенной на первом этаже в многоэтажном жилом доме. Принятая в качестве примера для расчета и сравнения трехкомнатная угловая квартира состоит из трех спален (101, 103, 104), совмещенного санузла (106) и гостиной (102) общей площадью 104 м². В доме имеется неотапливаемый подвал. Данный объект жилого назначения не имеет центрального теплогасоснабжения. Функцию источника тепловой энергии выполняет установленный в подсобном помещении квартиры индивидуальный электрический котел. При проектировании системы отопления учтено объемно-планировочное решение трехкомнатной квартиры, так как в угловых помещениях выше тепловые потери, необходимо повышать температуру внутреннего воздуха на 2 °С и поддерживать параметры микроклимата помещений в соответствии с нормативами Приложение Г [5].

Произведен расчет и сравнение двух вариантов энергоэффективных системы отопления:

Вариант № 1: система отопления двухтрубная горизонтальная (рис. 1) с параметрами теплоносителя на подающей магистрали 70 °С на обратной магистрали 55 °С; в качестве отопительных приборов применены радиаторы стальные панельные «Лидея» ЛК-20-310, которые расположены под

оконными проемами для отсечения холодного воздуха, остывающего на окнах; регулирование теплоотдачи радиаторов осуществляется термостатическими клапанами с предварительной настройкой; клапан двухходовой регулирующий установлен на обратном трубопроводе; трубопроводы системы отопления прокладываются за плинтусами из труб металлополимерных в изоляции; удаление воздуха из системы отопления осуществляется воздухоотводчиками (кранами конструкции Маевского).

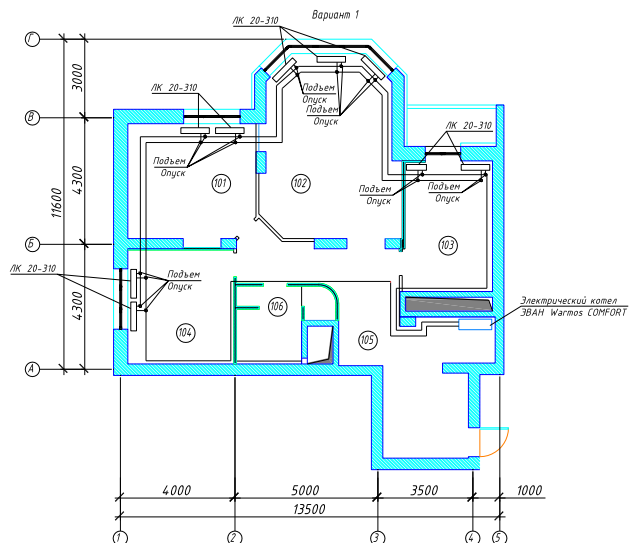


Рис. 1. План трехкомнатной квартиры с угловыми помещениями с горизонтальной системой отопления с радиаторами (Вариант № 1)

Вариант № 2: система напольного отопления (теплый пол) (рис. 2) состоит из восьми контуров, уложенных в конструкции пола в каждом помещении квартиры методом двойной проводки, узел регулирования с распределительным шкафом установлен в подсобном помещении квартиры; контуры отопления выполнены из труб металлополимерных и покрывают 100 % площади пола помещений квартиры с отступом от стен по периметру каждого помещения на 150 мм; параметры теплоносителя на подающем отопительном контуре от распределительного шкафа $t_c = 40\text{ }^\circ\text{C}$, а параметры на обратном трубопроводе контуре к распределителю после отопительных приборов $t_o = 30\text{ }^\circ\text{C}$, при этом нормативная температура поверхности пола в

комнатах принята от 29 °С до 22 °С в соответствии с пунктом 6.2.5 [2] и приложения Г [5].

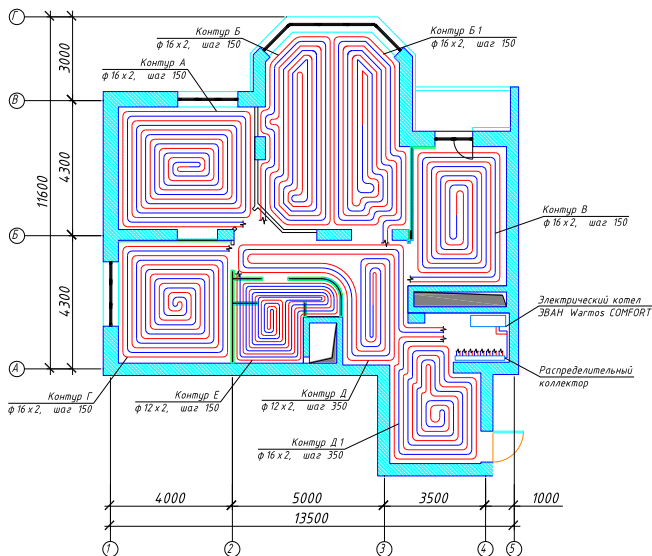


Рис. 2. План трехкомнатной квартиры с угловыми помещениями с системой напольного отопления из восьми контуров (Вариант № 2)

Для быстрого реагирования в случае аварийных ситуаций рекомендуется применять приборы учета, обеспечивающие возможность дистанционного считывания показаний.

В соответствии с требованиями [2] перед началом проектирования системы отопления выполняется теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилого здания в соответствии с требованиями [1; 6].

Выполнен гидравлический расчет трубопроводов и тепловой расчет радиаторов стальных панельных «Лидия» ЛК-20-310 по методике, изложенной в разделе 10 пример 10.2 [4, с. 132].

Расчет системы напольного отопления (Вариант № 2) выполнен в соответствии с разделом 9 [4]. В результате по нормируемой величине температуры пола 27 °С и рассчитанной средней разности температур $\Delta t_{cp} = 17$ °С по номограммам Приложение Д [4] определен шаг укладки труб и удельная теплоотдача, а также действительная температура поверхности пола для каждого помещения. Определен различный шаг укладки в контурах труб b ,

м, (0,15 м, 0,2 м, 0,25 м, 0,3 м, 0,35 м) для различных покрытий пола в каждом помещении квартир ($R_T = 0,02 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), подобраны диаметры труб для восьми контуров размером сечения от ($d 16 \times 2$) до ($d 12 \times 2$) мм. Расстояние от наружных стен до труб греющего контура равно шагу укладки труб в помещении, монтаж труб контуров выполнен через демпферную ленту в конструкции деформационного шва. В контуре напольного отопления допускается потеря давления до 20 кПа, а общая длина трубы в каждом контуре принята длиной до 100 м и одним контуром обогревают, как правило, не более 40 м^2 площади пола с максимальным размером стороны до 8 м.

Основным параметром при технико-экономическом сравнении вариантов и выборе наиболее оптимального является значение минимальных приведенных затрат, то есть вариант с наименьшими приведенными затратами является экономически целесообразным.

Приведенные затраты складываются из начальных капиталовложений и эксплуатационных затрат и учитывают: C_i – текущие эксплуатационные затраты, руб/год; K_i – капиталовложения, определяемые по локальным сметам, руб; E_i – коэффициент эффективности капиталовложений.

Текущие (эксплуатационные) расходы включают в себя расходы на тепловую и электрическую энергию, амортизационные отчисления, расходы на текущий и капитальный ремонт, расходы на заработную плату и управленческие расходы.

Для расчета годовых эксплуатационных расходов систем отопления, руб/год, были учтены: T – расходы на тепловую энергию, руб/год; \mathcal{E} – расходы на электроэнергию, руб/год; A – затраты на амортизационные отчисления, руб/год; P_T и P_K – соответственно затраты на текущий и капитальный ремонт, руб/год; ЗП – затраты на заработную плату персонала, руб/год; $У$ – управленческие затраты, руб/год.

При расчете затрат на установку системы отопления учтены основные капиталовложения: трубы металлополимерные для системы напольного отопления (вариант № 2); радиаторы «Лидея» ЛК-20-310 и трубы металлополимерные (вариант № 1). Затраты на стоимость котла не учитываются, так как он присутствует в двух вариантах.

В результате проведенного сравнительного анализа тепловой эффективности предложенных двух вариантов, можно предположить, что они будут равноценны по созданию теплового комфорта и параметров микроклимата в жилых помещениях квартиры. Для выбора наиболее экономически эффективного варианта нами проведен расчет капиталовложений на монтаж систем отопления и выбран более эффективный вариант с наименьшими капиталовложениями.

Затраты на тепловую и электрическую энергию, затраты на амортизационные отчисления, текущий ремонт, капитальный ремонт, заработную

плату и управленческие отчисления объективно можно принять равными, в нашем случае приведенные затраты будут состоять только из капиталовложений. Таким образом, система с минимальными капитальными вложениями окажется экономически целесообразной.

Капиталовложения на устройство рассматриваемых систем складываются из следующих составляющих: стоимость оборудования для устройства систем отопления, стоимость транспортировки к строительной площадке, стоимость монтажных работ и работ по регулировке системы. Расчет произведен в ценах января 2021 года (на момент начала эксплуатации системы). Результаты расчетов отражены в выводах.

Капитальные затраты на оборудование и материалы для рекомендуемых вариантов систем отопления трехкомнатной квартиры составят: 1) для системы отопления по варианту № 1 в размере 1851,92 руб.; 2) для системы напольного отопления по варианту № 2 в размере 1468,56 руб.

Выводы по результатам исследования и расчетов:

1. В результате проведенного сравнительного анализа и расчета экономической эффективности двух предлагаемых вариантов систем отопления с учетом нормативных требований, предъявляемых к микроклимату жилых помещений [2], очевидно, что использование напольных систем отопления для компенсации тепловых потерь помещений первого этажа предпочтительнее по сравнению с горизонтальной схемой поквартирного отопления, где отопительные приборы радиаторы «Лидея» ЛК-20-310 установлены под оконными проемами.

2. Капитальные затраты на монтаж систем напольного отопления (вариант № 2) меньше на 383,36 рублей по сравнению с системой отопления с отопительными приборами, расположенными под оконными проемами (вариант № 1), а годовые эксплуатационные расходы для систем отопления являются одинаковыми, так как источник тепловой энергии один и тот же для двух вариантов.

2. Рекомендуем применение электрического котла для подогрева воды в системе отопления квартиры, что согласуется с рекомендациями правительства страны по использованию электрической энергии в связи с введением в эксплуатацию атомной электростанции в Республике Беларусь [3].

3. Повышается уровень класса жилья при использовании системы напольного отопления, так как отсутствуют открыто проложенные отопительные технические коммуникации в квартире и застойные зоны при распределении теплоты по жилым помещениям, а также есть возможность местного регулирования параметров микроклимата в квартире.

4. Предложенные схемы и данные расчетов и исследований можно использовать при изучении студентами дисциплины «Отопление», при выполнении курсовых и дипломных проектов по направлению «Отопление», а

также специалистами, осуществляющими проектирование систем отопления жилых и общественных зданий.

Литература

1. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность // Будынкi і збудаванні. Энергетычная эфектыўнасць: СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 29 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха // СН 4.02.03-2019. – Введ. 26.11.2019. – Мн.: Минстройархитектуры, 2019. – 69 с.
3. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы. Постановление СМ РБ от 24.02.2021 г. № 103 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь).
4. Покотилов, В. В. Пособие по расчету систем отопления / В. В. Покотилов. – Вена: фирма «HERZ Argmatoren», 2008. – 160 с.
5. СН 3.02.01 Жилые здания. Строительные нормы Республики Беларусь. Министерство архитектуры и строительства. Минск, 2020. – 25 с.
6. СП 2.04.01-2020 (с изменениями) Строительная теплотехника. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 32 с.

УДК 621.644.07

Анализ изменения целостности изоляции подземных газопроводов в процессе эксплуатации по данным приборного обследования

Струцкий Н. В.¹, Романюк В. Н.²

¹ГПО «Белтопгаз»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты анализа многолетних статистических данных о дефектах изоляции стальных распределительных газопроводов, выявляемых приборным методом. Показано, что дефектообразование в защитных покрытиях газопроводов (в том числе, длительно эксплуатируемых) до настоящего времени представляет собой, как правило, малоинтенсивный процесс.

В соответствии с [1], пассивной защитой в Беларуси обеспечены все без исключения стальные подземные распределительные газопроводы. Изоляция является важным элементом стального подземного газопровода, имеющим прямое влияние на его надежность и безопасность. Непосредственно контактируя с агрессивной внешней средой, изоляция в наибольшей степени подвергается воздействию ее негативных факторов.

Учитывая то, что значительная часть стальных подземных распределительных газопроводов имеет длительные сроки службы (около 20 % газопроводов эксплуатируются 40 и более лет), ясное понимание степени и динамики общего износа их защитных покрытий тем более необходимо.

Поскольку роль изоляции состоит в максимально возможном снижении площади оголенной поверхности стального трубопровода, прямо контактирующей с почвой (грунтом) [2], одной из ее ключевых характеристик является целостность.

Ценным источником информации для понимания степени и динамики изменения (потери) целостности изоляции в ходе эксплуатации является массив многолетних статистических данных о дефектах покрытия, выявляемых в ходе периодического приборного обследования, включающего в себя выявление мест повреждений изоляции и утечек газа бесконтактными методами, без вскрытия трубопровода. Его периодичность, как правило, составляет 1 раз в 5 лет.

Все выявленные дефекты изоляции подлежат обязательному устранению не позднее 1 месяца после обнаружения в застроенной части и зонах опасного влияния блуждающих токов, и не позднее 3 месяцев – в остальных случаях [3]. Таким образом, целостность и защитные свойства покрытия после обследования восстанавливаются.

При ремонте изоляции осуществляется непосредственное наблюдение, изучение и документирование дефектов. Таким образом, накапливается значительный объем данных, в том числе, на протяжении ряда последних лет, – с использованием возможностей IT-технологий [4].

Сейчас внедрение элементов цифровизации в процессы планирования, проведения и регистрации результатов работ по периодическому приборному обследованию и диагностированию (оценке) технического состояния стальных подземных распределительных газопроводов в системе ГПО «Белтопгаз» находится на завершающем этапе.

В автоматическом режиме производится формирование соответствующих графиков, заключений, актов коррозионного обследования подземного сооружения. Места предполагаемого контакта «труба-земля» группируются и отображаются на электронной карте, показанной на рис. 1.

Этапы работ от обнаружения до устранения повреждения изоляции подтверждаются фотофиксацией: отражаются месторасположение, непосредственно сам дефект, результаты его устранения, благоустройство места раскопок после засыпки. Формирование сводных данных по результатам обследования происходит автоматически.

Итак, обобщим и проанализируем результаты приборного обследования газопроводов с 2010 по 2022 год. За этот период каждый объект прошел не

менее двух циклов обследования, при общей протяженности стальных подземных газопроводов 28,0 тыс. км, протяженность обследованных газопроводов составила 85,7 тыс. км.



Рис. 1. Электронная карта г. Минска и Минского района

Для этого введем величины удельной плотности дефектов на единицу длины контролируемого участка, D_d (defect density), и повреждаемости (дефектности) покрытия, A_d (ability of defects), определяемой как среднее число повреждений изоляции участка газопровода длиной 1 км в год. Данные показатели напрямую характеризуют целостность защитных покрытий, позволяя провести дальнейший продуктивный анализ [5].

Полученные результаты анализа представлены на рис. 2.

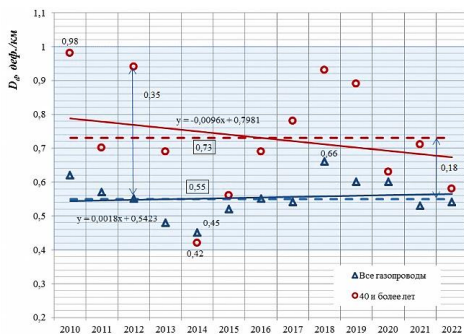


Рис. 2. Анализ годовых плотностей дефектов изоляционного покрытия

Как видно на рис. 2, значения плотности дефектов защитных покрытий стальных распределительных газопроводов, взятых по всей протяженности, находятся в диапазоне от 0,45 до 0,66 деф/км, средняя повреждаемость

(штриховая линия) составляет 0,55 деф/км·год. Значения плотности изоляции на длительно эксплуатируемых газопроводах со сроком службы 40 лет и более находятся в диапазоне от 0,42 до 0,98 деф/км, средняя повреждаемость составляет 0,73 деф/км·год.

Максимальное превышение плотности дефектов покрытия для газопроводов, выработавших нормативный срок службы, над общим уровнем зафиксировано в 2012 году и составило 0,35 деф/км. Разница между средней повреждаемостью защитных покрытий для всей протяженности стальных распределительных газопроводов, и для газопроводов старше 40 лет, составляет всего 0,18 деф/км. Вся полоса значений плотности дефектов защитного покрытия полностью укладывается в диапазон от 0,4 до 1,0 деф/км.

Аналитическое выравнивание временного ряда плотности дефектов изоляции проведено по линейной функции. Для расчета аппроксимации использован табличный процессор Excel. Оба тренда (сплошные линии на рис. 2), как для защитных покрытий в целом, так и для изоляции газопроводов старше 40 лет, имеют незначительные коэффициенты регрессии.

Для оценки полученных данных воспользуемся действующим отраслевым документом ГПО «Белтопгаз» по техническому диагностированию газопроводов [6]. Согласно принятой методике, отличная оценка изоляции будет предполагать не более 10 дефектов на километр, хорошая – 30 дефектов, удовлетворительная – 80 дефектов, при превышающем данный предел количестве повреждений покрытие будет признано негодным.

В соответствии с данной градацией оценивания, даже верхняя граница плотности дефектов в ~1,0 деф/км будет характеризовать защитные покрытия как исправные (оценка «отлично»), причем с большим запасом. Если исходить из критерия сохранения работоспособного состояния (оценка «удовлетворительно»), максимальный достигнутый уровень плотности дефектов составит всего 1,23 % от допустимой области значений – 80 деф/км.

Для проверки и подтверждения полученных результатов воспользуемся методикой определения оценки технического состояния зданий и сооружений, строительных конструкций и инженерных систем согласно [7]. Здесь повреждаемость элемента характеризуется степенью распространения дефектов. Данный показатель имеет следующую градацию: единичные дефекты – занимающие 10 % и менее площади, линейного размера или количества; многочисленные – от 10 до 40 %; массовые – более 40 %.

Приняв (с запасом) эквивалентную длину участка повреждения защитного покрытия $l_{эkv} = 2,0$ м (стандартная длина шурфа), при максимальной достигнутой плотности дефектов в 0,98 деф/км получаем 1,96 % от принятого линейного размера участка газопровода в 1 км. По степени распространения – это единичные дефекты.

Результаты оценки повреждаемости изоляции стальных подземных распределительных газопроводов согласно [6] и [7] показаны на рис. 3.

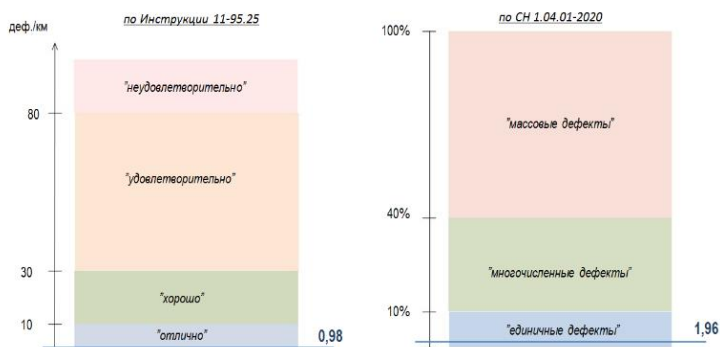


Рис. 3. Общая оценка степени износа (потери сплошности) изоляции

Далее, в соответствии с методикой [6], исходя из степени распространения дефектов, их класса и степени ответственности элемента определяется категория технического состояния (КТС). Всего документом устанавливается пять категорий – от I до V, в порядке увеличения степени износа и снижения работоспособности.

Учитывая вспомогательную функцию защитного покрытия, его повреждения необходимо относить к классу малозначительных, либо, в худшем случае (при отсутствии ЭХЗ и влиянии дополнительных негативных факторов), к классу значительных дефектов, степень ответственности элемента – 2.

Тогда, в первом случае защитное покрытие будет соответствовать I, наивысшей, категории КТС (исправное состояние). Во втором – II категории КТС (работоспособное состояние): имеющиеся дефекты не приводят к нарушению работоспособности конструкции в данных конкретных условиях эксплуатации, но в перспективе могут снизить ее долговечность.

Сравнение средних значений повреждаемости для различных видов применяемой изоляции (на основе битумных мастик (БМИ), липких лент (ЛЛ), термоусаживающихся лент (ТЛ), экструдированного полиэтилена (ЭП)) представлено на рис. 4.

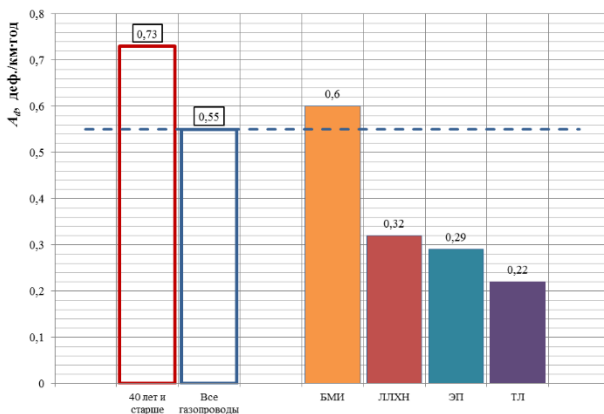


Рис. 4. Средняя повреждаемость различных видов защитных покрытий

Как видно, средние значения повреждаемости для полимерных защитных покрытий в 2–3 раза ниже, чем для битумно-мастичной изоляции. Вместе с тем, следует учитывать, что и средний возраст эксплуатируемых полимерных покрытий значительно ниже.

Итак, проведенный анализ массива многолетних статистических данных о дефектах покрытия распределительных газопроводов, выявляемых приборным методом, показывает, что дефектообразование в изоляционных покрытиях газопроводов (в том числе, длительно эксплуатируемых) до настоящего времени представляет собой малоинтенсивный процесс. Данный вывод верен для всех видов применяемых защитных покрытий.

Полученные общие значения параметров плотности дефектов D_d и средней повреждаемости A_d изоляционных покрытий с учетом их вида и срока службы, могут использоваться как для общей оценки состояния газораспределительной системы, так и для сравнительного анализа с частными показателями конкретных объектов при их диагностировании.

В целом, использование массива накопленных в процессе эксплуатации данных о повреждениях объектов и элементов газораспределительной системы является одним из приоритетных направлений для повышения точности оценки и прогнозирования их технического состояния, особенно с применением соответствующего программного обеспечения.

Литература

1. 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.
2. Притула, В. В. Современные проблемы защиты от подземной коррозии / В. В. Притула // Коррозия территории «Нефтегаз». – 2012. – № 3 (23). – С. 18–21.
3. Правила обеспечения промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 218 с.
4. Струцкий, Н. В. Применение мобильных устройств в работе газовых хозяйств Беларуси / Н. В. Струцкий, А. А. Ананенко, И. М. Перельгин, О. В. Голубева // Энергетическая стратегия. – 2018. – № 5 (66). – С. 32–34.
5. Романюк, В. Н. Оценка общего уровня повреждаемости изоляционных покрытий стальных подземных газопроводов / В. Н. Романюк, Н. В. Струцкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 14 – С. 71–77.
6. Инструкция по оценке технического состояния подземных газопроводов, выработавших нормативный срок службы 11-95.25 // Защита и оценка технического состояния систем газоснабжения. – Минск, 2006. – С. 162–190.
7. Техническое состояние зданий и сооружений: СН 1.04.01-2020. – введ. 23.03.2021. – Минск: Стройтехнорм, 2021. – 68 с.

УДК 622.691.4

Принципы построения, возможности и опыт апробации программного модуля «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов»

Струцкий Н. В.¹, Васильев В. Ю.², Морозов С. И.²

¹ГПО «Белтопгаз»

Минск, Республика Беларусь,

²УП «Витебскоблгаз»

Витебск, Республика Беларусь

В работе освещены принципы построения и возможности созданного в период 2021–2022 годов инновационного цифрового продукта – программного модуля «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов», интегрированного в Единую автоматизированную систему объединения ГПО «Белтопгаз».

Государственным производственным объединением по топливу и газификации «Белтопгаз» планомерно реализуется глубокая цифровая трансформация газораспределительной системы республики.

Ключевым аспектом при решении данной задачи выступает многоуровневая координация между техническими специалистами и руководителями аппарата управления и газоснабжающих организаций объединения – «коллективным заказчиком» цифровизации, и филиалом ПУ «АйТиГаз» УП «Витебскоблгаз» – базовой отраслевой организацией в области развития ИТ-технологий.

На сегодня создана и устойчиво функционирует Единая автоматизированная система (ЕАС) ГПО «Белтопгаз», обеспечивающая цифровое сопровождение всех без исключения сфер деятельности, а, в особенности, производственно-технической сферы [1].

Основу ЕАС составляют три взаимодополняющих мультипрограммных комплекса (МПК):

- МПК «Мириада» – цифровое сопровождение непосредственных производителей работ по техническому обслуживанию объектов газораспределения и газопотребления с помощью мобильных приложений;

- МПК «Панорама» – главный интегратор всего массива накопленной информации (Big Data), визуализация газораспределительной системы во всей ее совокупности в виде электронной карты;

- МПК «Вершина» – итоговая аналитика на уровне аппаратов управления газоснабжающих организация и объединения, руководства отрасли.

Данные комплексы полностью совместимы и увязаны как в части внутренней архитектуры, так и между собой, что обеспечивает системный подход к обеспечению автоматизации технологических процессов. Структурная схема организации работы трехуровневой системы мультипрограммных комплексов «Мириада», «Панорама», «Вершина» показана на рис. 1.

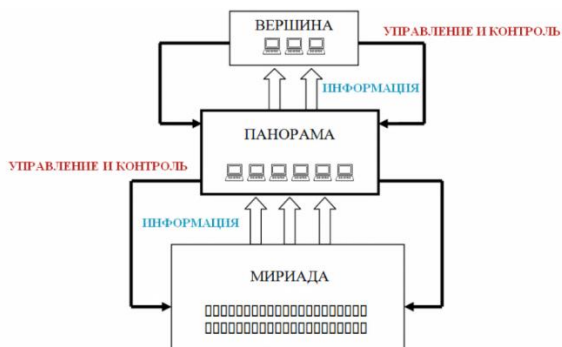


Рис. 1. Трехуровневая система МПК

Ключевым звеном системы является МПК «Панорама», охватывающий весь цикл эксплуатации объектов газораспределительной системы, и обеспечивающий автоматизацию широкого набора технологических процессов.

В основу МПК «Панорама» заложены следующие идеи:

- создание отдельного программного модуля (ПМ) для каждой технической службы или отдельного крупного техпроцесса;
- интеграция данных программных модулей на единой электронной карте газораспределительной системы;
- гибкость и открытость архитектуры программного продукта, обеспечивающие легкую масштабируемость и доступность для постоянного развития и модернизации.

Соответственно, МПК «Панорама» прирастает возможностями как за счет доработки существующих модулей, так и внедрения новых.

Последним по времени разработки программным модулем МПК «Панорама» стал ПМ «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов». Продукт реализован ПУ «АйТиГаз» в течение 2021–2022 годов по техническому заданию управления систем газоснабжения и рабочей группы начальников производственно-технических отделов (ПТО) газоснабжающих организаций ГПО «Белтопгаз».

Как известно, развитие газораспределительных систем территорий осуществляется на основании расчетных схем газоснабжения городов и населенных пунктов, утвержденных в установленном порядке [2].

Разработку гидравлических расчетных схем осуществляют компетентные проектные организации с учетом перспективного газопотребления. Для этих целей имеется широкий выбор специализированного ПО: например, ИГС «CityCom-ГазГраф», ZuluGaz, АСПО-ГАЗ таких известных разработчиков как ИВЦ «Поток» (г. Москва), ООО «Политерм» (г. Санкт-Петербург), ЗАО «АСПО» (г. Санкт-Петербург).

Расчетная схема развития газоснабжения – документ высокого уровня, определяющий параметры локальных газораспределительных систем на достаточно длительные сроки (как правило, до 10 лет).

Вместе с тем, современная динамика роста производственных мощностей, предполагающая сжатые сроки реализации инвестиционного цикла (3–5 лет) даже для крупных промышленных предприятий с соответствующим газопотреблением, зачастую опережает заложенные схемами газоснабжения возможности газовых сетей. Также, уровень таких схем не предполагает детализации газопотребления до масштабов, например, небольшого сельского поселения, улицы, садового товарищества.

Данные вопросы регулярно возникают при осуществлении специалистами ПТО газоснабжающих организаций деятельности по выдаче технических условий на подключение к существующим газопроводам по заявкам будущих потребителей газа.

Данная деятельность включает предварительную оценку соответствия возможных технических решений действующей территориальной схеме газоснабжения, влияния добавляемого объема газопотребления на гидравлический режим газораспределительной сети, определение оптимальной точки подключения конкретного потребителя. Также очень важно своевременно понять необходимость существенной переработки действующей схемы газоснабжения или разработки новой.

Таким образом, ПМ «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов» задуман и реализован для помощи специалисту эксплуатационной организации, не затрагивая сферу проектирования.

Визуальная подоснова модуля – специальный, совместимый с основной электронной картой МПК «Панорама» графический слой, где предусмотрена возможность нанесения перспективных потребителей (с задаваемыми параметрами требуемых расхода и давления газа) и газопроводов, для дальнейшего расчета вновь созданных сетей (рис. 2).

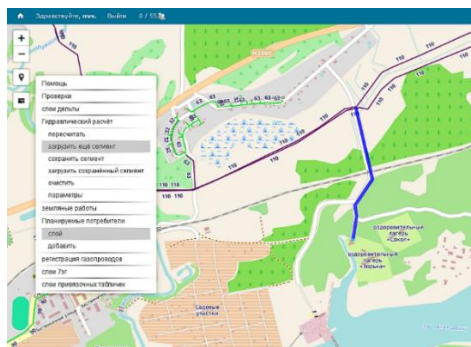


Рис. 2. Нанесение перспективного потребителя на электронную карту

Положенная в основу программного модуля методика гидравлического расчета соответствует нормативным требованиям [2; 3]. Адекватность математически-расчетной части была проверена на примере газораспределительных сетей г. Орша и г. Жлобин. Расчеты, выполненные с помощью модуля, показали полную сходимость с расчетами, выполненными проектной организацией (ГП «НИИ Белгипрогаз») в ходе разработки схем газоснабжения указанных городов.

Заложенный функционал предоставляет возможности:

– быстрой проработки возможных вариантов подключения перспективных потребителей, а также соединения сегментов сети с помощью перемычек и закольцовок;

– произвольного выбора и расчета локальных сегментов газораспределительных сетей с целью общего анализа и выявления «слабых звеньев» системы по пропускной способности (для участков газопровода) и производительности (для источников газоснабжения – ГРП, ШРП);

– наглядного отображения расчетных давлений и скоростей потоков газа, точек схождения потоков газа от разных источников в целях анализа гидравлического режима.

Модуль обеспечивает формирование, сохранение и вывод на печать полученных расчетных (поверочных) схем и результатов расчета в табличном виде.

Учитывая отсутствие у специалистов эксплуатационно-технического профиля опыта использования специализированного программного обеспечения для гидравлических расчетов, ПУ «АйТиГаз» создано обучающее видеопособие.

Для удовлетворения повышенных требований к производительности вычислительной техники, в газоснабжающих организациях созданы специально выделенные под эти цели виртуальные машины (минимальные технические параметры: серверный процессор 10 ядер, HDD 20 GB, ОЗУ 10 GB) для переноса на них расчетных операций.

В настоящее время программный модуль успешно прошел апробацию, УП «Научная организация труда» подготовлены соответствующие изменения в отраслевой нормативный документ [4], определяющие порядок применения ПМ «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов» в производственной практике.

Использование данного инновационного программного продукта позволит повысить компетенции технических специалистов и руководителей газоснабжающих организаций, обеспечить новое качество деятельности по выдаче технических условий на подключение к газораспределительной системе, своевременно планировать разработку (переработку) территориальных схем развития газоснабжения.

Литература

1. Струцкий, Н. В. Единая автоматизированная система ГПО «Белтопгаз». От идеи к результату / Н. В. Струцкий, В. Ю. Васильев // Энергетическая стратегия. – 2017. – № 3 (57). – С. 52–55.

2. Газораспределение и газопотребление: СН 4.03.01-2019. – введ. 26.12.2019. – Минск, 2020. – 106 с.

3. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб: СП 42-101-2003. – введ. 08.07.2003. – М: ЗАО «Полимергаз», 2006. – 166 с.

4. Порядок выдачи технических условий на присоединение объектов газопотребления к газораспределительной системе: СТП 01.01-2019. – введ. 20.05.2019. – Минск, 2019. – 16 с.

УДК 631.158

Analysis of modern ventilation systems to ensure the microclimate in livestock and poultry buildings

Toshtemirov M. E., Boboev S. M., Khalboev U.
Samarkand State University of Architecture and Construction
named after Mirzo Ulugbek
Samarkand, Uzbekistan Republic

This article analyzes modern air conditioning systems (ACS) to create a microclimate in livestock and poultry buildings. The creation and maintenance of a microclimate in livestock and poultry buildings is associated with the solution of a complex of engineering and technical problems and is one of the determining factors in ensuring the health of animals and birds. Traditional ventilation systems with the organization of air exchange according to the “top-down” scheme do not provide the required microclimate parameters in the habitat of animals and birds.

The indicators of the microclimate in rooms for animals and birds depend on external climatic conditions, technological regime, design features of buildings, quality of engineering and technical facilities, etc. It is considered optimal to consider such combinations of microclimate parameters (temperature, relative humidity, purity and air velocity) that ensure the highest productivity of animals [2].

The study of traditional schemes for organizing air exchange in livestock and poultry buildings was carried out by a number of authors [1; 2; 4; 5]. The most complete studies on models and in natural conditions were carried out by Bronfman L. I. [6], who concludes that natural ventilation is ineffective at high outdoor temperatures.

The system with mechanical draft induction allows for organized air exchange with the help of supply and exhaust systems. On fig. 1 shows the traditional scheme for organizing air exchange in the ventilation system of livestock and poultry buildings in a dry hot climate.

In the warm period of the year, the supply air is supplied through local supply units of direct evaporative cooling, which are suspended under the ceilings and

connected by a shaft to the intake of the supply air, or mounted on the roof and connected to the supply units.

During the transitional period of the year, the same supply units are used, but the pumps that supply water for irrigation of wood chips in the unit cassettes can be turned off.

During the cold period of the year, the supply units of direct evaporative cooling are switched off and their intake openings are blocked (covered with polyethylene film), which makes it possible to exclude the infiltration of cold outside air through them.

The supply of heated supply air is carried out from the supply unit, which includes means for heating. Depending on the heat source used, the heating means in the second supply unit are designed accordingly. When hot water is used as a heat source, heaters are used to heat the supply air [6]. In the absence of boiler houses in livestock and poultry buildings, autonomous gas or liquid fuel air heaters are used.

A common feature for the traditional scheme of organizing air exchange in livestock and poultry buildings is the supply of fresh air from above with an inflow temperature t_{in} , which has a lower air temperature than in the animal habitat t_{an} , which is explained by the year-round presence of excess heat from animals in their habitat. The removal of gassed, humid and heated air occurs from the lower zone of the room with the help of axial fans with an adjustable number of revolutions of electric motors. The change in the number of revolutions of electric motors of axial fans is carried out according to the air temperature control sensor in the animal habitat [6].

From the diagram in fig. 1 it can be seen that the temperature of the removed air t_r can be equal to or even lower than the air temperature in the animal habitat t_{an} .

The latter is explained by the fact that part of the supply air can enter the axial exhaust fans along the shortest path, bypassing the animal habitat.

The air capacity of the supply systems is determined from the conditions for maintaining the concentration of harmful substances in the habitat of animals not higher than the MPC.

However, if part of the supply air passes, bypassing the habitats, the concentration of harmful substances in the outgoing air will be less than the concentration of harmful substances in the air in animals. Thus, the concentration of hazards in the animal habitat will be higher than the MPC. On fig. 2 shows the results of measuring the concentration of ammonia at a level of 0,5 m from the floor in a poultry house 18 m wide [1].

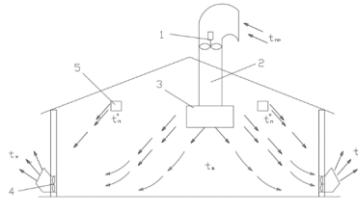


Fig. 1. The traditional scheme for organizing air exchange in livestock poultry buildings:

1 – supply fan (1,1 kW); 2 – exhaust shafts; 3 – conditioner KIO-13; 4 – exhaust fan (1,1 kW); 5 – supply air ducts connected to two centrifugal fans (5,5 kW)

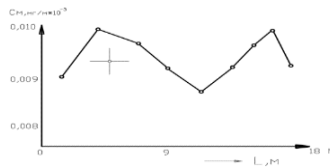


Fig. 2. Field measurements of ammonia concentrations in the air across the poultry house at a height of 0,5 m from the floor when supply air is supplied through a slotted supply duct at a height of 3,5 m and gaseous air is extracted from the operation of axial fans mounted in longitudinal walls at a height of 0,3 m from gender

Outside air is supplied in the center of the poultry house through a slotted air duct at a height of 3,5 m. The exhaust air is carried out at a height of 0,3 m from the floor, from the operation of axial fans in the longitudinal walls.

From fig. 2 it can be seen that the lowest concentration of ammonia is typical for the middle part, in the aisle of the poultry house, where the supply air stream is directed from the slotted supply openings. The highest concentration of ammonia is observed in the zone of the last cages with birds along the supply air. It is quite characteristic that in the area near the longitudinal walls, where axial exhaust fans are installed, the concentration of ammonia is lower than in the cages with birds adjacent to the longitudinal walls. These field measurements confirm our assumptions that part of the supply air in the air exchange scheme according to fig. 2 passes, bypassing the habitat of animal birds. This indicates the low efficiency of traditional ventilation systems in livestock and poultry buildings with air movement according to the “top-down” scheme, which is confirmed by the results of foreign studies. In California (USA) an experimental study was carried

out in 17 poultry houses during the flight period. In these poultry houses, the following ventilation systems were used with evaporative cooling of the supply air, fig. 3.

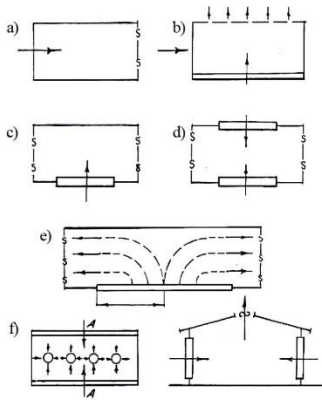


Fig. 3. Ventilation schemes with evaporative supply air cooling used in poultry houses in the USA

1) irrigated layers are located in the end wall of the building, and exhaust fans – in the opposite side (fig. 3, a). With this system, in poultry houses up to 46 m long, it is possible to maintain a fairly uniform temperature. In long poultry houses, the cooled air descends to floor level and has an elevated temperature in the area where the fans are installed;

2) irrigated layers are located along the entire length in the longitudinal wall of the building (fig. 3, b), and exhaust fans – on the opposite. In this case, the distance covered by the air flow is reduced, and the house can be built to any length. In 27,4 m wide houses, oriented at an angle to the prevailing wind, the air quickly sinks to floor level below the chicken cages, and stagnant zones are observed in the house. In rooms with a width of 12–18 m, more uniform temperature fields are achieved than in wider poultry houses;

3) irrigated layers are located in one or both longitudinal walls of the poultry house (fig. 3, c, d, e), and exhaust fans – in the end walls. This scheme is used to shorten the path traveled by the air flow in the room. In order to avoid the formation of stagnant zones, it is recommended to organize air exchange in such a way that the speed before the turn is less and increases after the turn of the flow; for this, the width of the air flow path must be greater before the turn and less after it (see fig. 3, e);

4) irrigated layers are located in both longitudinal walls, and exhaust fans on the roof along the ridge (fig. 3, f).

With this ventilation scheme, the lowest content of ammonia and oxide, carbon in the bird habitat, the absence of stagnant zones and a more uniform temperature field are noted.

The results of studies [1; 3–7] showed that the ventilation scheme shown in fig. 3, *f* with air movement in the “bottom-up” direction turned out to be the most effective. The main equipment in the ventilation systems of livestock buildings are contact devices for evaporative air cooling.

Traditional ventilation systems for livestock and poultry buildings with the organization of air exchange according to the “top-down” scheme do not provide the required microclimate parameters in the habitat of animals and birds. In addition to uncomfortable conditions in terms of temperature and humidity in the habitat of animals, there is an increased content of ammonia and carbon monoxide, exceeding their maximum allowable concentrations.

The organization of air exchange according to the “bottom-up” scheme significantly improves the composition of the air environment and the microclimate in livestock and poultry buildings.

In order to identify the most optimal apparatus and devices for air cooling in livestock poultry buildings, a comparative analysis of these devices and methods for their calculation should be performed.

References

1. Брандт, Г. Проектирование животноводческих комплексов / Пер. с нем. К. Ф. Плита; под ред. А. Г. Иванкова. 2-е изд., доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 256 с.
2. Акатов, А. А. Совершенствование локальной очистки воздуха в инкубаториях птицефабрик с помощью электрокоронного фильтра повышенной эффективности: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.02 / А. А. Акатов. – Саратов, 2003. – 252 с.
3. Бодунов, А. В. Обеспеченность параметров микроклимата в сельскохозяйственных зданиях с воздухопроницаемыми наружными ограждениями: диссертация... кандидата технических наук / А. В. Буданов. – Н. Новгород, 2003. – 173 с.
4. Бобоев, С. М. Научно-технические основы создания систем микроклимата в животноводческих помещениях в условиях сухого и жаркого климата Текст: дисс. канд. техн. наук / С. М. Бобоев. – Самарканд, 2000. – 299 с.
5. Самарин, Г. Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.02 / Самарин Геннадий Николаевич; [Место защиты: ФГОУВПО «Московский государственный агроинженерный университет»]. – Москва, 2009. – 442 с.

6. Бронфман, Л. И. Микроклимат помещений в промышленном животноводстве и птицеводстве / Л. И. Бронфман. – Кишинев: Штиница, 1984. – 208 с.

7. Пермяков, А. А. Санитарно-гигиеническая оценка микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений: учебное пособие / А. А. Пермяков, А. Г. Незавитин, Л. А. Литвина. – 4-е, изд. – Новосибирск: НГАУ, 2016. – 188 с.

УДК 66.061; 66.069.8

Analysis of organic solvents released during painting and drying of automobiles and household products

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

Samarkand State University of Architecture and Construction
named after Mirzo Ulugbek

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. The issues of organizing the collection of the resulting solvent vapors and their further use, taking into account their use in specially equipped rooms, are considered.

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]. In particular, arylmethane-

based and acidic paints can cause otitis, laryngitis, and digestive tract diseases. Reactive dyes should be considered as potentially hazardous substances. These dyes are able to react chemically with protein substances that can cause various diseases. It is necessary to exclude dyes and other chemical reagents from falling on the body and clothes of workers (use of overalls, glasses, gloves), as well as accumulation of dust and dirt in production buildings. 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 H₂O solutions with flammable substances, with organic solvents that can form explosive mixtures with H₂O₂ 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].

Care must be taken to control their content in work environments that must have effective supply and exhaust ventilation. When organic solvents are used in painting processes, it is necessary to create closed technological cycles with solvent capture, recovery and reuse. This ensures not only good sanitary and hygienic conditions, but also high efficiency of the process, protection of the environment from harmful waste, saving water consumption for technological needs, and a significant reduction in the amount of wastewater. In this regard, the development of a line of paints for painting with non-aqueous media and equipment for its implementation is a very urgent task. In the main workshops of finishing production, it should be remembered that the textile materials themselves (fibers, fabrics, knitted fabrics) are fire hazard. Many of them (lavsan, nitron, nylon, ace-

tate fibers) release toxic products when burned. To create normal working conditions, all workshops of textile industry finishing enterprises should be equipped with strong supply and suction ventilation. Compliance with the above precautions in the use of coloring substances is mandatory in other areas. Thus, in particular, it should be taken into account that the components for oxidative dyeing of fur are mostly toxic and irritate the skin and mucous membranes. Oil-soluble dyes, sometimes used in painting plastic, rubber, are quickly absorbed into the skin and cause skin diseases. In the paint and printing industry, a large amount of flammable and toxic organic solvents and film-forming substances are used. In accordance with national requirements, all enterprises that use paints must develop a system of socio-economic, organizational, hygienic and sanitary-technical measures and tools to prevent workers from being exposed to harmful production factors [1].

In machine-building plants, painting is carried out in paint shops and machine assembly shops.

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 saturated 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 hydrofilters, 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/m³), 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 m³ 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.

A good reputation and huge demand, this brand of solvent has earned due to the following features:

1. Very wide scope. It is excellent for diluting varnishes, primers, putties and enamels. It is used during the implementation of repair and construction works of buildings and premises for various purposes, in the process of painting cars, degreasing surfaces, cleaning tools.

2. Availability. You can easily buy it in every building material store.

3. Ease of use. You do not need to have special knowledge to use Thinner 646. Its complex composition reduces the risk of chemical burns and greasy marks to a minimum.

4. Acceptable price. You should be aware that using the p 646 solvent, its technical characteristics are more than excellent for such a low price.

Like any chemical substance, it also has some disadvantages: a sharp and specific odor, toxic, flammable.

Solvent 646 is a compound of several volatile organic substances that has the following physical and chemical properties:

- flash point – 7 °C;
- self-ignition temperature +4037 °C;
- boiling point +59 °C;
- density – 0,87 g/cm³;
- it does not gain viscosity and does not freeze.

In addition, it will not be superfluous to look into the passport of this substance, although most of the numbers will not say anything to an ordinary person, but a production technologist can prohibit and give recommendations for use based on these parameters.

The p6 grade solvent has the following characteristics:

- acid number – 0,06 mg KOH/g;
- mass fraction – 0,09 %;
- volatility (according to ethyl ether) – 12;
- dissolving action – does not leave whitish and dull spots;
- number of coagulation 40 g/o;
- specific weight – 0,68 kg/l.

A solvent is used for the production and work with various coatings, including the nitrocellulose group of paints. P-646 is needed either for dilution before use, or during the production process. In addition to the nitrocellulose group of paints, it is also used to dilute acrylic and melanoamide paints and varnishes.

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. Гримитлин, М. И. Вентиляция и отопление в цехах машиностроительных заводов / М. И. Гримитлин [и др.] // М.: Машиностроение, 1978. – 272 с.
2. Янин, Е. П. Экологические аспекты использования органических растворителей и лакокрасочных материалов в электротехнической промышленности / Е. П. Янин // Ресурсосберегающие технологии, 2010. – № 12. – С. 3–13.
3. Фиалковская, Т. А. Вентиляция при окраске изделий / Т. А. Фиалковская // М.: Машиностроение, 1978. – 182 с.
4. Дмитриевский химический завод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dcpt.ru/blog/rastvoriteli-646-647-tekhnicheskie-kharakteristiki/>. – Дата доступа: 24.02.2023.

УДК 696.2

Повышение надежности газораспределительных систем

Титов А. С., Романюк В. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрен вопрос повышения уровня надежности газораспределительных систем путем кольцевания газопроводов, предложен подход к обоснованию принятия решения о необходимости их строительства.

Как при строительстве параллельных участков газопроводов (лупингов) или модернизации трубопроводов вставками большего диаметра, так и при строительстве кольцевых газопроводов (закольцовок) в первую очередь руководствуются результатами гидравлического расчета газораспределительной сети с учетом как существующих, так и возможных перспективных по-

треблений газа с учетом коэффициентов одновременности [1]. Также немаловажную, а может даже и первостепенную роль при этом оказывают сведения о значениях избыточного давления перед газоиспользующим оборудованием у потребителей, получаемые ежегодно в процессе эксплуатации путем замера их в характерных точках согласно требованиям [2] в период наиболее холодного времени года, когда имеют место пиковые максимальные нагрузки. Результаты этих измерений служат основанием для рассмотрения вопроса необходимости корректировки режимов работы ГРП (ШРП), а также основанием для проведения гидравлического расчета с целью обоснования необходимости кольцевания газопроводов для дальнейшего включения ее в программу проектирования и строительства.

Результаты анализа существующих газораспределительных сетей выявляют большое количество именно тупиковых систем. В случае возникновения аварийных ситуаций, связанных с нарушением герметичности газопровода, это может повлечь за собой отключение большого количества потребителей газа. Не менее трудозатратным является дальнейший процесс восстановления газоснабжения путем подключения потребителей после остановки подачи газа.

С целью уменьшения затрат на аварийные отключения, повышения уровня надежности поставки газа потребителям, а также повышения безопасности при аварийных ситуациях предлагается подход к принятию решения о необходимости строительства кольцевых газопроводов дополнить вариантом, основанным на необходимости обеспечения вышеперечисленных факторов.

Рассмотрим данный вопрос, опираясь в первую очередь на статистические данные основных типоразмеров диаметров наружных подземных газопроводов среднего и низкого давлений, находящихся в эксплуатации. Анализ показывает, что наиболее распространенным типоразмером являются трубопроводы для среднего давления – D32 мм, для низкого – D32 и D57 мм. Это объясняется в первую очередь тем, что данный типоразмер диаметров труб использовался и используется для строительства газопровод-вводов, а также в тупиковых относительно незначительной протяженности участках распределительных сетей при прокладке уличных газопроводов.

Остановим свое внимание на больших типоразмерах труб, обладающих большей пропускной способностью. По объему использования однозначно можно выделить D63 мм для газопроводов среднего давления и D90 и D89 мм для низкого давления. Исходя из полученных сведений предположим, что наиболее вероятным событием при строительстве кольцевого участка газораспределительной системы будет строительство газопровода, соединяющего дан-

ные типоразмеры труб. В ином случае планируемый к строительству газопровод будет по своему типоразмеру превышать принимаемые к расчету диаметры и, соответственно, обладать лучшими характеристиками, а в частности – большей пропускной способностью.

Для проведения расчетов воспользуемся классической формулой скорости движения газа в газопроводе [3]:

$$W = 0,01273 \cdot Q \cdot z \cdot T / (D^2 \cdot p), \quad (1)$$

где W – скорость движения газа в газопроводе, м/с; Q – расход газа через данное сечение, м³/ч; z – коэффициент сжимаемости; T – температура газа, К; D – внутренний диаметр трубопровода, мм; p – абсолютное давление газа, МПа.

Отсюда можно определить максимальную пропускную способность трубопровода Q_{\max} , которая будет соответствовать максимальной скорости потока газа. При этом будем исходить из позиции необходимости обеспечения максимальной пропускной способности для случаев пиковых режимов потребления или возникновения аварийной ситуации. Согласно приложения В [1] максимальная скорость потока газа составляет 25 м/с. С учетом этого максимальную пропускную способность трубопровода можно выразить:

$$Q_{\max} = 196,386 \cdot D^2 \cdot p / (z \cdot T). \quad (2)$$

Результаты расчетов для указанных типоразмеров диаметров (с учетом сортамента полиэтиленовых труб: SDR17 для низкого и SDR11 для среднего давлений, а также наиболее распространенный тип стальной трубы D89×3,5 мм) при различных величинах рабочих давления газа, применяемых в системах газораспределения, а также их максимально допустимых значений сведем в табл. 1.

Таблица 1

Максимальная пропускная способность трубопроводов

Рабочее давление, МПа	Пропускная способность трубопровода, м ³ /ч, следующих типоразмеров диаметров, мм		
	63	90	89
0,003	214	438	469
0,15	445	912	1132
0,3	710	1456	1808

Далее необходимо определить количество потребителей газа, для которых рассмотренные типоразмеры диаметров труб смогут обеспечить данное потребление газа. При этом будем учитывать вариант установки у потребителей не только газовой плиты ПГ4 (как в многоквартирном жилом фонде), но и одновременно с этим настенного отопительного газового котла наиболее распространенных моделей мощностью 24 кВт. Тем самым мы ухудшаем возможную аварийную ситуацию и предполагаем устройство закольцовки на участках с многоквартирной застройкой с поквартирной системой отопления или в частном секторе с индивидуальными жилыми домами.

Воспользуемся формулой расчетного часового расхода газа, определяемого по сумме номинальных расходов газа газовыми приборами с учетом коэффициента одновременности их действия [1]:

$$Q_d^h = \sum_{i=1}^m K_{sim} q_{nom} n_j, \quad (3)$$

где K_{sim} – коэффициент одновременности, значение которого следует принимать для жилых домов, как приведено в приложении В [1]; q_{nom} – номинальный расход газа прибором или группой приборов, принимаемый по паспортным данным или техническим характеристикам приборов, м³/ч; n_j – количество однотипных приборов или их групп; m – количество типов приборов или их групп.

Число n – искомая нами величина, определяющая количество квартир или индивидуальных жилых домов, в которых установлено газоиспользующее оборудование.

В данном конкретном случае мы имеем $m = 2$: типы приборов котел и плита. Определимся с номинальными расходами данного газоиспользующего оборудования.

Для отопительных и водогрейных настенных котлов данный показатель зависит от их мощности, отапливаемой площади (а точнее объема), КПД котла. Производители различных марок котлов указывают различные величины номинального расхода. При усредненных теплопотерях, мощность потока которых можно оценить 80 Вт/м², рассчитанных для температуры наружного воздуха –24 °С, то при отапливаемой площади 200 м² и КПД котла 91 % максимальный расход газового котла составит 1,78 м³/ч.

Усредненный номинальный расход газа для четырехкомфорочных газовых плит составляет 0,995 м³/ч.

Согласно приложению «В» [1] коэффициент одновременности для отопительных котлов, независимо от их количества, рекомендуется применять равным 0,85. Для плит примем значение данного показателя усредненным

путем интерполяции между его значениями, принимаемыми согласно упомянутого приложения «В» [1], равным 0,176.

Тогда количество квартир или индивидуальных жилых домов (а в итоге – количество потребителей) сможем определить по формуле

$$n = Q_d^h / (K_{пл} q_{пот.пл} + K_k q_{пот.к}), \quad (4)$$

где значение Q_d^h принимаем согласно табл. 1 полученных значений пропускной способности для соответствующих типоразмеров труб и давлений в них.

Результаты расчетов сведем в табл. 2.

Таблица 2

Количество потребителей, обеспечивающихся газом с учетом пропускной способности закольцовок соответствующих диаметров труб

Рабочее давление, МПа	Количество потребителей, ед., по соответствующим типоразмерам диаметров труб закольцовок, мм		
	63	90	89
0,003	–	259	278
0,15	263	–	–
0,3	420	–	–

Выводы

1. Полученные результаты можно принять в качестве обоснования при определении нижнего порога количества потребителей (квартир или индивидуальных жилых домов, оборудованных газоиспользующим оборудованием для нужд отопления и приготовления пищи) при выборе объектов газораспределительной системы (ГРП, ШРП), для которых решается вопрос о необходимости строительства закольцовок.

2. С учетом определенной объективной погрешности расчетов, связанных с некоторыми допущениями, на основании полученных данных предлагается нижнее пороговое число потребителей (для обоих типов давления в газораспределительной сети) принять равным 250 ед.

Литература

1. СН 4.03.01-2019. Газораспределение и газопотребление. – Минск: Сройтехнорм, 2020. – 106 с.
2. Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь: постановление М-ва по

чрезвычайных ситуациях Респ. Беларусь, 02 февр. 2009 г., № 6 (редакция от 23.02.2018) // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. (Дата обращения: 17.12.2022). – Текст: электронный.

3. Справочник по проектированию магистральных газопроводов / А. К. Дерцакян [и др.]; под ред. А. К. Дерцакяна. – Ленинград: Недра. Ленингр. Отд-ние, 1977. – 519 с.

УДК 620.92; 620.97

Оценка эффективности применения теплонасосных установок для утилизации тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплотрасс

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследована энергетическая эффективность утилизации теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды и охлаждения грунта в непроходных каналах теплотрасс, путем интенсификации их вентиляции и применения теплонасосного оборудования. Выявлен потенциал энергосбережения для систем централизованного теплоснабжения с различными видами теплоисточников. Проведена технико-экономическая оценка и определены условия экономической целесообразности реализации предложенного технического решения.

Регенерация потоков теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды при транспорте тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения, утилизация теплоты охлаждения грунта и наружного воздуха являются объектом данного исследования. В качестве целевой функции принята зависимость для снижения потребления первичного энергоресурса, которым в большинстве теплогенерирующих источников является природный газ. Несмотря на то что с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС доля природного газа в приходной части энергобаланса энергосистемы должна уменьшиться с 97 до 59 %, задача по его снижению остается актуальной.

Экономия топлива в системах централизованного теплоснабжения возможно за счет регенерации потоков теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды, утилизации теплоты охлаждения грунта и переохлаждения наружного воздуха в условиях применения теплотрасс с непроходными каналами путем размещения в концевых точках теплотрасс на тепловых пунктах (ТП) вытяжных вентиляторов и теплонасосных установок (ТНУ).

Для решения обозначенной задачи проведено планирование эксперимента, в рамках которого установлены определяющие факторы и диапазоны их изменения (46 точек для исследования влияния шести факторов) [1; 2].

Создание адекватной экспериментальной установки, обеспечивающей проведение эксперимента, в соответствии с установленными в ходе планирования требованиями в принципе невозможно, поэтому разработана виртуальная экспериментальная установка на платформе программного комплекса Ansys [3].

Получены уравнения регрессии, позволяющие установить [4]:

- мощность потока теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды;

- мощность потока теплоты процесса теплопереноса между грунтом, прилегающим к каналу, и воздухом, протекающим внутри канала;

- мощность интегрального потока теплоты для процессов теплопереноса, протекающих между потоком воздуха с трубопроводами сетевой воды и грунтом через ограждающие конструкции канала;

- потери напора при движении потока воздуха внутри канала.

Для анализа регрессионных зависимостей построены двумерные сечения гиперповерхностей, соответствующих полученным уравнениям регрессии при зафиксированных значениях тех или иных факторов [5]. Проведены верификация и валидация регрессионных соотношений. Они могут использоваться для расчетов характеристик при проектировании, поскольку охватывают основной набор теплотрасс в непроходных каналах [5]. В этом контексте не требуется обобщений указанных уравнений в виде критериальных зависимостей, что облегчает задачу специалистам.

На первом этапе исследования на основании ранее полученных регрессионных зависимостей [4; 5] по характерным температурам окружающего воздуха и грунта для каждого месяца выбранного климатического района, температурам сетевой воды в соответствии с температурным графиком источника для каждого участка теплотрассы непроходного канала выбирается скорость потока продуваемого воздуха в пределах до 8 м/с. При этом температура воздуха перед ТП должна находиться в пределах температуры грунта. Были рассчитаны характеристики продуваемого потока воздуха, поступающего из канала на вход ТП. Определяющий размер, живое сечение канала рассчитывали по соотношениям, приведенным в [3].

Если длина участка канала превышает значение, предусмотренное уравнением регрессии, участок разбивают на отрезки требуемой длины, при этом характеристики потока воздуха на входе каждого последующего отрезка соответствуют расчетным характеристикам потока воздуха на выходе предшествующего отрезка. Погрешность подхода не превышала 15–20 %.

Результаты расчетов определяющих величин для перечисленных диаметров теплотрасс и характерных температур приведены на рис. 1, 2.

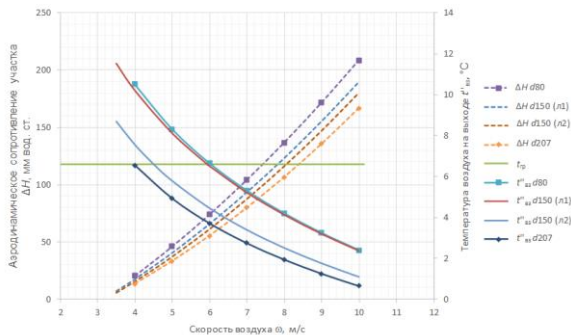


Рис. 1. Аэродинамическое сопротивление участка (ΔH) (левая ось ординат) и требуемая скорость прокачки воздуха, обеспечивающая требуемую температуру нагрева воздуха на участке канала (правая ось ординат) при различных скоростях для различных диаметров трубопроводов (d80–d207, при этом л1 и л2 – лотки различных типоразмеров для одного диаметра трубопроводов) при длине участка 150 м для декабря

По полученным данным можно оценить мощность вытяжного вентилятора для каждого характерного периода года и выбрать нагнетатель, оснащенный частотным приводом, ввиду значительного изменения расхода воздуха. Затем определяют мощность доступных для утилизации низкотемпературных потоков теплоты, по температуре охлаждения воздуха рассчитывают отопительный коэффициент ТНУ, его электрическую и тепловую мощность для заданного отрезка времени.

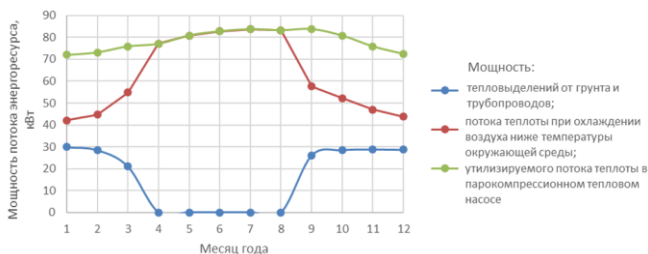


Рис. 2. Мощность низкотемпературных потоков теплоты в исследуемой системе утилизации

На основе данных о расходе и температуре потока воздуха, поступающего на ТП по характерным месяцам отопительного и межотопительных периодов, значений COP_{hp} определяли температуру охлаждения воздуха в ТНУ так, чтобы мощность последнего в течение года практически не изменялась. В межотопительный период воздух поступает в ТНУ с помощью вентилятора из окружающей среды и охлаждается. Таким образом, максимально используют номинальную мощность ТНУ. Температура потока сетевой воды изменяется незначительно, поскольку его расход больше, чем необходимо ТНУ. Нагрев воды в ТНУ осуществляется в диапазоне 60–90 °С [6; 7].

На втором этапе исследования выполнена технико-экономическая оценка разработанного решения.

Зависимость системной экономии топлива и сроков возврата инвестиций для канала теплотрассы диаметром 200 мм от мощности ТНУ показан на рис. 3, 4. На рис. 5 представлена зависимость динамического срока окупаемости от мощности ПКТН и длины продуваемого участка.

Эффект повышения мощности ТНУ с увеличением длины теплопровода снижается от $\pm 50\%$ при мощности 25 кВт до менее $\pm 10\%$ при мощности выше 50 кВт. Характер изменения сроков окупаемости (рис. 5) показывает наличие области минимумов в пределах изменения мощности ТНУ от 75 до 175 кВт. Во всех рассмотренных вариантах срок возврата инвестиций лежит в диапазоне 4,5–7,0 года, тем самым выполняется ограничение по сроку возврата инвестиций для энергосберегающих проектов в Беларуси.

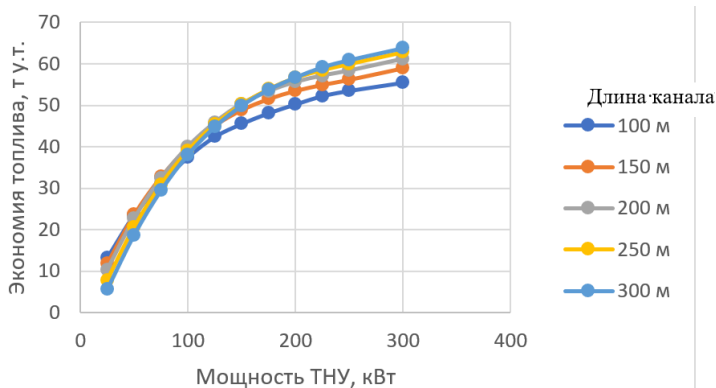


Рис. 3. Влияние мощности теплонасосной установки на системную экономию топлива для каналов теплотрассы диаметром 200 мм в пределах его изменения длинами от 100 до 300 м

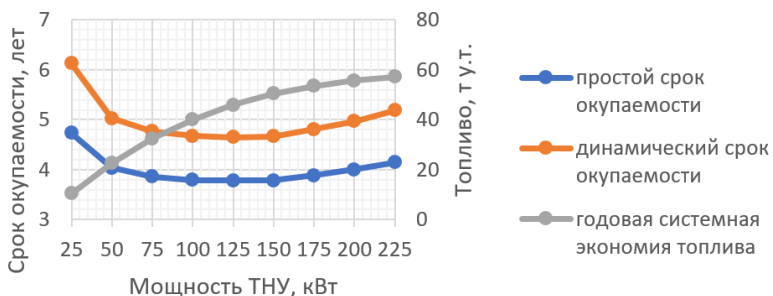


Рис. 4. Влияние мощности ТНУ на системную экономию топлива и сроки окупаемости для канала теплотрассы диаметром 200 мм, длиной 200 м

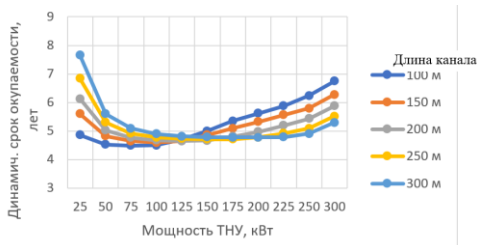


Рис. 5. Влияние на срок возврата инвестиций мощности ТНУ и длины участка канала для теплотрассы диаметром 200 мм

Из анализа полученных данных следует, что экономия инвестиций несколько выше на теплотрассах больших диаметров, что ожидаемо. В то же время независимо от длины участка для каждого диаметра теплотрассы имеется оптимальная мощность ТНУ. Так, для теплотрассы диаметром 200 мм это диапазон 110–150 кВт. Суммарный энергосберегающий эффект для системы централизованного теплоснабжения Витебска составляет 6,38 тыс. т у. т. в год при инвестициях 7,25 млн дол. и сроках их возврата порядка 4,5 года.

Разработана методическая база для выявления потенциала энергосбережения для систем централизованного теплоснабжения, а также для энергосистемы в целом при регенерации и утилизации тепловых потоков от теплопроводов и грунта участков тепловых сетей, проложенных в непроходных каналах, путем интенсификации их вентиляции и применения теплонасосного оборудования в конечных точках каналов (тепловых пунктах) для

нагрева сетевой воды в зависимости от набора факторов: характеристик участка теплотрассы, температур воздуха, грунта и сетевой воды.

Анализ результатов оценки эффективности утилизации теплоты, расходуемой трубопроводами сетевой воды и охлаждения грунта путем установки на центральных тепловых пунктах для конкретно заданных условий (теплопроводов с диаметром 200 мм) показал, что динамический срок окупаемости по системной экономии и сложившейся экономической ситуации в Республике Беларусь не превышает требуемых сроков возврата инвестиций 4,5–7,0 года.

Литература

1. Седнин, В. А. Системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования для теплотрасс в непроходных каналах / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Энергия и менеджмент. – 2017. – Т. 97, № 4. – С. 2–6.

2. Седнин, В. А. Регенеративно-утилизационное теплоиспользование в непроходных каналах теплотрасс / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий: сб. науч.-практ. конф. в рамках Форума проектов программ Союзного государства – VI Форума вузов инженерно-технологического профиля, 24–28 октября 2017 г. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 116–120.

3. Седнин, В. А. Численное исследование сложного теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2019. – Т. 62, № 1. – С. 61–76. – Режим доступа: doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-61-76.

4. Седнин, В. А. Исследование теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс. Часть 1 / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 150–160. – Режим доступа: doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-2-150-160.

5. Седнин, В. А. Исследование теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс. Часть 2 / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Наука и техника. – 2021. Т. 20, № 3. – С. 248–258. – Режим доступа: doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-248-258.

6. High Temperature Heat Pumps [Electronic Resource] // European Fluorocarbons Technical Committee (EFCTC). 2022. – Mode of access: <https://www.fluorocarbons.org/applications/high-temperature-heat-pumps/>. – Date of access: 13.08.2022.

7. A Review and Perspective on Industry High-Temperature Heat Pumps [Electronic resource] / J. Jiang [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. Vol. 161. – 112106. – Режим доступа: doi.org/10.1016/j.rser.2022.112106.

Экспериментальное определение конвективной составляющей теплового потока к поверхности льда на открытом тренировочном катке

Ливанский Д. Г., Шабан З. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Оптимальный температурный режим ледовых площадок имеет большое значение, так как от этого зависит качество и безопасность ледовой поверхности для обеспечения комфортных условий для занимающихся спортом и зрителей. Одним из факторов, влияющих на температуру ледовой поверхности, является конвективный тепловой поток, возникающий при взаимодействии поверхности льда с окружающим воздухом.

Целью данного исследования является изучение влияния конвективного теплового потока на температуру ледовой поверхности на ледовой площадке. В ходе исследования будут изучены механизмы конвективного теплообмена, определены факторы, влияющие на этот процесс, и проанализированы его последствия для температурного режима льда. Результаты данного исследования могут способствовать более глубокому пониманию физических процессов, происходящих на ледовой поверхности, и помочь оптимизировать условия эксплуатации ледовых площадок и снизить энергетические затраты на поддержание температурного режима льда.

Проведенные исследования влияния конвективного теплового потока на температуру льда на ледовой площадке показывают, что конвективный тепловой поток является значительным фактором, влияющим на температуру ледовой поверхности. Различные факторы, такие как скорость воздушного потока, температура и влажность воздуха оказывают существенное влияние на интенсивность конвекции и, следовательно, на изменение температуры льда. Расположение воздухораспределителей системы кондиционирования воздуха на ледовой площадке и определенная организация потоков воздуха в объеме помещения ледового катка могут создавать турбулентные потоки воздуха, которые приводят к формированию локальных зон повышенной или пониженной температуры на поверхности льда.

Экспериментальное определение конвективной составляющей теплового потока к поверхности льда проводилось на крытом тренировочном катке ХК «Юность-Минск». Измерения проводились с помощью прибора ИТП-МГ4 (теплового потока к поверхности льда, температуры поверхности

льда) и testo 435-4 (температура, скорость и относительная влажность воздуха над льдом).

Измерения параметров воздуха и льда проводились в 15 зонах по осям симметрии ледовой площадки (9 зон вдоль длинной стороны ледовой площадки, 6 зон вдоль короткой стороны, рис. 1). Габаритные размеры ледовой площадки составляют 61×30 м. Некоторые результаты измерений температуры и относительной влажности воздуха над ледовой площадкой приведены на рис. 2.

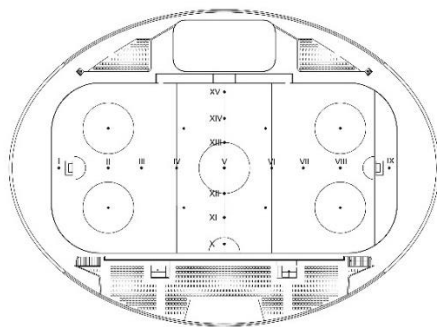


Рис. 1. План ледового катка ХК «Юность-Минск» с расположением мест проведения измерений

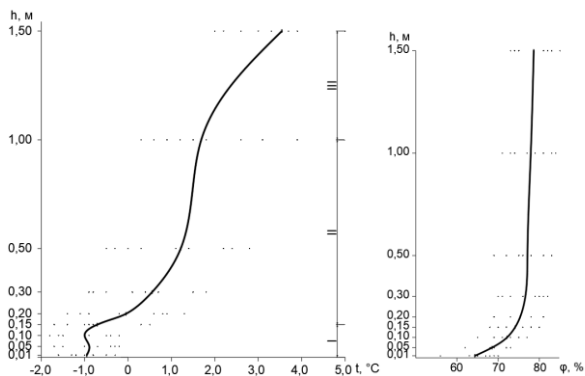


Рис. 2. Распределение средних значений температуры и относительной влажности воздуха по высоте над ледовой площадкой

Как видно из рис. 2 распределение температуры по высоте над ледовой площадкой носит неравномерный характер. Так условно можно отметить несколько температурных слоев: нижний пограничный слой высотой

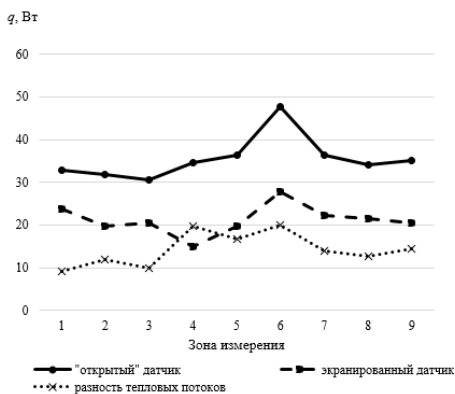


Рис. 3. Измеренные величины потоков теплоты к поверхности льда

0–0,15 м, средний слой высотой 0,15–1,0 м и верхний слой выше 1,0 м. Нижний слой имеет более однородную температуру по сравнению с выше лежащими слоями за счет низкой температуры воздуха и наибольшей его плотности у самой поверхности льда. В среднем и верхнем слоях воздуха наблюдается повышение температуры воздуха за счет влияния приточного воздуха с более высокой температурой по сравнению с температурой воздуха над ледовой площадкой.

На рис. 3 приведены некоторые результаты измерений тепловых потоков к поверхности льда. Для определения конвективной составляющей теплового потока проводились измерения с помощью экранированных датчиков, с целью исключить влияние лучистой составляющей теплового потока. Как видно из рис. 3, определенная таким образом конвективная составляющая теплового потока составляет от 43 % до 72 % от общего теплового потока («открытый» датчик).

В заключение стоит отметить, что конвективная составляющая теплового потока к льду на крытой ледовой площадке ХК «Юность-Минск» составляет более 50 % от общего теплового потока.

Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке более эффективных методов управления тепловыми процессами на ледовых площадках, улучшению их эксплуатационных характеристик и снижению энергетических затрат на поддержание температуры льда.

Литература

1. Ливанский, Д. Г. Влияние окружающей среды на параметры льда МКСК «Минск-Арена» / Д. Г. Ливанский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 182.

2. Ливанский, Д. Г. Микроклимат ледовых арен / Д. Г. Ливанский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 149.

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.

4. Шабан, З. А. Конвективная составляющая теплового баланса крытой ледовой арены = Convective component of the heat balance of the indoor ice arena / З. А. Шабан, Д. Г. Ливанский // XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, г. Минск, 12–16 декабря 2022 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 330–332.

УДК 628.3

Способы ресурсосбережения в зданиях посредством цифровой системы

Данатаров С., Атаева Г. Э.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

В статье рассматривается важность поэтапного и комплексного возведения и сдачи в эксплуатацию в Туркменистане ряда многофункциональных, современных зданий. Показывается выбор самых совершенных видов внутренних инженерных систем для обеспечения наибольшего комфорта в этих зданиях, надлежащей установки в этих системах современного сантехнического оборудования, управления этим оборудованием посредством цифровой системы, а также изучаются некоторые проблемы, возникающие в связи с этими процессами.

Облик нашей Отчизны, в особенности ее беломраморной столицы – города Ашхабада, становится все краше год от года благодаря последовательно строящимся и сдаваемым в эксплуатацию жилым домам, культурно-бытовым и общественным объектам и промышленным предприятиям производственного назначения. Основную долю новостроек составляют жилые массивы. Наглядным свидетельством обеспечения высокого уровня жизни и благополучия народа в нашей стране являются современные жилые комплексы «Чоганлы», «Парахат-7» и «Парахат-8», построенные параллельно в рамках 11-ой, 12-ой, 13-ой, 14-ой, 15-ой и 16-ой очередей развития города

Ашхабада. В жилом массиве «Чоганлы», расположенном в этрапе Багтыярлык города Ашхабада, были торжественно открыты и сданы в эксплуатацию объекты очередного этапа коттеджного комплекса имени Бердымухамеда Аннаева Министерства внутренних дел Туркменистана. Таким образом, со строительством и вводом в эксплуатацию новых очередей современных жилых домов архитектурно-строительный комплекс города Ашхабада пополнился новостройками. Застройка северной части города Ашхабада в настоящее время развивается быстрыми темпами.

В ближайшем будущем, с созданием города Аркадаг Ахалского вelayата, здесь появятся «умные» дома и «умный» город», основанные на внедрении цифровой системы (рис. 1) [1].



Рис. 1. Варианты перевода сантехнического оборудования «умного» дома на цифровую систему

Этот крупномасштабный проект, осуществление которого началось в мае 2021 года в день празднования 140-летия основания города Ашхабада, ознаменовал собой первый за всю историю нашей страны важный шаг на пути к цифровым технологиям.

Деятельность по строительству, наряду с объектами жилищного, социального и производственного назначения, тепличных хозяйств для круглогодичного обеспечения населения различными видами продовольственной, плодовоовощной и бахчевой продукции, а также коневодческих комплексов для разведения и увеличением поголовья прославленных во всем мире ахалтекинских скакунов, являющихся нашей национальной гордостью, комплексов специальных сооружений для разведения и обучения, туркменских алабаев, являющихся признаком нашей национальной идентичности и верными друзьями нашего народа, и других многоцелевых объектов, по их оснащению современным сантехническим оборудованием, по созданию в

них всех удобств и комфортных условий, микроклимата за счет внедрения инновационных технологий, относящихся к цифровой системе, рассматривается как одна из мер, необходимых для обеспечения соответствия современным требованиям [2].

Проводимая в стране грандиозная работа, в особенности позитивные начинания в строительной отрасли, энергетической промышленности, которые вывели экономику нашей Родины на небывало высокий уровень, признанный во всем мире, переполняют сердца жителей Туркменистана огромной гордостью.

К наружному и внутреннему санитарно-техническому оборудованию, которым оснащены современные объекты различного направления, возводимые в Туркменистане в соответствии с требованиями времени, относятся системы отопления, подачи горячей и холодной воды, канализации, вентиляции (воздухообмена) и кондиционирования воздуха, электроснабжения и освещения, газоснабжения, установки генерации тепла и холода. Также предусмотрен комплекс ряда открывающих, закрывающих, регулирующих, контрольных, измерительных и сберегающих санитарно-технических устройств, устанавливаемых для обеспечения бесперебойного и качественного управления и работы оборудования вне зависимости от изменения внешних, внутренних и других факторов (рис. 2).



Рис. 2. Комплекс санитарно-технического оборудования для обеспечения бесперебойного и слаженного управления современными зданиями

Правильный выбор передового санитарно-технического оборудования для современных зданий, внедрение и эффективное использование в них цифровой системы приводит к улучшению условий обслуживания, продлению эксплуатационного срока и превышению ресурсосбережения зданий (рис. 3) [3].



Рис. 3. Автоматический метод отопления помещений для поддержания микроклимата

Резкая и значительная смена внешних факторов в течение короткого времени на территории Туркменистана на протяжении четырех времен года, каждого месяца, каждых суток и каждого часа, прохлады весной и осенью, зной летом, стужа, снег и осадки зимой, приводит к частым переключениям режима работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха, электро- и газоснабжения, установок генерации тепла и холода в зданиях и существенной разнице энергопотребления в них, что, в конечном счете, с одной стороны создает определенные неудобства в условиях жизни и работы людей, а со второй негативно сказывается на надежности и сроке эксплуатации самих систем [4].

Значение использования цифровой системы в передовом санитарно-техническом оборудовании современных зданий зависит от целевого назначения и типа самого сооружения (рис. 4).



Рис. 4. Водопроводный кран с сенсорным смесителем

Осуществление перевода передового санитарно-технического оборудования в зданиях на цифровую систему необходимо для качественного и бесперебойного снабжения потребителей тепловой энергией, горячей и холод-

ной водой, газом, электроэнергией и освещением, надежного и экономически эффективной эксплуатации систем канализации, вентиляции и кондиционирования воздуха. В связи с этим возникает насущная необходимость обеспечения слаженной работы всех элементов санитарно-технической системы коммунального хозяйства, таких как системы отопления, подачи горячей и холодной воды, газа, электричества и освещения, канализация, вентиляции и кондиционирования воздуха, источников тепловой энергии, системы теплоснабжения, тепловых пунктов в зависимости от внешних и внутренних факторов, а также оперативного управления этими системами. Оперативное управление слаженной работой комплекса санитарно-технического оборудования может быть реализовано через цифровую систему.

В целях поддержания требуемых значений таких величин, как температура, давление, объем, скорость, составляющих термодинамические, гидравлические и аэродинамические параметры теплоносителей, подведенных к системам отопления, подачи горячей и холодной воды, теплогазоснабжения и вентиляции оснащаются автоматическими регуляторами. Такие же регуляторы применяются и к технологическому оборудованию промышленных предприятий в системах водоснабжения, теплогазоснабжения и вентиляции. Такой подход позволяет поддерживать нормальный режим функционирования системы и оборудования тепловых пунктов, использующих теплоносители с минимальным количеством обслуживающего персонала (рис. 5) [4].



Рис. 5. Диспетчерское управление системой теплоснабжения

Система водоснабжения, теплогазоснабжения и вентиляции требует четкого определения нижеприведенных проблем:

- структура и проблемы централизованной или частной системы;
- характеристика и функционально связанные средства централизованной или частной системы;

- тип объекта, оснащенного системой автоматического управления;
- конструктивные типы и места установки контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИП и А);
- конструктивное устройство и эффект исполнительного механизма;
- меры по защите объектов и автоматизированных систем от аварий;
- рабочие величины автоматизированных систем.

При четком решении этих проблем можно добиться ресурсосбережения во всех вышеупомянутых системах зданий.

Литература

1. Бердымухамедов Г. К новым высотам прогресса: избранные произведения: в 14 т. / Г. Бердымухамедов // Ашхабад, 2008–2022. – Т. 11. – 2018.
2. Дементьев, А. «Умный» дом XXI века / Андрей Дементьев. – М.: Издательские решения, 2012. – 110 с.
3. CD-ROM. Умный дом. Энциклопедия. – Л., 2008. – 322 с.
4. EIB – система автоматизации зданий / Д. Дитрих, В. Кастнер, Т. Саутер, О. Б. Низамутдинов; Науч. ред. пер. О. Б. Низамутдинов, М. В. Гордеев. – Пермь: Пермский технический университет, 2001. – 376 с.

УДК 628.3

Важность поддержания микроклимата в содержании ахалтекинских коней, являющихся «Небесными скакунами»

Атаева Г. Э., Данатаров С.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

Изучается важность создания микроклимата в конюшнях с учетом специфики их конструкции в соответствии с погодными условиями Туркменистана, с обогревом в холодное время года и охлаждением и увлажнением в жаркие и засушливые периоды, а также выбора надлежащих способов уборки и очистки конюшен. Раскрываются основные факторы, влияющие на микроклимат в конюшнях. Также исследуются вопросы, связанные с влиянием самих коней на микроклимат в конюшнях.

В своем историческом выступлении на заседании Халк Маслахаты, проведенном, 25 сентября 2021 года, прошедшего под девизом «Туркменистан – Родина мира и доверия», в преддверии славной 30-й годовщины нашей священной Независимости, наш Герой-Аркадаг, Национальный Лидер туркменского народа Гурбангулы Бердымухамедов подробно остановился

на прогрессе и успехах, достигнутых за прошедшие три десятилетия, и работе, которую предстоит выполнить в будущем.

После обретения нашей священной Независимости, Туркменистан сегодня добился особенно больших успехов во всех отраслях народного хозяйства. Как подчеркивает Герой-Аркадаг, «в сознании, культурной и духовной жизни нашего народа произошли большие перемены, сложились совершенно новые общественные отношения. Наша независимость вернула нам материальные и духовные ценности, высокие гуманистические традиции нашего народа, которые уходят корнями вглубь тысячелетий и передавались из поколения в поколение». Наш Герой-Аркадаг особо отмечает тот факт, что эти успехи достигаются на основе передового опыта развитых государств.

В результате беспрецедентных усилий главы государства, глубоко почитающего прошлое туркменского народа, проницательный ум и богатое наследие наших предков, в современную эпоху достойно продолжают наши совершенные национальные коневодческие традиции, дошедшие до наших дней из древности, а коневодческая отрасль выводится на новый уровень развития по всей стране. Проводимая под мудрым руководством Уважаемого Президента работа по бережному сохранению богатой истории и культурного наследия нашего народа способствует приумножению мировой славы ахалтекинских скакунов.

На протяжении своей истории, отличной от истории других народов, туркмены заботились о своих конях намного больше, чем о других домашних животных [1]. Они прилагали особое усердие в содержании, уходе, кормлении и поении коней (рис. 1–5).



Рис. 1. Варианты условий содержания коней

Причина такой тщательной заботы о конях возникла вовсе не случайно. Эти отношения складывались на протяжении веков вследствие того, что люди преодолевали жизненный путь вместе с конями с момента возникновения человеческой цивилизации до сегодняшних дней. В сравнении с другими животными кони остаются для людей самыми близкими, любимыми

наперсниками подобно человеку. Значение коня неопределимо в таких сферах человеческой жизни как конный спорт, конные прогулки, работа в отдаленных районах, в горных условиях, на пограничных рубежах [2]. С увеличением числа конноспортивных комплексов повысился интерес человека к коням (рис. 1). В связи с этим, становится необходимым, соблюдать условия содержания коней.

При содержании коней следует поддерживать микроклимат внутри конюшни в зависимости от изменения внешних и внутренних воздействий. К микроклимату в основном относятся температура, уровень влажности, состав газов в воздухе конюшни, скорость движения воздуха внутри конюшни, уровень шума, запыленность, освещение и микробная обстановка, формирующаяся в помещении (рис. 2) [3]. Указанные условия могут напрямую влиять на состояние здоровья коней.



Рис. 2. Устройство конюшни с учетом организации надлежущего содержания, кормления и поения коней

По этой причине коневодческим предприятиям рекомендуется пользоваться технологическими нормами проектирования конюшен (ТТК). Согласно этим нормам микроклимат конюшен должен составлять: температура 4–7 °С; уровень влажности 70–75 %; скорость движения воздуха 0,2–0,3 м/с; допустимая концентрация вредных газов: углекислый газ (CO_2) 0,2 %, аммиак (NH_3) 20 мг/м³, сероводород 10 мг/м³; уровень шума 65 дБ; отношение площади остекления к площади пола 1:10; запыленность 150 тыс. микротел/м³, воздухообмен 17 м³/ч на 1 цн. Указанные величины являются условиями, которые должны соблюдаться коневодами для создания и поддержания микроклимата (рис. 3) [4].

В целях расширения масштабов, проводимых в нашей стране научных исследований в этой области, и всестороннего изучения ахалтекинских скакунов, Герой-Аркадаг Гурбангулы Бердымухамедов дал поручение о создании научного центра при Туркменском сельскохозяйственном университете, а также выдвинул идею о создании Академии ахалтекинского коневодства в нашей стране.

Сегодня, успешное выполнение задач, предусмотренных в «Программе Президента Туркменистана по социально-экономическому развитию страны в 2022–2028 годах», предусматривают и дальнейшее развитие коневодческой отрасли, модернизации ее инфраструктуры, приумножению поголовья, сохранения чистоты породы лошадей, подготовки высококвалифицированных специалистов в этой области на комплексной и научной основе. Уважаемый Президент Сердар Бердымухамедов подписал Указ об учреждении Международной академии коневодства имени Аба Аннаева и передаче Международной академии коневодства имени Аба Аннаева в ведомство Государственного объединения «Туркмен атлары» и Постановление о вопросах Международной академии коневодства имени Аба Аннаева (г. Ашхабад, 10 февраля 2023 года).



Рис. 3. Вид основных условий содержания коней с учетом экологичного создания и поддержания микроклимата

Как и в других государствах, уделяющих большое внимание вопросам коневодства и изучающих их на научной основе, в Туркменистане публикуются научные, учебные и другие методические пособия, в которых дается, и доводится до народа, подробная информация о методах содержания в конюшнях, разведения и использования лошадей (рис. 4).



Рис. 4. Интерьер таджикской конюшни, предназначенной для племенного разведения лошадей

Об этом же свидетельствуют и книги об ахалтекинских конях, являющихся «небесными скакунами», подаренные нашему народу Героем-Аркадагом Гурбангулы Бердымухамедовым.

Изучение технологии разведения и использования, содержания коней в условиях конюшен является одной из важнейших проблем. В этом плане важной задачей выступает поддержание оптимального микроклимата в конюшнях.

Под микроклиматом конюшни понимается состояние климатических условий в помещении, где содержатся кони (рис. 5). Микроклимат характеризуется рядом условных величин воздуха, которые оцениваются по изменениям их состояния в зависимости от различных внешних и внутренних факторов.



Рис. 5. Графическое представление организации содержания и ухода за конями

Как показывают научные данные, при содержании коней в конюшне в течение дня или суток содержание аммиака, оказывающего на них вредное воздействие, достигает предельно допустимой концентрации, в результате создаются неблагоприятные условия. При размещении коней в конюшне на отдых, через два часа они начинают страдать из-за плохого микроклимата, создавшегося в помещении.

С учетом такой ситуации и используя широкие возможности, создаваемые Уважаемым Президентом, внимание научных сотрудников исследовательских центров страны и Академии ахалтекинского коневодства, и вообще всех коневодов будет сосредоточено на улучшении климатических условий внутри конюшен, что является важнейшим условием технологии содержания коней в условиях конюшни.

Эти вопросы являются предметом углубленного изучения преподавателями и студентами кафедры «Водо-, газо- и теплоснабжение» Туркменского государственного архитектурно-строительного института, где проводится обучение по специальностям «Теплогасоснабжение и вентиляция» и «Водоснабжение и отведение сточных вод» в проводимых ими научных кружках.

В ходе научной работы, выполняемой в научных кружках, изучаются оптимальные способы создания микроклимата с их отоплением в холодное время года и охлаждением в жаркое и сухое время года в соответствии с климатическими условиями Туркменистана, а также промывки и очистки конюшен. Выявляются основные факторы воздействия на микроклимат в конюшнях. Вместе с тем изучается воздействие, оказываемое самими конями на микроклимат в конюшнях.

Выражаем благодарность Национальному Лидеру туркменского народа, Герою-Аркадагу, а также Уважаемому Президенту за созданные широкие возможности в приумножении мировой славы ахалтекинских скакунов, являющихся бесценным достоянием, гордостью и опорой туркменского народа.

Литература

1. Бердымухамедов, Г. Стремительная поступь скакуна / Гурбангулы Бердымухамедов. – Ашхабат: Туркменская государственная издательская служба, 2016. – 286 с.
2. Бердымухамедов, Г. Ахалтекинец – наша гордость и слава / Гурбангулы Бердымухамедов. – Ашхабат: Туркменская государственная издательская служба, 2008. – 276 с.
3. Крессе, В. Лошади. Содержание, уход и лечение / Вольфганг Крессе: пер. с нем. – М.: Аквариум, 2007. – 319 с.
4. Федотов, П. А. Коневодство: учебник для техникумов / П. А. Федотов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 271 с.

УДК 621.184.64

Использование молочной сыворотки для удаления накипи теплообменников

Аразклычев А. Т., Джумадурдыев Т. М.

Туркменский государственный архитектурный строительный институт
Ашхабат, Туркменистан

В данной работе для очистки от накипи теплообменных аппаратов в качестве очищающей жидкости использовалась молочная сыворотка. При очистке теплообменных аппаратов от наростов со сложным химическим составом молочной сывороткой установлены преимущества данного метода, моющий состав удобный, экологически чистый и безопасный, не требует больших материальных затрат и экономичен.

Эффективное применение современных достижений науки и техники в государственном управлении, экономике и промышленности в настоящем является одним из важнейших аспектов будущего развития всего государства. Кроме того, актуальными сферами, вызывающими интерес практически всех стран, можно назвать нанотехнологии, химические технологии, исследования новых материалов, биотехнологии, молекулярная биология, сельское хозяйство, экология, информационные и коммуникационные системы, современная медицина и фармацевтические исследования, инновационная экономика, гуманитарные науки и многие другие области науки.

На сегодняшний день наиболее привлекательными выглядят новые методы повышения эффективности производства тепловой энергии объектами теплоэнергетики. Проблемы использования металла, тепла, природных ископаемых (угля, нефти, природного газа), то есть, экономного и рационального сжигания топлива, получаемого из них экономии электроэнергии, защиты окружающей среды, продления срока эксплуатации объектов теплоэнергетики являются задачами, стоящими перед специалистами в области энергетических технологий.

Внутренние стенки бойлеров, паровых котлов и труб теплообменников со временем разрушаются под воздействием солей, содержащихся в используемой воде. Появление накипи возможно предотвратить, очищая несколькими способами воду, поступающую в теплообменники, но несмотря на эти меры, накипь все равно будет появляться. Образующаяся в теплообменниках накипь удаляется гидромеханическим, гидродинамическим, гидрохимическим, электрогидроимпульсным и ультразвуковым методами.



Рис. 1. Испытательная установка

Для очистки оборудования используется несколько методов. Однако с этой точки зрения одной из приоритетных задач является изобретение и разработка экологически безопасного, экономически доступного способа удаления накипи, не воздействующего на металл.

В настоящее время с целью повышения очистных мощностей и проверки эффективности очистки выбранной нами молочной сыворотки на источнике производства тепловой энергии треста «Ашгабат-тепло» создана экспериментально-испытательная установка (рис. 1).

Определен химический и физический состав накипи и шлаков, образовавшихся в латунных трубах 2-х скоростных водонагревателей типа ВВПЛ-150 источника производства тепловой энергии треста «Ашгабат-тепло». Также выяснилось, что трубы были сделаны из латуни, а «борта» –

из стали, причем в трубах образовалась накипь толщиной более 4 мм, а на «бортах» – 1,5 мм. Был определен химический состав накипи, а полученные результаты наблюдений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав накипи в латунных трубах скоростного
водонагревателя, %

H ₂ O	Потери от перегрева	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ , в общем	CaO, в общем	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,10	42,6	0,8	0,2	1,9	52,0	1,8	0,1	0,1	0,2	99

На Ашхабадском молочном комбинате вначале была определена кислотность молочной сыворотки в пределах 68°–73° рассматриваемого нами очистителя, получаемого после образования творога из молока. В некоторых странах, в зависимости от времени года, кислотность сыворотки колеблется от 25° до 90°.

Для проверки проводимой работы эксперименты проводились двумя способами, т. е. способом термической циркуляции и практической разработки. К очистке были подготовлены и обработаны два последовательно соединенных скоростных водонагревателя, один из которых имел 37 латунные трубы. Впервые влияние молочной сыворотки на накипь в целом наблюдалось как при нормальной, так и при более низкой температуре. Научные испытания проводились в скоростном водонагревателе при температуре от 35 °С до 81,5 °С, а полученные результаты испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Выявленные показатели очистки водного раствора молочной сыворотки
при нагревании молочной сыворотки до температуры выше 35 °С
(продолжительность испытания 72 часа)

Потери от перегрева	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ , в общем	CaO, в общем	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
63,3	5,5	0,1	12	4,1	0,15	1,9	0,15	11	0,7	0,1

При проведении анализа нами было обнаружено, что повышение температуры и давления молочной сыворотки приводит к ее вспениванию (рис. 2).



Рис. 2. Состояние экспериментально-испытательной установки и образование пены во время очистки

Когда температура молочной сыворотки повысилась до 41,5 °С, то она начала пениться. Испытания проводились при температуре от 41,5 °С до 81,5 °С, а полученные результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Выявленные показатели при нагревании молочной сыворотки до температуры выше 41,5 °С, и очистка пенным раствором (продолжительность испытания 72 часа)

Потери от перегрева	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ , в общем	CaO, в общем	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
64	2,8	0,2	7,75	16	0,7	2,24	0,7	3,1	0,61	1,42

По итогам исследований можно сказать, что удалось провести производственный эксперимент по способу удалению накипи с помощью пены молочной сыворотки и ее водного раствора.

В результате эффективности пены молочной сыворотки установлено, что количество накипи уменьшается равномерно, в зависимости от растворимости ее примесей.

Очистительные работы циркулярным методом периодически проводились в течение 72 часов. Затем циркуляционный насос был остановлен, а раствор выведен из системы. При сливе отработанного раствора выпадали отколотые крупные образования накипи.

В теплообменниках при очистке крупных отложений накипи с помощью молочной сыворотки в качестве очистителя, ее преимущества заключаются в следующем:

1. Было обнаружено, что молочная сыворотка, используемая в качестве очищающего раствора, может быть снова использована после фильтрации.

2. Дешевизна используемого местного сырья и простота разработанной технологии показала уместность реализации предложенного способа в производстве.

3. Доказано, что молочная сыворотка в экономическом сравнении в 4 раза дешевле кислот и других методов очистки.

4. Молочная сыворотка, служащая очищающим раствором, экологически чистая и безопасная, не требует больших вложений и рационального использования.

Литература

1. Жарков, В. В. Способы очистки поверхностей теплообменников котельных установок от накипи / В. В. Жарков, Х. К. Курбанов, А. Т. Оразглыджов // Наука и техника в Туркменистане: научно-теоретический журнал Академии наук Туркменистана. – 2010. – № 6. – С. 24–30.

2. Оразглыджов, А. Т. Способ продления срока службы теплообменников в источниках производства тепловой энергии / А. Т. Оразглыджов // Краткое описание докладов международной научной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху Великого возрождения». – А: Наука, 2011.

3. Способы очистки поверхностей теплообменников котельных установок от накипи. Ограниченный патент на изобретение № 504. Патентный департамент Министерства экономики и развития Туркменистана. Дата регистрации в Государственном реестре: 13.02.2012 г.

4. Аразклычев, А. А. Проведение научного анализа накипи образующейся в теплообменном оборудовании / А. А. Аразклычев // Цели устойчивого развития: Молодежная политика и инновационные технологии: международная науч.-практ. конференция. – А., 2023.

Исследование градуировочных характеристик крыльчатых анемометров

Лешкевич В. В., Кудин О. Д., Борташевич А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты исследований градуировочных характеристик крыльчатых анемометров.

Широкое распространение анемометров в разных отраслях промышленности на территории Беларуси началось в 1930-х годах с выходом ОСТ 40060 «Анемометр ручной типа Фусса». Описываемое устройство представляет собой чашечный анемометр (рис. 1), который довольно редко применяется при исследованиях систем вентиляции.



Рис. 1. Анемометр
ручной типа Фусса
по ОСТ 40060

В 1950-х годах выходит ГОСТ 6376-52, а в 1975 г. его развитие – ГОСТ 6376-74 [1], которые описывают технические условия на ручные чашечные (для измерения средней скорости ветра на метеорологических станциях) и крыльчатые (для измерения средней скорости направленного воздушного потока в промышленных условиях – рис. 2) анемометры. Анемометры АСО-3, соответствующие требованиям [1], выпускались приблизительно до середины 1990-х годов и активно применяются в настоящее время.



Рис. 2. Анемометры АСО-3:

a – год производства 1963; *б* – год производства 1972;
в – год производства 1987; *z* – год производства 1992

Аналогичные приборы также выпускались и в других странах (рис. 3).



Рис. 3. Ручной крыльчатый анемометр со счетным механизмом производства ГДР

В некотором смысле продолжением традиций является выпускаемый в настоящее время прибор «Мегеон 11050» [2], который является ручным механическим анемометром, аналогичным описанным выше (рис. 4).



Рис. 4. Ручной крыльчатый анемометр со счетным механизмом «Мегеон 11050», производимый в настоящее время

Принцип работы ручного механического анемометра заключается в передаче вращения крыльчатки на стрелку счетного механизма через систему зубчатых колес.

Процесс выполнения измерений состоит в определении числа делений счетного механизма, проходящих на одну секунду, полученных при помещении прибора в воздушный поток при одновременной фиксации времени нахождения в нем с помощью секундомера. Скорость определяется по градуировочной характеристике, представляющей собой зависимости

скорости воздушного потока от числа делений шкалы прибора в одну секунду.

Согласно [3] градуировочная характеристика крыльчатых анемометров представляется в виде двух графиков: 1) в диапазоне скоростей воздуха 0,3–1 м/с; 2) в диапазоне скоростей от 1 до 5 м/с. В первом диапазоне на градуировочный график при поверке наносят 4 точки, соответствующие скорости 0,3 м/с, 0,5 м/с, 0,8 м/с, 1,0 м/с, во втором диапазоне – 6 точек, соответствующих скорости 1,0 м/с, 1,6 м/с, 2,0 м/с, 3,0 м/с, 4,0 м/с, 5,0 м/с.

Авторами выполнен анализ градуировочных характеристик одного и того же крыльчатого анемометра, полученных в процессе периодических проверок в аккредитованных поверочных лабораториях. Сводный график градуировочных характеристик представлен на рис. 5.

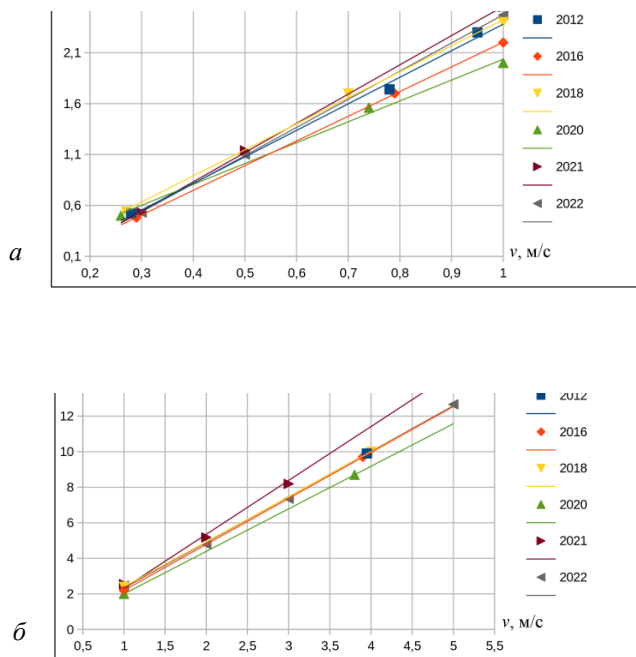


Рис. 5. Градуировочные характеристики анемометра АСО-3 № 348, полученные в различные годы эксплуатации:
 а – в диапазоне скорости 0,2–1,0 м/с; б – в диапазоне скорости 1,0–5,0 м/с

Как видно, наблюдается заметное расхождение характеристик, что говорит о важности регулярной поверки прибора и уточнения его градуировочной характеристики.

Бытует мнение, что градуировочную характеристику одного прибора можно использовать при выполнении измерений другим прибором той же модели с небольшой долей погрешности получаемых результатов. Для проверки данного предположения в рамках студенческой научно-исследовательской работы определены градуировочные характеристики трех анемометров АСО-3 согласно методике [3]. Полученные данные представлены на рис. 6.

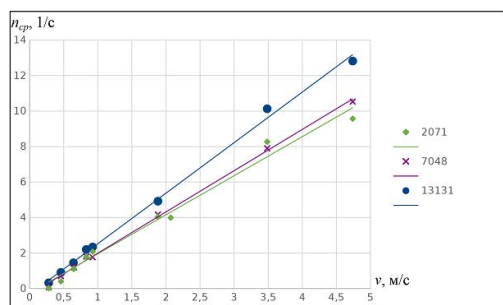


Рис. 6. Градуировочные характеристики анемометров АСО-3 № 2071, № 7048, № 13131

На основе полученных характеристик определены значения отклонения показаний испытуемых приборов от поверенного прибора (№ 348). С учетом отклонений показаний выполнено оценивание неопределенности измерений расхода воздуха в вытяжном отверстии естественной системы вентиляции.

Оценивание неопределенности выполнено по методу Монте-Карло.

В качестве входных величин приняты:

- размеры вентиляционного отверстия 120×200 мм с прямоугольным распределением вероятностей и интервалом входной величины $\pm 0,001$ м;
- скорость движения воздушного потока в вытяжном отверстии $v = 0,8$ м/с с нормальным распределением вероятности и интервалом входной величины $\pm(0,1 + 0,05 \cdot v)$ плюс отклонение по данным рис. 6, м/с.

С помощью программы электронных таблиц сгенерированы массивы случайных чисел объемом $M = 10^5$ для входных величин. Далее по каждому вектору входных величин выполнены расчеты выходной величины (расхода воздуха L , м³/ч) по формуле

$$L = 3600 \cdot v \cdot (a \cdot h),$$

где a, h – соответственно ширина и высота вентиляционного отверстия, м.
Оценка выходной величины определена по выражению

$$L = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M L_r,$$

а стандартная неопределенность из выражения

$$u^2(L) = \frac{1}{M-1} \sum_{r=1}^M (L_r - L)^2.$$

Расширенная неопределенность вычислена по выражению

$$U(p) = \frac{1}{2} \left[L_{\frac{M(1+p)}{2}} - L_{\frac{M(1-p)}{2}} \right],$$

где $p = 0,90$ – вероятность охвата.

Коэффициент охвата рассчитывался как

$$U(p) = \frac{1}{2} \left[L_{\frac{M(1+p)}{2}} - L_{\frac{M(1-p)}{2}} \right].$$

Результаты вычислений представлены в табл.

Таблица

Результаты оценивания неопределенности

Анемометр	№ 348	№ 2071	№ 7048	№ 13131
Расход воздуха L , м ³ /ч	69,12	69,64	69,62	69,54
Расширенная неопределенность $\pm \hat{U}$, м ³ /ч	11,29	31,85	31,07	18,68
Коэффициент охвата k	1,56	1,55	1,56	1,56

Результаты показывают, что величина неопределенности измерений расхода воздуха анемометрами, не имеющими индивидуального градуировочного графика, достигает значений выше 40 % от измеряемой величины, что недопустимо.

Расширенная неопределенность измерения расхода воздуха поверенным анемометром составила 16 % от измеряемой величины, что в большинстве случаев инженерной практики является достаточным. Более низкие значения неопределенности измерений могут быть достигнуты применением анемометра с меньшим пределом допускаемой погрешности.

Литература

1. Анемометры ручные со счетным механизмом. Технические условия: ГОСТ 6376-74. – Взамен ГОСТ 6376-52; введ. 01.07.75. – Москва: Издательство стандартов, 1975. – 7 с.

2. Мегеон 11050. Механический анемометр. Руководство пользователя [Электронный ресурс] // Приборы Мегеон: официальный сайт. – Режим доступа: https://www.megeon-pribor.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/megeon_11050_5f9996ba1784b1e34ca7f89e3e0d975b67db012af4de9c0b17696b289c3237fc.pdf. – Дата доступа: 22.02.2023.

3. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Анемометры. Методика поверки = Сістэма забеспячэння адзінства вымярэнняў Рэспублікі Беларусь. Анемометры. Методыка паверкі: ТКП 8.1-2007 (03220). – Введ. 01.02.2008 (с отменой МУ «Анемометр чашечный ручной со счетным механизмом»). – Минск: Госстандарт, 2007. – 21 с.

4. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT): ГОСТ 34100.3-2017. – Введен впервые. – М.: Стандартинформ, 2017. – 112 с.

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

Проектирование, устройство и эксплуатация песчано-гравийных фильтров очистных сооружений сточных вод

Ануфриев В. Н.¹, Волкова Г. А.², Алферчик В. В.¹, Семикашева Э. Э.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

В работе рассмотрены особенности устройства и функционирование очистных сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях. Способы очистки сточных вод на песчано-гравийных фильтрах интенсивно развиваются, и такие сооружения активно распространяются. В Беларуси песчано-гравийные фильтры являются альтернативой полям фильтрации. В отличие от полей фильтрации песчано-гравийные фильтры не имеют ограничений по производительности и характеризуются меньшим воздействием на окружающую среду.

В статье приведены краткие результаты работы по адаптации методов DWA A-262 [1] по расчету и проектированию песчано-гравийных фильтров, в том числе с растительностью, с учетом требований ТНПА Республики Беларусь. Выполнялась задача по обеспечению внедрения передовых технологий и достижений научно-технического прогресса путем использования доступной информации об установившейся практике проектирования подобных сооружений.

Разработка проекта рекомендаций выполнялась в соответствии требованиями ТНПА Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь [2]. Рекомендации одобрены научно-техническим советом РУП «Стройтехнорм», зарегистрированы № 188 от 08.08.2022 [3].

Песчано-гравийные фильтры, в том числе фильтры с растительными насаждениями, используются как:

– локальные очистные сооружения небольшой производительности, с нагрузкой менее 50 ЭН, в том числе для отдельных домов или группы домов;

– в качестве дополнительной биологической ступени и доочистки в комбинированных установках;

– сезонные очистные сооружения, функционирующие в летний период;

– очистные сооружения населенных пунктов.

В последнем случае такие сооружения могут рассматриваться как альтернатива – как замена при выводе из эксплуатации полей фильтрации.

Принцип работы песчано-гравийных фильтров основан на фильтровании предварительно осветленных сточных вод через слой загрузки из гравия, песка. Для предварительного осветления сточной воды преимущественно применяются септики. При производительности сооружений более чем $25 \text{ м}^3/\text{сут}$ используются биологические пруды, отстойники [4].

Так же предусматривается возможность применения песчано-гравийных фильтров для предварительного осветления исходной сточной воды.

На рис. 1 показан песчано-гравийный фильтр для предварительного осветления сточной воды, выполняемый в виде фильтрующей загрузки из гравия крупностью 2–8 мм, размещаемой в выемке, с высотой слоя – не менее 0,3 м.

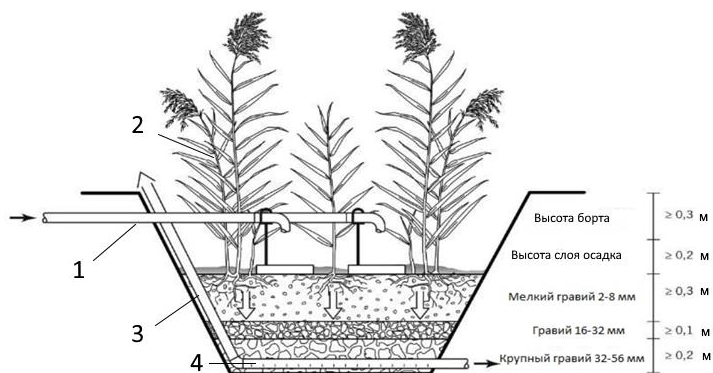


Рис. 1. Схема фильтра для предварительного осветления сточных вод:
 1 – подающий трубопровод; 2 – посадки растительности;
 3 – вентиляционный трубопровод; 4 – дренажный трубопровод

Требуемая площадь верхней части фильтра определяется исходя из расхода сточных вод и допустимой гидравлической нагрузки. При этом требуемая площадь фильтра определяется из условия, что только третья часть работает с подачей сточных вод на поверхность фильтра. Продолжительность периода для части фильтра, которая находится в резерве, без подачи сточных вод, составляет не менее 7 суток. Таким образом, фильтр должен иметь не менее трех секций, для возможности ротации рабочей секции с резервными.

Среднесуточная удельная поверхностная нагрузка по ХПК принимается не более $300 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ при среднесуточной удельной гидравлической нагрузке на рабочую поверхность верхней части фильтра – не более $750 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

Локальные очистные сооружения небольшой производительности, с нагрузкой менее 50 ЭН, выполняются в виде загрузки из отмытого песка с размером зерен не менее 2 мм, высотой – не менее 0,5 м. Сточная вода по подающим трубопроводам распределяется по поверхности загрузки. Сточная вода фильтруется сверху вниз через загрузку из песка. Расчет и проектирование таких фильтров основаны на удельной площади верхней части фильтра, принимаемой от 1,0 до 4,0 м²/ЭН. Меньшее значение нагрузки принимается при загрузке из песка не менее 2,0 мм, большее значение принимается при загрузке из песка 4,0 мм и выше.

Очистные сооружения населенных пунктов с применением песчано-гравийных фильтров в качестве биологической очистки выполняются в виде фильтров с вертикальным или горизонтальным потоком, устроенных в одну или нескольких ступеней, соединенных последовательно.

Вертикальный фильтр с фильтрующей загрузкой из песка крупностью зерен менее 2 мм приведен на рис. 2.

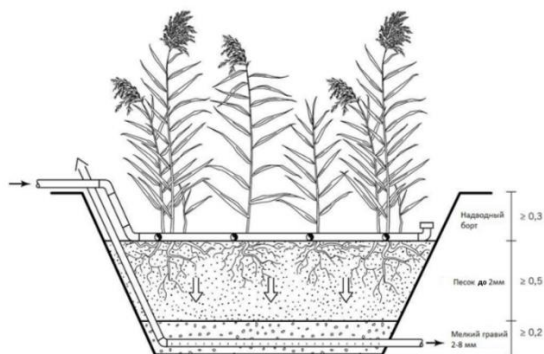


Рис. 2. Схема вертикального фильтра с фильтрующей загрузкой из песка крупностью зерен менее 2 мм

Вертикальные фильтры выполняются с разделением на 2–4 секции, на которые периодически отдельно подают сточную воду. Часть секций, как минимум 25 % от общей площади, находится в резерве без подачи сточной воды. Ротация секций производится через неделю. Кроме того, сточная вода на рабочую секцию подается периодически. Средняя минимальная продолжительность периода между периодической подачей сточных вод принимается не менее 6 ч, что обеспечивает полное удаление воды из фильтрующей загрузки.

Среднесуточная удельная поверхностная нагрузка ХПК на общую площадь верхней части фильтра принимается не более 20 г/(м²·сут), удельная

гидравлическая нагрузка на общую площадь верхней части фильтра – не более $80 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, средняя удельная гидравлическая нагрузка на поверхность верхней части фильтра во время периодической подачи сточных вод – не менее $6 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$.

Горизонтальные фильтры работают в затопленном режиме, фильтрационный поток в загрузке направлен от распределительного устройства к дренажу со снижением уровня воды в грунте. При этом регулирование уровня воды в загрузке осуществляется в колодце, расположенном на отводящем трубопроводе. Конструкция фильтра с горизонтальным потоком приведена на рис. 3.

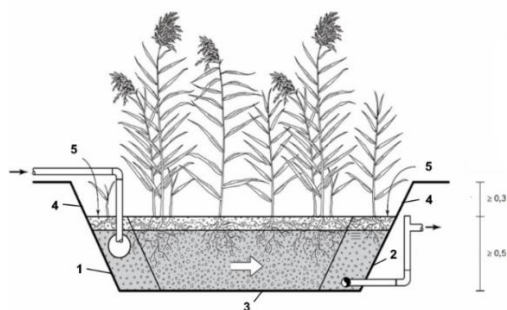


Рис. 3. Схема песчано-гравийного фильтра с горизонтальным потоком:
 1 – распределительный слой; 2 – дренажный слой; 3 – слой фильтрующей загрузки;
 4 – надводный борт; 5 – поверхностный слой

При проектировании фильтров с горизонтальным потоком для предотвращения поступления поверхностных вод на поверхности загрузки материала создают зону обратного уклона или отделяют ее поперек основного направления потока. В зоне подачи сточной воды на горизонтальный фильтр слои фильтрующих материалов укладывают в порядке уменьшения крупности зерен по направлению движения фильтрационного потока с образованием распределительного слоя. В зоне выхода потока к дренажу принимают более крупный фильтрующий материал для равномерного дренирования фильтрующей загрузки с образованием дренажного слоя.

Среднесуточную удельную поверхностную нагрузку по ХПК на общую площадь на поверхности притока принимают не более $40 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$, среднесуточную удельную поверхностную нагрузку по ХПК, отнесенную к площади дна фильтра, – более $16 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$. Для посадок на фильтрах используются растения-макрофиты или тростниковые растения, например, тростник,

осока и другие. При выборе растений учитывают местоположение участка, требования к освещенности.

Преимуществами песчано-гравийных фильтров является простое исполнение, отсутствие сложных систем управления, а также низкий уровень энергопотребления. Имеют место возможности широкого использования местных строительных материалов, таких как песок, гравий. Вместе с тем, следует учитывать потребности в площадях для размещения песчано-гравийных фильтров.

Литература

1. Arbeitsblatt DWA–A 262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers. DWA, Hennef, 2017. – 70 s.

2. ТКП 45–1.01–289–2013* (02250) Методические документы в строительстве. Рекомендации и пособия в области архитектуры и строительства. Правила разработки, утверждения и применения (Измененная редакция, Изм. № 2), Минск, 2020. – 22 с.

3. 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.

4. СН 4.01.02–2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» Строительные нормы Республики Беларусь, Минск, 2019. – 80 с.

УДК 628.3:662.6

Брикетирование осадков сточных вод – направление создания альтернативного топлива

Вострова Р. Н.¹, Пехота А. Н.², Коваленко В. Н.¹

¹Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Исследовательский и производственный опыт объективно доказывает актуальность изготовления топливных брикетов с использованием осадков сточных вод, что дает возможность получить энергетический и экономический эффект от совместного использования ОСВ и древесных отходов, улучшая при этом экологическую обстановку в местах складирования и производства местного твердого топлива с необходимыми энергетическими характеристиками и физико-химическими свойствами.

Экологически безопасное размещение осадка сточных вод (далее ОСВ) является актуальной проблемой, требующей немедленного решения. Количество ОСВ, выделяющихся при очистке сточных вод, составляет до 10 % от расхода поступающих вод, в народном хозяйстве используется 4–5 % от всего объема. Складирование ОСВ на иловых картах очистных сооружений создает неблагоприятную экологическую обстановку вблизи городской черты.

Однако в составе ОСВ содержится значительное количество органических соединений, которые могут быть использованы в качестве компонента для создания брикетированного топлива [1]. Кроме того, для собственных нужд котельных самих очистных сооружений требуются местные виды топлива, в качестве которых используется древесина, что негативно сказывается на деградации лесов.

Использование древесины совместно с другими возобновляемыми видами топлива позволяет сократить последствия вырубки лесов. Переход на возобновляемые источники топлива не решает окончательно проблему изменения климата, но в совокупности с другими действиями может смягчить или предотвратить катастрофические изменения. В УО «БелГУТ» (кафедрой «Экология и энергоэффективность в техносфере») проводились научные исследования по разработке, изготовлению брикетированного топлива на основе ОСВ городских очистных сооружений КПУП «Гомельводоканал» и изучению их физических и теплотехнических свойств.

Возможность использования твердых видов топлива в определенных областях при сжигании в теплотехнических установках определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами.

Определение основных физических показателей состава топлива для установления оптимальных компонентных параметров, а также для разработки технических условий на производство многокомпонентного твердого топлива на основе ОСВ с добавлением древесных опилок, проводились с участием аккредитованной и независимой лаборатории топлив, масел и кормов Учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (Аттестат № ВУ/112. 1.0463) с составлением актов отбора проб, актов приемки и протоколов испытаний.

Анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в топливной лаборатории Речицкой мини-ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго» (Аттестат № ВУ/112. 2.4393). Межлабораторные исследования проб выполняли в соответствии с ГОСТ 27314, ГОСТ 11022, ГОСТ 8606, ГОСТ 147

Учитывая накопленный опыт создания многокомпонентных видов топлива с использованием лигнина и нефтесодержащих отходов и разработанных ранее ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное» при разработке компонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам и торфу.

С целью определения оптимального компонентного состава, были разработаны составы четырех образцов брикетов, чтобы определить диапазоны и соотношения химических компонентов, соответствующие оптимальному качеству, пригодному для использования в хозяйственной деятельности КПУП «Гомельводоканал» с возможностью использования в промышленных котельных (табл. 1).

Таблица 1

Образцы брикетов

Наименование	Марка 1	Марка 2	Марка 3	Марка 4
Доля ОСВ, %	50	75	100	33
Доля опилок, %	50	25	–	67

Теплота сгорания (Q , МДж/кг), которая определяется количеством теплоты, выделяющейся при сгорании, является одним из важных эксплуатационных свойств топлива и обязательным параметром оценки его эффективности [2]. Количество теплоты зависит от элементного состава твердого топлива и от влажности. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Состав топлива, массовая доля, %							Q , МДж/кг
	С	Н	N	О	S	A	W	
	углерод	водород	азот	кислород	сера	зольность	влажность	
Марка 1	–52	–5,1	–2,5	–20		–22,7	–62,7	–16,3
Марка 2	–53	–5,1	–2,5	–12	–1,1	–29,9	–57,2	–16,8
Марка 3	46–49	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,46–1,2	32,7–34,6	10,4–62,7	–16,7
Марка 4	50–52	2,5–5,1	1,5–2,4	20–22	0,57–0,6	21–21,4	–57,2	–15,6
Торф	–60	–6,0	–3,0	–40	–	–50	–95	–21,0
Древесина	–52	–7	–0,6	–45	–	–	–95	

Оценка полученных значений характеристик брикетов показывает, что зольность топлива на основе ОСВ без добавления древесных опилок

(марка 3) не превышает 35 %, что является высоким показателем по сравнению с другими видами топлива, однако, теплота сгорания при условиях влажности, определенных в ГОСТе, значительно выше, чем у древесного топлива или торфа. Добавление в состав брикетов древесных отходов позволяет снизить показатель зольности и получить его в пределах действующих нормативов СТБ 2202–2011, СТБ 1919–2008, ТУ ВУ100145188.004-2009 [3].

Анализ полученных экспериментальных измерений позволяет сделать вывод, что многокомпонентное твердое топливо с использованием ОСВ при влажности 30 % имеет теплоту сгорания в пределах 2842–2986 Ккал/кг (11,9–12,5 МДж/кг), что согласно СТБ 1919–2008 практически соответствует теплоте сгорания торфа (марки БТ-2-БТ-6) и составляет 3000 Ккал/кг (12,6 МДж/кг) при влажности 20 %. Это позволяет, не досушивая брикеты, при сжигании получать теплоту сгорания, как у торфяного топлива.

Результаты исследования теплоты сгорания образцов показывают, что при влажности 10,4 % теплота сгорания, образца с составом ОСВ 100 % составляет – 3986 Ккал/кг, при том, что при смешивании ОСВ и древесных опилок в пропорции 50х50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 Ккал/кг.

Содержание серы в топливе марки 3 (ОСВ – 100 %) составило 1,18 % что в целом является несколько завышенным (около 20 %), однако добавление

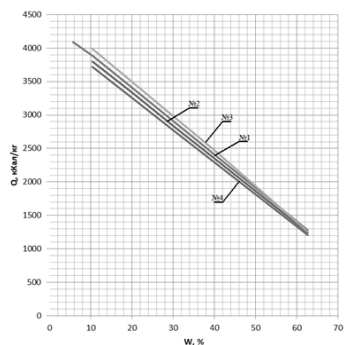


Рис. 1. Динамика изменения зависимости Q и W топлива с использованием ОСВ марок 1–4

более чистого по составу компонента в виде древесных опилок снижает содержание серы до показателей 0,58–0,6 %, при нормативе не выше 1 %. Таким образом, выявленная проблема может быть решена добавлением древесных опилок.

Зависимость нижней теплоты сгорания в зависимости от влажности по четырем образцам представлена на рис. 1.

В рамках исследований произведено математическое моделирование процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива. Для расчета безразмерной максимальной приземной концентрации вредных веществ, образующихся при сгорании двухкомпонентного твердого топлива, использована формула [2; 3].

$$q(x_1) = \frac{0,1354AF_M n_e m_e \eta_e N}{H^2 \sqrt[3]{\alpha V_0 T_g N [Q_1 x_1 + Q_2 (1-x_1)^2 \eta_k^2 \Delta T]}} \times [(q_{11}(x_1) + q_{12}(x_1)) + q_2(x_1) + q_3(x_1) + q_4(x_1)].$$

Полученная аналитическая зависимость максимальной безразмерной приземной концентрации q вредных выбросов от доли опилок x в брикете позволяет найти значение $x = x_m$, при которой безразмерная концентрация q вредных выбросов при сжигании МТТ меньше 1.

Зависимость дает возможность определить и диапазон значений x , в котором выполняется условие $q \leq 1$. Пример, зависимости безразмерной приземной концентрации q от доли древесных отходов в брикете x_1 для оксидов азота представлен на рис. 2 и для значений мощности N котельной показаны на рис. 3.

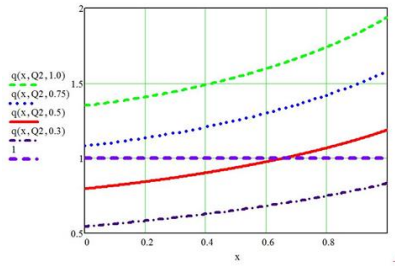


Рис. 2. Зависимость концентрации g от доли опилок x при различной мощности котельной $N = 1,0; 0,75; 0,5$ и $0,3$ МВт для высоты труб $H = 10$ м

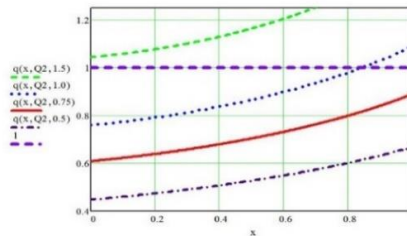


Рис. 3. Зависимость концентрации g от доли опилок x при различной мощности котельной $N = 1,5; 1,00; 0,75$ и $0,5$ МВт для высоты труб $H = 20$ м

Сжигание разработанного многокомпонентного твердого топлива с долей опилок в брикете в диапазоне значений x от 0 до 0,855 удовлетворяет экологическим требованиям в силу того, что в этом диапазоне концентрация $q \leq 1$. При 1,0 МВт данное условие выполняется во всем диапазоне x от 0 до 1.

Таким образом, разработка технологии, обеспечивающей комплексное использование древесных отходов и осадков сточных вод в качестве топлива с приемлемым экологическим уровнем безопасности, позволит сэкономить первичные энергоресурсы, обеспечить топливом локальные системы теплоснабжения и удовлетворить внутренние потребности страны в местных видах топлива.

Кроме того – это позволяет создать рабочие места для обеспечения производства брикетов на очистных сооружениях, а также улучшить экологическую обстановку в местах размещения очистных сооружений [4].

Литература

1. Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 41–43.

2. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталеv [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 340–348. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-4-340-348>.

3. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов для локальных систем теплоснабжения: дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.14.04 / А. Н. Пехота. – М., 2017. – 157 с.

4. Коваленко, В. Н. Оценка целесообразности изготовления топливных брикетов из осадков сточных вод / В. Н. Коваленко [и др.] // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Межд. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ; редкол.: Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 162 с.

Применение программы КОМПАС–3D для оптимизации создания чертежей на примере магистральных трубопроводов

Грузинова В. Л.¹, Мельников А. А.²

¹Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки по менеджменту и развитию персонала филиал БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²Филиал ЦБПО ОАО «Гомельтранснефть Дружба»

Гомель, Республика Беларусь

В современном мире, любая проектная организация, которая хочет сохранить конкурентоспособность и быть на лидирующих позициях в своей отрасли, должна соответствовать современным требованиям в сфере проектирования. Использование средств автоматизации позволяет вывести проектирование на более интеллектуальный, наглядный, эффективный и современный уровень.

Основная задача, решаемая системой КОМПАС–3D – моделирование изделий с целью существенного сокращения периода проектирования и скорейшего их запуска в производство. Эти цели достигаются благодаря возможностям:

- быстрого получения конструкторской и технологической документации, необходимой для выпуска изделий (сборочных чертежей, спецификаций, детализовок и т. д.);
- передачи геометрии изделий в расчетные пакеты;
- передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ (числовое программное управление);
- создания дополнительных изображений изделий (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т. д.).

Основные компоненты КОМПАС–3D – система трехмерного твердотельного моделирования, чертежно-графический редактор и модуль проектирования спецификаций.

Система трехмерного твердотельного моделирования предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Чертежно-графический редактор (КОМПАС–График) предназначен для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности. Он может успешно использоваться в машиностроении, архитектуре, строительстве, составлении планов и схем – везде, где необходимо разрабатывать и выпускать чертежную и текстовую документацию.

Совместно с любым компонентом КОМПАС–3D может использоваться модуль проектирования спецификаций, позволяющий выпускать разнообразные спецификации, ведомости и прочие табличные документы. Документ-спецификация может быть ассоциативно связан со сборочным чертежом (одним или несколькими его листами) и трехмерной моделью сборки.

Функционал и интерфейс КОМПАС–3D учитывает приемы работ, присущих машиностроительному и строительному проектированию [1].

Трехмерная модель в КОМПАС–3D состоит из объектов. Объекты модели создаются и редактируются путем выполнения операций. При создании и редактировании объекта возможно формирование ассоциативной связи его с другим объектом. Ассоциативная связь – это однонаправленная зависимость расположения или геометрии одного объекта от расположения или геометрии другого объекта. Зависимый объект считается производным, а объект, от которого производный объект зависит – исходным по отношению к производному.

Модели в целом, а также отдельным ее частям можно назначить параметры для расчета – материал и плотность материала, а также задать свойства – обозначение, наименование и т. п.

Состав модели, последовательность ее построения и связи между объектами модели отображаются в Дереве построения. Модель в целом или отдельные ее части (тела и компоненты) могут иметь свойства, т. е. данные об изделии, которое эта модель (часть модели) представляет.

Функциональные возможности КОМПАС–3D легко расширяются за счет приложений (для машиностроения, строительства и приборостроения), дополняющих систему эффективным инструментарием для решения специализированных инженерных задач.

Автоматизацию проектирования магистральных трубопроводов можно обеспечить при помощи приложения Оборудование: Трубопроводы. Это специализированное приложение системы КОМПАС–3D, предназначенное для быстрого проектирования гидравлических и пневматических систем, различных инженерных коммуникаций и оборудования, автоматического создания комплекта документации для изготовления трубопроводов. Также приложение Оборудование: Трубопроводы предназначено для построения трехмерных моделей трубопроводов.

Приложение позволяет:

- строить модели трубопровода по трассам в автоматическом режиме с автоматической расстановкой деталей в местах его поворотов и разветвлений, выполнением врезок и разделок углов;
- моделировать на траекториях отдельные участки трубопровода;
- выполнять построение моделей отдельных труб;
- размещать на траекториях трубопровода модели арматуры и деталей;
- редактировать геометрию трубопровода, отдельных его участков, труб и деталей;
- создавать наборы часто используемых моделей элементов для оперативного выбора этих элементов при последующих построениях;
- создавать аксонометрические схемы по моделям трубопровода и размещать на них условные обозначения элементов;
- формировать отчеты по различным параметрам трубопровода.

При проектировании магистральных трубопроводов используется огромное количество деталей и узлов, подобных по форме и отличающихся лишь своими параметрами – размерами.

При работе с КОМПАС–3D можно сохранять созданные изображения и модели в файлах, а затем вставлять их в новые документы. Однако это не всегда удобно, так как каждый раз после вставки фрагмента или модели приходится редактировать объект для получения необходимых размеров. Для упрощения и ускорения разработки чертежей и сборок, содержащих типовые и стандартизованные детали очень удобно применять готовые параметрические библиотеки.

Библиотека – это приложение, созданное для расширения стандартных возможностей КОМПАС–3D и работающее в его среде. Типичными примерами приложений являются поставляемая вместе с системой библиотека КОМЛИБ.RTW (она содержит команды построения изображений часто встречающихся геометрических фигур, гладких и резьбовых отверстий и т. д.), а также такие продукты семейства КОМПАС, как библиотека стандартных машиностроительных элементов и библиотека крепежа, значительно ускоряющие проектирование сборочных моделей и оформление сборочных чертежей.

Прикладная библиотека может быть создана в одной из стандартных сред программирования для Windows (Borland C++, Microsoft Visual C++, Borland Pascal и т. д.) с использованием функций специального комплекта разработки приложений КОМПАС–МАСТЕР.

По своей архитектуре библиотека является стандартным динамически подключаемым модулем (DLL) Windows. По умолчанию файлы библиотек имеют расширения *.DLL или *.RTW.

В прикладных библиотеках через языковые средства могут использоваться все возможности КОМПАС–3D, предоставляемые при интерактивной работе (создание и редактирование объектов, работа с моделью документа, открытие и сохранение чертежей и фрагментов и т. д.).

Следует отметить, что возможности использования библиотек не ограничиваются простым вводом в чертеж параметризованных стандартных элементов. Библиотека может представлять из себя сложную, ориентированную на конкретную задачу подсистему автоматизированного проектирования, которая после выполнения проектных расчетов формирует готовые конструкторские документы или их комплекты. Можно сказать, что в виде прикладных библиотек вполне реально разрабатывать целые САПР объектов определенного класса.

КОМПАС–3D не накладывает никаких ограничений на размер и сложность функций библиотек, а скорость исполнения библиотечных функций зависит в основном от характеристик компьютера (объем оперативной памяти, скорость доступа к жесткому диску и т. д.). КОМПАС–3D поддерживает одновременную работу с несколькими подключенными библиотеками. Режимы работы с библиотекой могут быть различными (окно, диалог, меню или панель). После подключения библиотеки к системе пользователь выбирает нужную функцию из ее каталога и запускает на исполнение.

Для рассмотрения возможностей специализированного приложения КОМПАС–3D Оборудование: трубопроводы была построена трехмерная модель узла фильтров грязеуловителей (рис.).

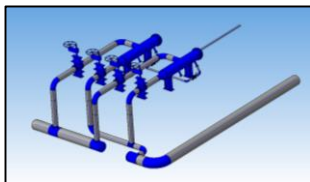


Рис. Трехмерная модель узла фильтров грязеуловителей

Для создания данного узла использовались как стандартные элементы построения и библиотек (трубы \varnothing 102, 325, 630 мм, отводы, тройники, заглушки, фланцы, задвижка с ответными фланцами D_y 100), так и созданные элементы библиотек вручную (задвижка шиберная D_y 300, фильтр ФГГ-300-4,0-П-УХЛ-Н-8). Необходимость создания элементов библиотек вручную возникает, когда в каталоге не имеется необходимого для проекта элемента или оборудования.

Создание пользовательских элементов можно осуществлять несколькими методами:

- на основе имеющегося в каталоге;
- из эскиза;
- создание нового элемента с трехмерным представлением.

Чтобы элемент можно было присоединять к другим библиотечным элементам, ему нужно назначить характерные точки. В данном примере это точки вставки и точки врезки. Необходимо назначить точкам атрибуты, где указываем тип и номер точек. На этом подготовка трехмерной модели завершена.

После построения трехмерной модели узла фильтров грязеуловителей, всего несколько минут потребуется на создание любых разрезов, видов, ведомостей и спецификаций.

При необходимости, в дальнейшем можно редактировать и вносить всяческие изменения в исходную трехмерную модель. Автоматически все изменения будут отображаться на уже созданных листах с планами, видами, разрезами и спецификациями.

Литература

1. Чагина, А. В. 3D-моделирование в КОМПАС–3D версий v17 и выше: учеб. пособие для вузов / А. В. Чагина, В. П. Большаков. – С.–П.: Питер, 2021. – 256 с.

УДК 628.11

Проект водопроводной сети

Мырадова С. И., Мыратлыев Б. К.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

На основе проведенных исследований был изучен уровень озеленения в местах расположения жилых домов, определено количество воды, используемой для производства наружного пожаротушения на промышленных предприятиях, системы водоснабжения и канализации населенных пунктов и промышленных предприятий, а также спроектировано, смонтировано санитарно-техническое оборудование домов и объектов строительства и рассмотрены такие вопросы, как ввод в эксплуатацию и рациональное использование водных ресурсов.

Количество водопотребления – это количество воды, израсходованное на определенную потребность или на один из произведенных продуктов в

определенное время. Объем потребления воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения на бытовых и промышленных предприятиях различен.

Объем водопотребления на хозяйственно-питьевую воду в населенных пунктах (жилых домах) принимается в зависимости от уровня благоустройства зданий и погодных условий TGN–2.04.02–2000 (табл. 1).

Таблица 1

Объем водопотребления на хозяйственно-питьевую воду на
промышленных предприятиях

Уровень благоустройства в жилых домах	Среднее потребление хозяйственно-питьевой воды в сутки (в течение года) в населенных пунктах, сут/л
В зданиях, оборудованных внутренними водопроводами и канализацией	160–200
Центральное горячее водоснабжение	210–260
с отдельно стоящей ванной и локальным водонагревателем	300–450

Больше воды приемлемо для более холодных областей и меньше для более жарких областей. На промышленных предприятиях рабочие и служащие используют хозяйственно-питьевую воду и воду для душа. Объем для питьевой воды: для работающих в холодных местах – 25 л; для тех, кто работает в жарком зонах – 45 л. На каждый душ по схеме предусмотрено 500 л воды, количество пользователей душа принимается по условиям их работы. Количество воды, используемой на производственные нужды. Многие отрасли промышленности (химическая, текстильная, металлообрабатывающая и др.) потребляют много воды. Обычно количество используемой воды рассчитывается в соответствии с производимым продуктом (1 т железа, 1 т волокна, 1 т хлеба и т. д.). Количество воды, используемой для тушения пожара определяется в соответствии с TGN. Количество воды, используемой для тушения пожаров (табл. 2) в населенных пунктах, принимается из табл. 2 TGN–2.04.02–2000, табл. 3–4 на промышленных предприятиях [1]. По мере повышения уровня благоустройства коэффициент изменчивости водопотребления в течение суток снижается.

На промышленных предприятиях коэффициент суточной разницы потребления хозяйственно-питьевой воды принимается равным 1, иными словами, потребление воды в течение года считается постоянным [2].

Таблица 2

Расходы на наружное пожаротушение в населенных пунктах

В населенных пунктах с населением, тыс	Количество пожаров в минуту	Затраты на наружное пожаротушение в населенных пунктах, с/л на один пожар	
		Прочие здания до двух этажей, независимо от класса огнестойкости	Трехэтажные здания и выше, независимо от их класса огнестойкости
До 1	1	5	10
1–5	1	10	10
5–10	1	10	15
10–25	2	10	15
25–50	2	20	25
50–100	2	25	35
100–200	3	–	40
200–300	3	–	55
300–400	3	–	70
400–500	3	–	80
500–600	3	–	85
600–700	3	–	90
700–800	3	–	95
800–1000	3	–	100

Таблица 3

Вода, используемая для тушения наружного огня на промышленных предприятиях

Класс огнестойкости дома	Категории продукции по пожарной безопасности	Расход воды на тушение наружных пожаров производственных зданий с освещением и без освещения шириной до 60 м на один пожар, с/л, на тыс. м ³ объема здания								
		До 5	От 50 до 100	От 100 до 200	От 200 до 300	От 300 до 400	От 400 до 500	От 500 до 600	От 600 до 700	От 700 до 800
I и II	A, B, W,	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I и II	G, D, E	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Деление максимального суточного водопотребления на среднесуточное водопотребление дает коэффициент равномерности водопотребления

$$k_{g-g} = \frac{Q_{g-g}^{\max}}{Q_{g-g}^{\text{cp}}},$$

где k_{g-g} – разница от уровня благоустройства домов; Q_{g-g}^{\max} – максимальное суточное водопотребление, л; Q_{g-g}^{cp} – среднесуточное водопотребление, л.

Таблица 4

Вода, используемая для производства наружного огня
на промышленных предприятиях

Класс огнестойкости дома	Категории продукции по пожарной безопасности	Расход воды на наружное пожаротушение производственных зданий с освещением и без освещения шириной до 60 м на один пожар, с/л, на тыс. м ³ объема здания						
		До 3	От 3 до 5	От 5 до 20	От 20 до 50	От 50 до 200	От 200 до 400	От 400 до 600
I и II	G, D, E	10	10	10	15	20	20	25
I и II	A, B, W,	10	10	20	30	35	35	40
III	G, D	10	10	25	35	–	–	–
III	W	10	15	30	40	–	–	–
IV и V	G, D	10	15	30	–	–	–	–
IV и V	W	15	25	40	–	–	–	–

Производственный расход воды зависит от принятой технологии по объему продукта, выделяющего примеси, а для некоторых производств еще и от сезона года.

В течение дня и ночи расход воды одинаков, ночью он меньше, чем днем. Расход воды меняется по часам в дневное и ночное время в зависимости от количества проживающих. Чем меньше население, тем

больше нестабильность. Для упрощения расчетов следует принять, что расход воды в течение часа не меняется.

Отношение максимального часового расхода воды к среднему часовому расходу называется коэффициентом постоянства часового расхода воды

$$k_{\text{час}} = \frac{Q_{\text{час}}^{\text{макс}}}{Q_{\text{час}}^{\text{ср}}},$$

где $k_{\text{час}}$ – коэффициент постоянства часового расхода; $Q_{\text{час}}^{\text{макс}}$ – максимальный часовой расход, л; $Q_{\text{час}}^{\text{ср}}$ – средний часовой расход

Величина часового коэффициента концентрации водопотребления для населенного пункта принимается равной 1,2–2 в зависимости от объема водопотребления. На промышленных предприятиях величина часового коэффициента потребления хозяйственно-питьевой воды составляет 2,5 и 3.

Коэффициент вязкости воды, используемой для производства продукта, зависит от выбранной формулы. Определение сточных вод.

При расчете водопровода его следует рассчитывать исходя из максимального суточного потребления воды.

Вода, используемая для хозяйственно-питьевых целей населенного пункта, определяется по следующей формуле

$$q_{\text{хоз}} = \frac{qNk_{\text{час}}k_{g-g}}{86400},$$

где q – среднее количество воды, потребляемое человеком в течение дня и ночи, л; N – количество жителей, человек; 86400 – количество секунд в дне и ночи.

Вода, используемая для производственных целей, принимается по справочным данным.

Напор наружного водопровода должен обеспечивать подачу воды в точку, расположенную в самом верхнем доме, дальше от наружной плотины, с небольшим запасом (h_0 – остаточное давление). Такое усилие называется свободным усилием H_e или требуемым усилием

$$H_e = H_g + \sum h + h_0,$$

где H_g – геометрическая высота над землей до самой высокой точки забора, м; $\sum h$ – потеря давления во внутреннем водопроводе, подводящем

трубопроводе и счетчике воды; h_0 – усилие, которое остается в невыгодной точке, м.

Геометрическая высота водопровода определяется по следующей формуле

$$h_g = h_1 + (n-1)h_g + h_{en},$$

где h_1 – расстояние от земли до пола 1 этажа, м; n – количество этажей; h_g – высота этажа в здании, м; h_{en} – высота от пола до неудобно расположенного прибора, м.

Давление на внешний водопровод создает подъемная станция класса II. Если насос не работает, давление создается водой в кране.

Давление, необходимое в огнетушителе, зависит от способа тушения пожара. Если вода подается непосредственно к пожарным кранам, установленным на наружной стене для тушения пожара, такая стена называется пожарным гидрантом высокого давления. Трубопроводы пожарного водопровода высокого давления устанавливаются только на промышленных предприятиях.

Если вода для тушения пожара (вода из гидранта) подается с помощью пожарных насосов, такой гидрант называется пожарным гидрантом низкого давления. Для обеспечения бесперебойной работы пожарного насоса напор агрегата при пожаре должен быть не менее 10 м.

Литература

1. Строительные нормы Туркменистана ТГН–2–02.03–1998. Канализация. Наружные сети и сооружения. – 1998. – 43 с.
2. Сапаров, А. Г. Руководство по проектированию системы водоснабжения / А. Г. Сапаров. – Ашхабад: Ылым, 2010. – 122 с.
3. Ораздурдыев, Д. Водоснабжение / Д. Ораздурдыев. – Ашхабад: Ылым, 2016. – 145 с.
4. Сологаев, В. И. Водоснабжение и водоотведение / В. И. Сологаев. – Омск: СибАДИ, 2010. – 171 с.

Эжекторная землесосная установка с вертикальным насосным агрегатом

Шарипов Х., Эминов М. А.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашгабат, Туркменистан

При очистке оросительных и дренажных каналов от осадочного ила широко используются плавающие земснаряды, оборудованные насосами типов Гр, П и НЗ. Из-за содержания в составе ила кварцевого песка быстро изнашиваются их рабочие колеса и спиральные камеры. В результате срок их службы не превышает 3–4 месяцев. Для продления срока службы до нормативного (18 месяцев) рекомендуется использовать вертикально насосные эжекторные земснаряды. В статье анализируется технологическая схема эжекторной насосной установки с центральным электронасосным агрегатом.

Тестовую модель эжекторной землесосной насосной установки (ЭЗНУ) предлагается создать на базе вертикального электронасосного агрегата «Grundfos» или «Wilo» с приводом от однофазного переменного тока с напряжением 220 В (см рис. 1). Вертикальный электронасосный агрегат (ВЭНА) (5) и его напорные трубопроводы (8) должны быть приняты на производительность 150–200 л/мин и давление 10 атмосфер. ВЭНА и его всасывающий патрубок должны располагаться в нижней (трюмной) части открытой палубы в направлении совпадающим с вертикальной осью симметрии ЭЗНУ. Длину всасывающей трубы ВЭНА, особенно ее часть ниже трюма, следует принимать в возможно коротком исполнении. В этом случае вода, всасываемая ВЭНА, будет непрерывно и надёжно поступать на установку самотеком.

Эжекторный узел (7) землесосного насосного агрегата является конструкцией, обеспечивающей основное технологическое назначение всей установки.

Плавающее основание (4) ЭЗНУ технологические трубопроводы и эжекторный узел, должны быть изготовлены из уплотненных и армированных полиэтиленовых материалов. Дно открытой палубы установки желательно облицовывать листами оцинкованной стали. Форма и размеры эжекторного узла ЭЗНУ, диаметры всасывающего и напорного трубопровод, подлежащих использованию в устройстве, в соответствии с технологическими возможностями принятого ВЭНА должны определяться по специальному расчету.

Эжектор – международный научный и технический термин, означающий всасывание и выброс жидкой текучей массы. Во многих научно-технических изданиях слово эжектор заменено словом струйный насос. Эжекторная или струйная насосная установка широко используется для всасывания и нагнетания другой жидкости или аналогичного текучего продукта с использованием энергии напорного рабочего потока [1]. Основным преимуществом эжектора который фактически выполняет функцию насоса, является простота конструкции, отсутствие механических деталей и способность всасывать и нагнетать любой тип жидкого продукта. Задачи связанные с расчетом и проектированием эжектора основываются на основные положения уравнения Д. Бернулли.

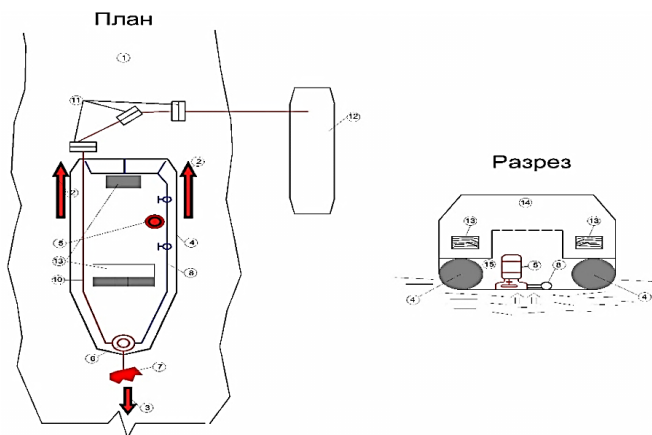


Рис. 1. План и поперечное сечение модели эжекторной землесосной установки:
 1 – канал (русло); 2 – направление потока воды в русле; 3 – направление движение ЭЗНУ; 4 – плавучее основание ЭЗНУ; 5 – вертикальный электронасосный агрегат ВЭНА; 6 – эжекторный узел ВЭНУ; 7 – всасывающий трубопровод ЭЗНУ; 8 – напорный трубопровод ЭЗНУ; 9 – струйная–напорная система обеспечивающая движение ЭЗНУ; 10 – напорный трубопровод отвода пульпы; 11 – трубородерживающие пантоны; 12 – земляной пульпаотстойник; 13 – панели размещения электрооборудования и аппаратуры управления ЭЗНУ; 14 – открытая палуба; 15 – трюм

Согласно технологической схеме вышеизложенной ЭЗНУ используемый в ней вертикальный электронасосный агрегат (ВЭНА) в главным образом предназначается для создания и реализации устойчивой всасывающей способности эжектора. Это означает, что в случае всасывания и нагнетания жидкого материала с содержанием твердых включений (грязь, песок,

камень и т. д.) они не проходят через основной насос и не могут оказывать на него вредных механических воздействий. В условиях Туркменистана большое содержание кварцевых песков пустыни Каракумы в отложениях и иле оросительных и дренажных систем крайне отрицательно сказывается на механической прочности насосов земенарядов. Например, рабочие колеса и спиральные камеры грунтовых земенарядов насосов, работающих на Каракум-реке или в магистральных каналах, полностью изнашиваются за их эксплуатации 3–4 месяца. Для поддержания срока службы грунтовых насосных агрегатов на нормативном уровне (не менее 18 месяцев) целесообразным считается их замена на эжекторные землесосы с центральным вертикальнонасосным агрегатом. Причем ВЕНА может быть в равной степени электрическим или дизельным [2].

На рис. 2 ниже показана схема эжекторного узла ЭЗНУ. Как видно из рисунка, эжекторный узел с эжектором состоит из 3-х рабочих камер (полостей), которые соединены последовательно и работают в непрерывном и стабильном технологическом порядке [3]. Они представляют собой работающие под давлением вакуумные насосы, камеры, смешивающие рабочий и всасывающий потоки. Камеры нагнетания и смешения должны иметь цилиндрическую форму, а всасывающая камера должна иметь форму усеченного конуса. Их длина определяется в следующем порядке.

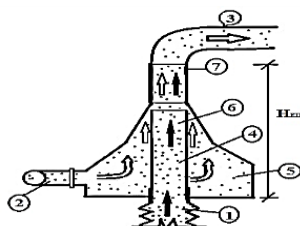


Рис. 2. Схема эжекторного узла ЭЗНУ:

- 1 – всасывающий трубопровод ЭЗНУ (часто из гибного гофрированного материала);
- 2 – напорный трубопровод подачи рабочего потока из ВЕНА
- в эжекторный узел установки; 3 – напорный пульпопровод ЭЗНУ; 4 – конечный гладкий конический участок всасывающего трубопровода; 5 – рабочая камера для создания вакуумметрического давления; 6 – эжекторная всасывающая вакуум-камера; 7 – камера смешивания всасываемой пульпы и рабочего напорного потока

Рекомендуемые размеры основных технологических узлов эжекторной установки:

– длина напорной и смесительной камер $l \geq (4-7)d_{вс}$ ($d_{вс}$ – диаметр всасывающей трубы);

– длина всасывающей камеры определяется величиной угла конусности, которая составляет $13^{\circ}26'$ [2];

– скорость входа рабочего напорного потока в камеру всасывания эжекторного узла должна быть не менее $7,0$ м/с;

– внутренние диаметры напорной и смесительной камер следует принимать соответственно $d_{вд} \approx 3d_{вс}$ и $d_{см} \approx 1,2d_{вс}$.

Таким образом, диаметр всасывающего трубопровода d_s является показателем, определяющим основные размеры эжекторного узла. В свою очередь, размер $d_{вс}$ должен определяться величиной $Q_{НА}$ рабочей производительности установленного на нем основного насосного агрегата

$$d_{вс} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot Q_{НА}}{3,14 \cdot 0,8}},$$

где $Q_{НА}$ – величина из эксплуатационных характеристик насосного агрегата или паспорта ВЭНА, м³/с.

Все вышеупомянутые части эжекторного узла должны быть изготовлены из уплотненного РЕ – материала или оцинкованной стали. Эжекторный узел ЭЗНУ должен быть установлен вертикально на передней части открытой палубы. Его напорные трубы (2) и (3) должны располагаться в параллельных плоскостях в нижнем трюме и на верхней палубе соответственно.

Всасывающий трубопровод ЭЗНУ состоит из двух частей, соединенных между собой герметично.

Первая верхняя короткая часть трубопровода должна быть изготовлена из обычной трубы HDPE 10 с гладкой поверхностью. Длина этой части должна быть примерно равна высоте всасывающей камеры. Большую его часть следует располагать вертикально всасывающей камере эжекторного узла. Закрепления этой части всасывающего трубопровода к эжекторному узлу должно обеспечить постоянство зазора между его камерами всасывания и смещения.

Вторая нижняя основная и длинная часть всасывающей трубы должна быть выполнена из гофрированного материала, обеспечивающего гибкость изгиба трубы в вертикальной плоскости. При движении ЭЗНУ.

При выборе материала нижней части всасывающей трубы следует учитывать, что давление потока внутри трубы будет отрицательным или вакуумметрическим. На начальном срезе нижней части всасывающей трубы должна быть установлена типовая вставка обеспечивающая механическое разрыхления плотного осадка гидравлическим способом. Длины всасывающего трубопровода, его конструирования и закрепления могут решаться в вариантах их исполнения на современных землесосных снарядах.

Литература

1. Кожевников, Н. Н. Совершенствование измерительных устройств технологического контроля работы земснаряда / Н. Н. Кожевников // Гидрологическое строительство. – 1999. – № 7. – С. 53–57.
2. Карелин, В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
3. Ухин, Б. В. Исследование эжектора у входа в грунтовый насос / Б. В. Ухин // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 4. – С. 46–51.

УДК 502.51:008

Системы оборотного и повторно-последовательного водоснабжения на промышленных предприятиях

Голод Ю. В., Юшкис А. К.

Республиканское унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт комплексного
использования водных ресурсов»
Минск, Республика Беларусь

Эксплуатация систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения при строительстве новых или модернизации действующих промышленных предприятий является одним из показателей эффективности и рациональности использования водных ресурсов, так как способствует снижению объемов добычи (изъятия) и сброса сточных вод в окружающую среду.

В соответствии с Водным Кодексом Республики Беларусь № 149-3 [1] юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны рационально использовать водные ресурсы путем внедрения оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, а также обязаны принимать меры по снижению потерь воды.

Примером наиболее частого применения систем оборотного водоснабжения являются случаи, когда вода используется в качестве охладителя технологического оборудования (лазерных сварочных аппаратов, металлообрабатывающих станков, медицинских сканеров и т. д.), для обеспечения температурного режима технологических процессов (управление пастеризации молока, экструзия пластмассовых и резиновых изделий, охлаждение нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах и т. д.), а также в качестве теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения. Кроме того, подобные системы применяются непосредственно в технологи-

ческих процессах, например, в гидрофилтрах систем очистки воздуха, промывках деталей после гальванической обработки, мойки автомобилей на автомойках и т. д.

Внедрение систем оборотного водоснабжения существенно повышает эффективность и рациональность использования водных ресурсов, за счет снижения водопотребления (вода используется только на подпитку, промывку и периодическую замену оборотной воды в рециркуляционном контуре) или его полного исключения при применении более совершенных и эффективных технологии, например, использование сорбционных фильтровальных пакетов для систем очистки воздуха.

С экономической точки зрения внедрение систем оборотного водоснабжения связаны с большими затратами как на этапе строительства, так и во время эксплуатации. Это связано с необходимостью подготовки, транспортировки, охлаждения и (или) очистки оборотной воды.

Так, для корректной и надежной работы систем, в которых вода используется в качестве теплоносителя, необходимо предусматривать станцию водоподготовки (обессоливание исходной воды), насосное оборудование, теплообменные установки и систему охлаждения воды (градирни или чиллеры). При использовании оборотной воды в технологических процессах значительно повышаются затраты на эксплуатацию таких систем за счет необходимости соблюдения надлежащего качества оборотной воды для ее дальнейшего использования в производстве. В этом случае необходимо предусматривать локальные очистные сооружения, состав которых будет зависеть от качественных характеристик оборотной воды. Так, для очистки оборотной воды на автомойках достаточно механической очистки ввиду загрязнения воды взвешенными веществами и нефтепродуктами, а для промывной воды гальванического производства необходимо наличие химических и физико-химических методов очистки для восстановления кислотно-щелочного баланса и удаления ионов тяжелых металлов.

Таким образом, при организации систем оборотного водоснабжения предприятия балансируют между рациональностью использования воды и большей рентабельностью предприятия.

Альтернативой системе оборотного водоснабжения выступает система повторно-последовательного водоснабжения, которая представлена системой водоснабжения с повторным (последовательным) использованием воды в нескольких производственных процессах с или без дополнительной очистки и (или) обработки [2].

Исходя из определения, суть повторно-последовательного водоснабжения заключается в том, что вода используется в нескольких производственных циклах, а не замкнута на единственном производственном цикле и может использоваться без предварительной очистки и (или) обработки, если

вода соответствует требуемым качественным характеристикам. Например, вода после последнего ополоска оборудования в контуре СІР-моек используется повторно для первого ополоска при следующей мойке, после чего отводится в сети канализации.

При эксплуатации систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения (с расходом воды в них более $5,0 \text{ м}^3/\text{сут}$) водопользователь должен вести инструментальным методом учет объема циркуляционной воды и воды для подпитки таких систем, с ведением журнала учета добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду с применением средств измерений расхода (объема) вод (форма ПОД-6) [2], а также ежегодно предоставлять «Отчет об использовании вод» по форме государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) [3].

Эффективность и рациональность использования водных ресурсов на конкретном предприятии можно оценить при разработке индивидуальных технологических нормативов водопользования, которые разрабатываются для планомерного снижения воздействия на окружающую среду сбрасываемых сточных вод, образующихся при производстве продукции (использовании сырья, материалов), а также стимулирования внедрения наилучших доступных технических методов.

Требования к расчету индивидуальных технологических нормативов водопользования регламентированы постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 4 мая 2015 г. № 21 «О некоторых вопросах разработки технологических нормативов водопользования» [4] и ЭкоНиП 17.06.04-004-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета технологических нормативов водопользования» (далее – ЭкоНиП 17.06.04-004-2022) [5].

В соответствии с ЭкоНиП 17.06.04-004-2022 [5] анализ эффективности использования вод в производственном процессе оценивается по:

- рациональности использования водных ресурсов с учетом безвозвратного водопотребления и потерь воды;
- количеству используемой в производственном процессе оборотной воды, в %.

Наиболее эффективному использованию водных ресурсов будут соответствовать:

- максимальный коэффициент рациональности использования воды K_p ;
- минимальный коэффициент потерь воды в процессе ее использования K_n ;
- минимальный коэффициент сброса сточных вод в окружающую среду, в том числе через систему водоотведения (канализации) $K_{сбр}$.

При расчетах вышеуказанных коэффициентов учитываются объемы воды, использующиеся в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения.

В соответствии с Государственным Водным Кадастром в 2021 году объемов воды в системах оборотного водоснабжения составил 5813 млн. м³, в системах повторно-последовательного водоснабжения – 90,486 млн. м³.

Экономия воды в результате внедрения оборотного и повторно-последовательного водоснабжения составила 94,31 % [6].

Внедрение систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения позволяет не только эффективно и рационально использовать водные ресурсы, тем самым повышая экономию воды, а также позволяет снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения объемов отведения (сброса) производственных сточных вод.

Литература

1. Водный Кодекс Республики Беларусь № 149-З.
2. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности».
3. Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 28 ноября 2022 г. № 125 «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании вод» и указаний по ее заполнению».
4. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 4 мая 2015 г. № 21 «О некоторых вопросах разработки технологических нормативов водопользования».
5. ЭкоНиП 17.06.04-004-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета технологических нормативов водопользования».
6. Государственный Водный Кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2021 год) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cricuwr.by/static/files/%D0%93%D0%92%D0%9A%20%D0%B7%D0%B0%202021.pdf>.

**Условия формирования поверхностных сточных вод на территории
промышленных зон населенных пунктов**

Денищик А. И., Голод Ю. В.

Республиканское унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт комплексного
использования водных ресурсов»
Минск, Республика Беларусь

Скопление производственных предприятий на территории промышленных зон, оказывает негативное влияние на формирование воздушного бассейна, что как следствие отображается на качественном составе поверхностных сточных вод, образующихся на территории промышленных зон, которые имеют в своем составе специфические загрязняющие вещества.

Одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды различными примесями природного и техногенного происхождения являются поверхностные сточные воды с селитебных территорий и площадок промышленных предприятий.

В настоящее время организация централизованных систем дождевой канализации в населенных пунктах Республики Беларусь осуществляется путем максимального асфальтирования площади водосбора поверхностного стока и укладки закрытых дождевых коллекторов для транспортирования поверхностных сточных вод, зачастую без очистки, в водные объекты. Данный путь развития централизованных систем дождевой канализации с ориентированием на «серую инфраструктуру», в условиях изменяющегося климата, приводит к негативным последствиям.

В централизованные системы водоотведения (дождевой канализации) населенных пунктов Республики Беларусь отводятся поверхностные сточные воды (дождевые, талые, поливомоечные) и производственные сточные воды (конденсат от установок кондиционирования воздуха и приточных вентиляционных камер; от опорожнения ванн плавательных бассейнов и от промывки фильтров водоподготовительных установок с системой рециркуляции воды; от таяния льда и снежной стружки при зачистке ледового поля в крытых катках; от опорожнения трубопроводов и сооружений систем питьевого водоснабжения, а также систем теплоснабжения и горячего водоснабжения; производственные нормативно-чистые сточные воды) [1; 2].

В соответствии с действующим законодательством перед выпуском в поверхностные водные объекты поверхностные сточные воды с территорий населенных пунктов должны очищаться. Необходимо подвергать очистке

талые сточные воды в полном объеме и не менее 70 % годового объема дождевых сточных вод. При этом стоит отметить, что большинство выпусков поверхностных сточных вод не имеет очистных сооружений поверхностных сточных вод на выпуске в водный объект.

При сбросе поверхностных сточных вод, отводимых с территорий населенных пунктов в поверхностные водные объекты, устанавливается следующий перечень контролируемых загрязняющих веществ и показателей: водородный показатель, взвешенные вещества, нефтепродукты [3].

Поверхностные сточные воды, формируемые на территории промышленных зон, зачастую в своем составе имеют ряд специфических загрязняющих веществ, которые в дальнейшем поступают, в том числе через системы дождевой канализации, в поверхностные водные объекты.

С целью выявления возможных источников поступления загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод с территории промышленной зоны в систему дождевой канализации, а также их влияния при сбросе в поверхностный водный объект, РУП «ЦНИИКИВР» проведены исследования качественного состава поверхностных сточных вод, поступающих в систему дождевой канализации промышленной зоны и сбрасываемых в поверхностный водный объект.

Исследования проводились на территории промышленной зоны площадью 82 га, промышленность которой представлена предприятиями деревообработки, химической промышленности, металлообработки. На исследуемой промышленной зоне поверхностные сточные воды через сети дождевой канализации поступают на очистные сооружения поверхностных сточных вод и далее сбрасываются в поверхностный водный объект.

Анализ качественного состава поверхностных сточных вод проводился в 13 репрезентативных точках, которые разделены на 3 группы:

1. Группа 1 – три точки отбора проб, расположенные в местах до врезки сетей дождевой канализации предприятий, т. е. поверхностные сточные воды на данной территории подвержены антропогенному воздействию в большей степени за счет автомобильного транспорта.

2. Группа 2 – шесть точек отбора проб, расположенные непосредственно на территории площадок предприятий, т. е. поверхностные сточные воды на данной территории подвержены антропогенному воздействию деятельности предприятий.

3. Группа 3 – три точки отбора проб, расположенные в местах, где осуществляется смешивание потоков сточных вод в сети канализации.

Кроме этого, осуществлялся отбор проб поверхностных сточных вод на выпуске в водный объект после очистных сооружений поверхностных сточных вод.

За период проведения исследования было осуществлено 39 отборов проб поверхностных сточных вод по 14 загрязняющим веществам и показателям, включая такие специфические загрязняющие вещества как фенол, формальдегид и метанол.

Результаты измерений качественного состава поверхностных сточных вод, формируемых на территории промышленной зоны, представлены в табл.

Анализ полученных данных показал, что наибольшие концентрации загрязняющих веществ зафиксированы в точках Группы 1 в период снеготаяния. Высокие концентрации минерализации зафиксированы на уровне 2496 мг/дм³ и 8442 мг/дм³, хлорид-иона – 1167,2 мг/дм³ и 4930,4 мг/дм³, взвешенных веществ – 845 мг/дм³ и 1501 мг/дм³, при этом на очистные сооружения дождевой канализации поступили поверхностные сточные воды с концентрациями минерализации на уровне 334 мг/дм³, хлорид-иона 125,9 мг/дм³, взвешенных веществ 92,4 мг/дм³, что указывает о снижении концентраций загрязняющих веществ в дождевом коллекторе за счет смешения разных потоков сточных вод.

Таблица

Результаты измерений качественного состава поверхностных сточных вод, формируемых на территории промышленной зоны
(диапазон концентраций)

№ п/п	Наименование вещества (показателя)	Группа 1	Группа 2	Группа 3
1	Водородный показатель (рН), ед.рН	7,1–8,1	6,5–9,0	7,0–8,1
2	Взвешенные вещества, мг/дм ³	20,0–1501,0	9,0–431,0	11,0–180,0
3	Минерализация, мг/дм ³	54,0–8442,0	50,0–1546,0	69,0–354,0
4	Хлорид-ион, мг/дм ³	10,0–4930,4	10,0–1095,9	10,0–125,9
5	Сульфат-ион, мг/дм ³	12,20–87,81	3,42–109,75	8,78–38,78
6	Нефтепродукты, мг/дм ³	0,37–9,48	0,03–3,97	0,25–2,46
7	ХПК _{Cr} , мгО ₂ /дм ³	42,0–1060,0	14,4–588,0	27,6–185,0
8	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	5,0–251,0	1,1–157,0	3,2–26,4
9	Фосфор общий, мг/дм ³	0,10–6,76	0,075–3,38	0,10–1,25
10	СПАВ(анион.), мг/дм ³	0,14–1,03	0,025–0,56	0,097–0,631
11	Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,24–2,04	0,10–2,82	0,10–1,28
12	Фенол (Карболовая кислота, гидроксibenзол), мг/дм ³	0,0043–0,6170	0,0005–3,05	0,0005–0,14
13	Формальдегид, мг/дм ³	0,054–1,10	0,05–2,90	0,05–1,67
14	Метанол, мг/дм ³	0,13–1,15	0,1–1,1	0,10–1,03

Учитывая, что рассматриваемые точки Группы 1 расположены в местах до врезки сетей дождевой канализации предприятий, высокие концентрации взвешенных веществ, минерализации, хлорид-иона могут быть обусловлены использованием песчано-соляной смеси в зимний период года, а также недостаточно эффективной эксплуатацией сетей дождевой канализации, что приводит к накоплению в дождевых колодцах песка и его постепенному вымыванию при таянье снега с дальнейшим поступлением на очистные сооружения поверхностных сточных вод.

Высокие концентрации нефтепродуктов в точках Группы 1 обусловлены высокой транспортной нагрузкой на данной территории.

Что касается специфических загрязняющих веществ таких как, фенол, формальдегид, метанол, их концентрации в точках Группы 1 значительно превышают ПДК поверхностного водного объекта, которые установлены постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов». Максимальная концентрация фенола зафиксирована на уровне $0,617 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК $0,01 \text{ мг/дм}^3$ [4] (превышения в 62 раза ПДК), максимальная концентрация формальдегида зафиксирована на уровне $1,1 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК $0,01 \text{ мг/дм}^3$ [4] (превышения в 110 раз ПДК), максимальная концентрация метанола зафиксирована на уровне $1,15 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК $0,1 \text{ мг/дм}^3$ [4] (превышения в 11,5 раз ПДК).

Высокие концентрации в составе поверхностных сточных вод в точках Группы 2, формирующихся на территории площадок предприятий, зафиксированы по нефтепродуктам, ХПК_{сг}, БПК₅, СПАВ(анион.), аммоний-иону, фосфору общему, что может быть связано с поступлением производственных сточных вод в смеси с поверхностными сточными водами в систему дождевой канализации.

Наибольшие концентрации таких специфических загрязняющих веществ как фенол, формальдегид, метанол зафиксированы в точках отбора проб Группы 2, расположенных на территории площадок предприятий деревообработки. Так, максимальная концентрация фенола зафиксирована на уровне $3,05 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 305 раз ПДК), формальдегида на уровне $2,90 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 290 раз ПДК), метанола на уровне $1,1 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 11 раз ПДК).

Кроме того, в поверхностных сточных водах, формирующихся на производственных площадках ряда предприятий, расположенных вблизи предприятий деревообработки, также были зафиксированы высокие концентрации фенола, формальдегида и метанола, наличие которых нехарактерно для их производственной деятельности.

При этом на очистные сооружения поверхностных сточных вод поступили поверхностные сточные воды с концентрацией фенола на уровне $0,14 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 14 раз ПДК), формальдегида на уровне $0,059 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 5,9 раз ПДК), метанола на уровне $0,33 \text{ мг/дм}^3$ (превышения в 3,3 раз ПДК). Полученные результаты указывают на снижение концентраций загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод, поступающих в систему дождевой канализации за счет смешения разных потоков сточных вод.

Наличие высоких концентраций данных загрязняющих веществ в составе поверхностных сточных вод позволяют предположить, что существенный вклад в формирование загрязнений поверхностных сточных вод специфическими загрязняющими веществами вносит загрязнение воздушного бассейна в районе промышленной зоны, за счет поглощения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в период дождей, а также смыва загрязняющих веществ с территорий промышленной зоны.

Поверхностные сточные воды по сети дождевой канализации поступают на очистные сооружения поверхностных сточных вод, которые предназначены в основном для снижения концентрации в сточных водах таких загрязняющих веществ, как взвешенные вещества и нефтепродукты. Учитывая, что эксплуатируемые очистные сооружения поверхностных сточных вод не рассчитаны для удаления специфических загрязняющих веществ, то в поверхностный водный объект осуществляется сброс поверхностных сточных вод с высокими концентрациями БПК₅, ХПК_{Cr}, фосфора общего, СПАВ(анион.), аммоний-иона, а также формальдегида, что оказывает влияние на качественный состав вод поверхностного водного объекта. Измерения концентраций фенола и метанола в составе сточных вод, сбрасываемых в водный объект, не осуществлялись.

Поступление высоких концентраций специфических загрязняющих веществ с поверхностными сточными водами в водные объекты оказывает негативное воздействие на их состояние. Так, например, поступление фенолов в поверхностные водные объекты может привести к ухудшению органолептических свойств воды водных объектов – изменению запаха и вкуса, а также нарушению газообмена, т. е. снижению концентрации кислорода, что может привести к эвтрофированию водной экосистемы, вымиранию аэробных организмов, лавинообразному росту концентрации легкоокисляемых органических примесей. Поступление формальдегида в поверхностные водные объекты оказывает токсическое воздействие на гидробионты, а также может привести к ухудшению физических свойств воды, газового и солевого режимов водных объектов.

Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г. закреплено ряд задач, направленных на улучшение состояния окружающей среды, одной из которой является улучшение качества поверхностных вод посредством сокращения массы поступления загрязняющих веществ в водные объекты [5].

Таким образом, с целью недопущения ухудшения качества поверхностных водных объектов, при отведении в сети дождевой канализации поверхностных сточных вод с территорий с высокой антропогенной нагрузкой, необходимо при разработке условий приема сточных вод в систему дождевой канализации населенных пунктов учитывать поступление специфических загрязняющих веществ, а также предусматривать мероприятия для снижения их концентраций при сбросе в водные объекты.

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 года 149–3.
2. СН 4.01.02–2019 Канализация. Наружные сети и сооружения.
3. Постановление 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»
4. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов».
5. Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года, одобрена решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28.01.2011 г. № 8–Р.

УДК 502.131

Анализ источников экологической информации и информационных ресурсов, используемых для принятия управленческих решений в области использования и охраны вод

Дубенок С. А., Зорин Е.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье приведен анализ информационных ресурсов и автоматизированных информационных систем, содержащих различную водноэкологическую информацию. Проведенный анализ указывает, что основная информация о состоянии водных ресурсов, их использовании и охране в Республике

Беларусь формируется в Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды и его подведомственных организациях. При этом отсутствует единый ГИС-портал с обобщенной водноэкологической информацией, вследствие чего для ее получения в различных разрезах (территориально-административном, в разрезе речного бассейна, в разрезе отдельного водного объекта) необходимо собирать эту информацию из различных и разрозненных источников с последующей ее компиляцией на картографической основе.

Информация о состоянии водных ресурсов, их использовании и охране является частью экологической информации.

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-ХП «Об охране окружающей среды» экологическая информация представляет собой документированную информацию, содержащую сведения о состоянии окружающей среды, воздействиях на нее и мерах по ее охране, а также о воздействиях окружающей среды на человека [1]. При этом, вся экологическая информация подразделяется на две группы: экологическая информация общего назначения, предназначенная для общего пользования, и специализированная экологическая информация, которая формируется по запросу.

Экологическая информация общего назначения распространяется обладателями экологической информации путем ее размещения в печатных изданиях, других средствах массовой информации, на своих официальных сайтах в сети Интернет или иными общедоступными способами.

В соответствии с Положением о порядке формирования и ведения государственного фонда данных о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 мая 2008 г. № 734 «О государственном фонде данных о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее», обладатели экологической информации ведут реестры экологической информации государственного фонда данных о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее. Обладатели экологической информации размещают перечень сведений об экологической информации, содержащихся в реестре, в доступном месте (на информационных стендах, табло) и на своем официальном сайте в глобальной компьютерной сети Интернет.

Реестры включаются в сводный реестр экологической информации о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее, который представляет собой сводный перечень сведений об экологической информации, содержащихся в реестрах, формируемых обладателями экологической информации.

Сводный реестр экологической информации о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее формирует и ведет Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды.

В Республике Беларусь в настоящее время существует достаточно большое количество источников информации о состоянии водных ресурсов, их использовании и охране.

В рамках исследования проведен анализ основных органов государственного управления и организаций, которые осуществляют формирование информации о состоянии водных ресурсов, их использовании и охране вод и распространение указанной экологической информации.

Одним из основных источников информации о водных ресурсах является сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды) – minpriroda.gov.by. На сайте содержится информация о государственной политике в области использования и охраны вод, планы подготовки проектов нормативных правовых актов, законов, стратегий и документов, технических нормативных правовых актов, новостная информация.

Сайт Минприроды также содержит перечень ссылок на подведомственные организации Минприроды, в которых формируется значительное количество экологической информации, включая информацию о состоянии водных ресурсов и их использовании. К основным организациям, формирующим водноэкологическую информацию, относятся Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (ЦНИИКИВР), Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет), Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды (РЦАК), НПЦ по геологии, Белорусский государственный геологический центр (Белгосгеоцентр).

На сайте Минприроды в разделе «Охрана и использование водных ресурсов» содержится общая информация о текущем состоянии водных ресурсов и их использовании, а в разделе «Информационные ресурсы» – ссылки на электронные информационные ресурсы, которые ведутся в системе Минприроды и находятся в открытом доступе: Государственный кадастр возобновляемых источников энергии и Государственный водный кадастр [2].

Государственный кадастр возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [3] включает нормативно-справочную информацию о различных источниках ВИЭ, нормативные правовые и технические нормативные правовые акты, регламентирующие вопросы ВИЭ. В части водных ресурсов кадастр ВИЭ содержит информацию, представленную в виде ГИС, о действующих установках (гидроэлектростанциях) и перспективных (планируемых)

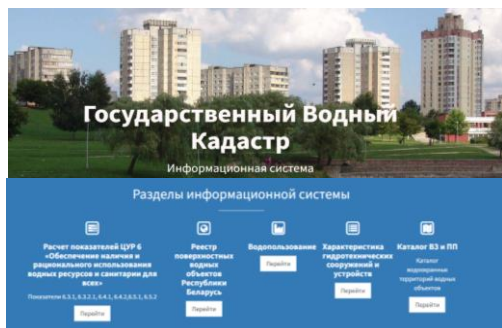


Рис. 2. Скриншот страницы «ИС ГВК»

Раздел «Показатели ЦУР 6 "Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех"» ИС ГВК 195.50.7.216:8081/task/start содержит подразделы с описаниями методик расчета отдельных показателей по нескольким задачам цели устойчивого развития 6, непосредственно расчет этих показателей в различных разрезах: территориально-административном, по видам экономической деятельности, по основным речным бассейнам.

Раздел «Реестр поверхностных водных объектов Республики Беларусь» ИС ГВК <http://195.50.7.216:8081/watres/request/> позволяет просмотреть заполненные макеты реестра поверхностных водных объектов: водотоки (реки, ручьи, каналы), водоемы (озера, водохранилища, пруды, обводненные карьеры) и родники в разрезе областей Республики Беларусь и г. Минска. Возможна реализация пользовательских запросов к реестру по разделам реестра водных объектов (водотоки, озера, водохранилища, родники, пруды), формирование различных выборок.

Раздел «Водопользование» ИС ГВК, формируемый на основе ежегодных статистических данных водопользователей страны, <http://195.50.7.216:8081/watstat/data/> позволяет получить информацию о добыче (изъятии) вод, использовании воды на собственные нужды, передаче воды другим потребителям, водоотведению, общим показателям, сбросе загрязняющих веществ по административно-территориальным единицам (области, районы, города областного подчинения и г. Минск), речным бассейнам, видам экономической деятельности.

Раздел «Характеристика гидротехнических сооружений и устройств» ИС ГВК <http://195.50.7.216:8081/hydrotechnic/request/> предоставляет возможность просмотра заполненных макетов реестра гидротехнических со-

оружий (ГТС), включающего выпуски сточных вод, очистные сооружения биологической очистки сточных вод и гидротехнические сооружения и устройства) в разрезе областей Республики Беларусь и г. Минска, реализацию пользовательских запросов к реестру по разделам гидротехнических сооружений, а также доступ к каталогу ГТС.

Раздел «Каталог водоохранных территорий водных объектов» ИС ГВК http://195.50.7.216:8081/objects/water_objects позволяет реализацию пользовательских запросов к информации, содержащейся в утвержденных проектах водоохранных зон и прибрежных полос поверхностных водных объектов страны.

ЦНИИКИВР, на своем официальном сайте cricuwr.by, помимо ИС ГВК, предоставляет возможность ознакомиться со справочником «Водные объекты Республики Беларусь» http://cricuwr.by/static/INVENT_VO/FrontPage.htm, в котором по состоянию на 2010 г. в табличном виде размещена общая информация о реках, водохранилищах, каналах и озерах страны, а также с перечнем уникальных водных объектов Беларуси cricuwr.by/rodniki и книгой «Родники Беларуси» cricuwr.by/static/files/book/Springs_of_Belarus.pdf, содержащей информацию о 1183 родниках страны.

На сайте Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет), осуществляющего мониторинг поверхностных вод, содержатся данные о сети размещения пунктов мониторинга поверхностных вод по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям (<https://rad.org.by/snob/aqua.html>), сеть размещения пунктов мониторинга наблюдения радиационного мониторинга поверхностных вод, а также обобщенная информация о состоянии (статусе) поверхностных водных объектов (их частей) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям по результатам мониторинга поверхностных вод за прошедший год в виде интерактивной карты – <https://rad.org.by/monitoring/aqua.html>.

На дочернем сайте Белгидромета по ссылке pogoda.by/observation/hydrology представлена актуальная гидрологическая информация в виде статических карт и интерактивных ГИС, включающая показатели состояния поверхностных водных объектов и изменения уровня воды, температуры, а также графическая интерпретация этих параметров по гидропостам страны.

Информация о состоянии подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим и другим показателям, в системе Минприроды формируется, в основном, в НПЦ по геологии и Белгосгеоцентре.

На сайте НПЦ по геологии <https://geologiya.by> отмечено, что предприятием в составе ГВК ведется база данных «Подземные воды Республики Беларусь», однако свободный доступ к ней через сайт предприятия, в отличии

от других разделов ГВК, размещенных на сайтах ЦНИИКИВР и Белгидромета, отсутствует. В сводном реестр экологической информации о состоянии окружающей среды и воздействиях на нее отмечено, что эту информацию можно получить в филиале «Институт геологии» НППЦ по геологии только по запросу.

На сайте Белгосгеоцентра, осуществляющего ведение кадастра недр, размещена соответствующая АИС «Государственный кадастр недр Республики Беларусь», содержащая, в том числе общую информацию о пресных, минеральных и минерализованных промышленных водах страны по участкам месторождений с их интерактивной визуализацией на карте – <https://gkn.belgeocentr.by/>.

Белгосгеоцентр также ведет АИС «Учета скважин на воду», в которой содержатся данные о подземных водах и одиночных водозаборных скважинах, их качественных и технических характеристиках в соответствии с паспортами скважин, однако доступ к этой системе пользователям ограничен.

Информация о сбросах сточных вод в поверхностные водные объекты, а также о состоянии этих водных объектов выше и ниже сброса сточных вод, формируемая в рамках локального мониторинга, агрегируется в Республиканском центре аналитического контроля в области охраны окружающей среды (РЦАК), в функции которого входит сбор, хранение, обработка и анализ данных, полученных в результате проведения локального мониторинга, а также подготовка аналитической экологической информации по результатам проведения локального мониторинга. На сайте РЦАК по ссылке https://analitcentre.by/ru/new_url_501301616-ru/ размещена интерактивная карта объектов локального мониторинга, а обобщенные данные, полученные в рамках локального мониторинга сточных и поверхностных вод, передаются в ГИАС НСМОС, где ежегодно публикуются в открытом доступе – <https://www.nsmos.by/content/182.html>.

Обобщенная информация о состоянии поверхностных и подземных вод, формируемая при проведении отдельных видов мониторинга окружающей среды, размещается на сайте Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (ГИАЦ НСМОС) <https://www.nsmos.by/>, который функционирует на базе службы экологической информации Белгидромета. Информация представлена в разрезе 13 самостоятельных видов мониторинга компонентов окружающей среды в составе НСМОС, основанных на общих принципах организации мониторинга. Таким образом, данные мониторинга поверхностных вод по гидрологическим, гидрохимическим, гидробиологическим показателям и подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим показателям, данные радиационного мониторинга поверхностных и

подземных вод, а также данные локального мониторинга сточных, поверхностных и подземных вод по годам можно найти на сайте ГИАЦ НСМОС по ссылке <https://www.nsmos.by/content/402>.

Помимо Минприроды, информация о состоянии водных ресурсов и их использовании формируется в Министерстве здравоохранения, которое в пределах компетенции реализует социально-гигиенический мониторинг, проводит регулярное обследование и оценку состояния подземных источников (водозаборов и одиночных скважин), используемых в качестве источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения (по санитарно-химическим и микробиологическим показателям) и оценку поверхностных водных объектов, используемых населением для культурно-бытовых (рекреационных) целей.

Обобщенная информация о состоянии водных объектов, используемых в качестве источников централизованного и нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, и водных объектов, используемых для культурно-бытовых (рекреационных) целей, публикуется в составе ежегодного издания «Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод», которое размещается на сайте ЦНИИКИВР по ссылке <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/>.

При этом, информация о поверхностных водных объектах, на которых ограничено, приостановлено или запрещено купание, еженедельно, в течение купального сезона, размещается на сайтах государственного учреждения «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» и территориальных органов государственного санитарного надзора.

Обзор источников водноэкологической информации и анализ ее формирования и обновления указывает, что в стране формируется большое количество информационных ресурсов, баз данных, информационных систем, содержащих информацию о состоянии и использовании водных ресурсов в различных разрезах (территориально-административном, бассейновом, по видам экономической деятельности). Причем информация о поверхностных водных объектах, их экологическом состоянии, об использовании водных ресурсов в большинстве своем находится в открытом доступе на сайтах организаций, которые являются производителями этой информации; информация о подземных водах большей частью отсутствует в открытом доступе на сайтах организаций, которые ее производят, и получить ее можно только по запросу.

Необходимо также отметить, что на большинстве источников формируемой информации она является статичной и обновляется с периодичностью от одного раза в квартал до одного раза в год, динамическая информация с использованием ГИС встречается в единичных случаях, что затрудняет ее

оперативное использование с привязкой к конкретной территории. При этом отсутствует единый ГИС-портал с обобщенной водноэкологической информацией, вследствие чего для ее получения в различных разрезах (территориально-административном, в разрезе речного бассейна, в разрезе отдельного водного объекта) необходимо собирать эту информацию из различных и разрозненных источников с последующей ее компиляцией на картографической основе.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды»
2. Раздел «Электронные информационные ресурсы» сайта Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: http://https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Дата доступа: 03.04.2023.
3. Кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>. – Дата доступа: 03.04.2023.
4. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.216:8081/> – Дата доступа: 03.04.2023.

УДК 628.35

Факторы, влияющие на миграцию соединений фосфора в иловой смеси при биологической очистке сточных вод

Дубовик О. С.¹, Иванович В. В.², Маркевич Р. М.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²УП «Минскводоканал»,

³Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

Изучение миграции соединений фосфора в иловой смеси показало, что значительная часть фосфатов в циркуляционном активном иле находится в сорбированном на хлопках состоянии и легко смывается сточными водами при смешивании. Высвобождение фосфатов из активного ила при выдерживании смеси без аэрации протекает от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от их распределения на поверхности хлопков и в клетках. Для поглощения фосфатов активным илом из жидкой фазы в условиях аэрации необходимо до 1,5 ч.

Биологическое удаление соединений фосфора из сточных вод основано на накоплении полифосфатов в клетках фосфатаккумулирующих организмов (ФАО) в условиях аэрации и выведении их из системы с избыточным активным илом. Накоплению этих микроорганизмов в биоценозе активного ила способствует наличие анаэробной зоны, где они имеют преимущество в развитии благодаря энергии расщепления полифосфатов, используя в качестве субстрата летучие жирные кислоты (ЛЖК) – продукт ацидофикации органических веществ [1; 2].

Рядом исследований показано, что на эффективность биологической очистки сточных вод от соединений фосфора оказывает влияние ряд факторов: температура и значение pH иловой смеси; соотношение БПК и содержание общего фосфора; концентрация ЛЖК, ионов кальция, калия, магния, железа; уровень аэрации в аэробной зоне и отсутствие как растворенного кислорода, так и связанного в нитритах и нитратах в анаэробной зоне; возраст активного ила и доля в нем ФАО [3; 4].

Авторы [5–7] считают, что для эффективного управления процессом биологической очистки сточных вод с целью повышения эффективности удаления соединений фосфора важное значение имеет изучение миграции фосфора в системе сточная вода – активный ил. В лабораторных экспериментах и на городских очистных сооружениях ими установлена корреляция между окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) иловой смеси (или более конкретно разностью ОВП между зонами) и миграцией фосфатов в системе сточная вода – активный ил.

Кроме того, отмечено, что для эффективного удаления соединений фосфора из сточных вод, т. е. обеспечения более низкого содержания фосфора на выходе из аэробной зоны чем в поступающих сточных водах необходимо подбирать длительность пребывания в зонах и дозу активного ила [7]. Авторы [5] считают, что наряду с миграцией фосфатов в клетки ФАО и обратно в жидкую фазу при чередовании аэробных и анаэробных условий некоторое количество фосфатов удерживается внеклеточными полимерами.

Таким образом, обнаруживаются все новые факторы, оказывающие влияние на эффективность удаления соединений фосфора из сточных вод при их биологической очистке.

Цель нашей работы заключалась в изучении факторов, влияющих на процессы миграции фосфора в иловой смеси.

Объектами исследования послужили циркуляционный активный ил и осветленные сточные воды, отобранные в период с 14.02.2017 г. по 12.04.2017 г. с двух площадок городских очистных сооружений.

Стадия биологической очистки на первой площадке очистных сооружений (МОС-1) представляет собой классические аэротенки-вытеснители,

рассчитанные на биологическое окисление органических веществ, на второй площадке (МОС-2) данная стадия представлена биореакторами, функционирующими в режиме каскадной денитрификации.

Циркуляционный активный ил и осветленные сточные воды смешивали в соотношении 1:1. Приготовленную иловую смесь с закрытых флаконов (для предотвращения поступления воздуха) инкубировали в хладотермостате с температурой 25°C на протяжении 1,5 ч, отбирая пробы для анализа через каждые 30 мин инкубирования. После инкубирования без аэрации иловую смесь переливали в конические колбы, закрывали колпачками и помещали в шейкер-инкубатор с рабочей частотой 160 мин⁻¹, температурой 25°C и инкубировали на протяжении 1,5 ч. Отбор проб также производили через каждые 30 мин инкубирования.

Содержание фосфора фосфатного в циркуляционном активном иле (ЦАИ), осветленных сточных водах (ОВ) и иловой смеси приведено на рис. 1, 2. Отмечено различное содержание фосфора в пробах, отобранных на МОС-1 и МОС-2.

Сточные воды, поступающие на биологическую очистку на МОС-1, содержали фосфор фосфатный в концентрации 7,5–12,0 мг/дм³, а на МОС-2 содержание фосфора фосфатного находилось в пределах 5,8–8,6 мг/дм³.

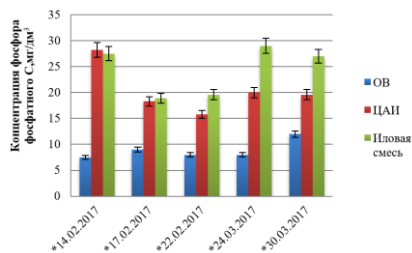


Рис. 1. Содержание фосфора фосфатного (МОС-1)

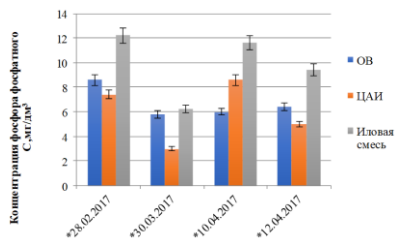


Рис. 2. Содержание фосфора фосфатного (МОС-2)

Содержание фосфора фосфатного в жидкой фазе циркуляционного активного ила на МОС-1 и МОС-2 находилось в пределах 15,8–28,2 мг/дм³ и 3,0–8,6 мг/дм³ соответственно. При смешивании циркуляционного активного ила и осветленных сточных вод достигалось увеличение содержания фосфора фосфатного в иловой смеси до концентрации 28,8–29,0 мг/дм³ (МОС-1) и 9,4–11,6 мг/дм³ (МОС-2). Существенное увеличение концентрации фосфора фосфатного в иловой смеси по сравнению с циркуляционным активным илом с учетом разбавления сточными водами можно объяснить тем, что часть фосфатов сорбирована на поверхности хлопка активного ила и смывается в результате смешивания активного ила с осветленными сточными водами.

Динамика высвобождения фосфора фосфатного из клеток и дальнейшего его поглощения биомассой активного ила МОС-1 представлена на рис. 3.

На оси абсцисс отмечено время отбора проб в течение 1,5 ч инкубирования иловой смеси без аэрации и последующего инкубирования в условиях аэрации (1,5 ч). Начальное содержание фосфора фосфатного в иловой смеси находилось в пределах 28,8–29,0 мг/дм³. Активное выделение фосфора наблюдалось в течение 0,5 ч (для пробы от 24.03.2017) и 1,0 ч (для пробы от 27.03.2017), при этом максимальное значение достигало 55,6 мг/дм³. Спустя 0,5 или 1,0 ч было зафиксировано уменьшение содержания фосфатов в жидкой фазе.

Далее, при помещении смеси в условия аэрации наблюдалось поглощение фосфора фосфатного биомассой активного ила на протяжении 1,5 ч проведения эксперимента. Конечное содержание фосфора фосфатного в жидкой фазе составило 0,4–1,6 мг/дм³.

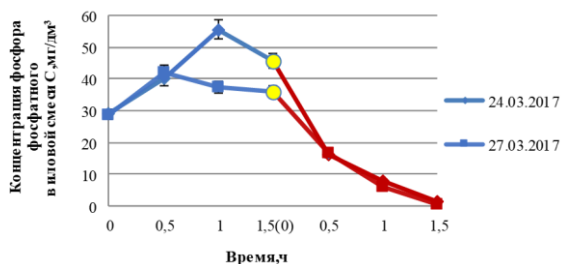


Рис. 3. Динамика миграции фосфора (МОС-1): синий цвет – инкубирование без аэрации; красный цвет – инкубирование в условиях аэрации

Для иловой смеси МОС-2 динамика высвобождения фосфора фосфатного из клеток и дальнейшего его поглощение биомассой активного ила представлена на рис. 4.

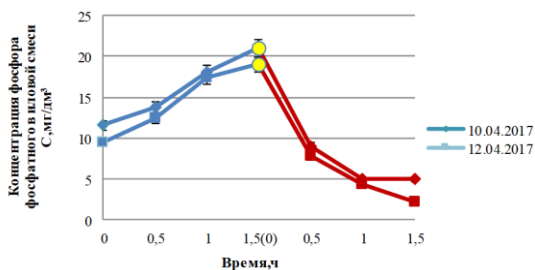


Рис. 4. Динамика миграции фосфора (МОС-2): синий цвет – инкубирование без аэрации; красный цвет – инкубирование в условиях аэрации

Начальное содержание фосфатов находилось в пределах 9,4–11,6 мг/дм³. Необходимо отметить, что для иловой смеси МОС-2 на протяжении 1,5 ч наблюдалось стабильное высвобождение фосфора фосфатного в жидкость, и его концентрация составила 19,0–21,0 мг/дм³. Далее при помещении смеси в условия аэрации наблюдалось поглощение фосфатов биомассой активного ила на протяжении 1,5 ч проведения эксперимента. Конечное содержание фосфора фосфатного составило 2,2–5,5 мг/дм³.

Установленный ранее факт о существенном увеличении содержания фосфора фосфатного в смеси циркуляционного активного ила со сточными водами в соотношении 1:1 за счет смыва с поверхности хлопков сорбированных фосфатов получил подтверждение в экспериментах в апреле 2023 г. (рис. 5, 6).

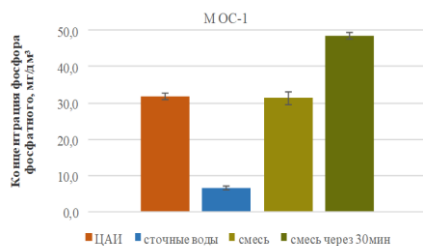


Рис. 5. Содержание фосфора фосфатного (МОС-1, апрель 2023 г.)

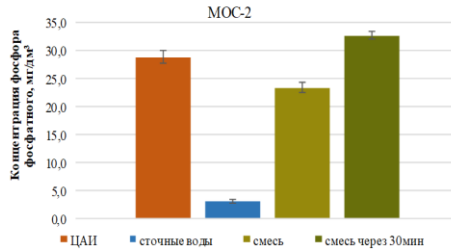


Рис. 6. Содержание фосфора фосфатного (MOC-2, апрель 2023 г.)

Следует отметить, что в данном случае наблюдается менее существенное увеличение концентрации фосфора фосфатного в смеси по сравнению с циркуляционным илом, а для MOC-2 даже небольшое снижение. Однако, с учетом разбавления сточными водами факт смыва сорбированных фосфатов подтверждается. Выдерживание иловой смеси без аэрации в течение 30 мин приводит к дальнейшему высвобождению фосфатов.

Таким образом, изучение миграции соединений фосфора в иловой смеси показало, что значительная часть фосфатов в циркуляционном активном иле находится в сорбированном на хлопках состоянии и легко смывается сточными водами при смешивании.

Высвобождение фосфатов из активного ила при выдерживании смеси без аэрации протекает от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от того, находятся они на поверхности хлопков или в клетках. Для поглощения фосфатов активным илом из жидкой фазы в условиях аэрации необходимо 1,5 ч.

Литература

1. Кевбрина, М. В. Ацидификационный потенциал поступающей сточной воды и сырого осадка московских очистных сооружений / М. В. Кевбрина [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 10. – С. 68–70.
2. Келль, Л. С. Внедрение технологии биологической дефосфотации УСТК / Л. С. Келль // Экология производства. – 2011. – № 5. – С. 75–77.
3. Амбросова, Г. Т. Закономерности процесса дефосфатизации активного ила в анаэробных условиях / Г. Т. Амбросова [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 6. – С. 73–78.
4. Blackall, L. L. A review and update of the microbiology of enhanced biological phosphorus removal in wastewater treatment plants / L. L. Blackall, G. R. Crocetti, A. M. Saunders, P. L. Bond // Antonie Van Leeuwenhoek. – 2002. – Vol. 81. – Issue 1–4. – P. 681–691. – DOI: 10.1023/a:1020538429009.

5. Юрченко, В. А. Влияние редокс потенциала среды на миграцию фосфора в иловой смеси / В. А. Юрченко, А. В. Смирнов, А. Ю. Бахарева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 78, № 6/6. – С. 78–84. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.55395.

6. Теплых, С. Ю. Перспективные методы биологического удаления фосфатов из сточной воды / С. Ю. Теплых, Д. С. Бочков, А. О. Базарова // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 42–47. – DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.07.

7. Юрченко, В. А. Влияние редокс-потенциала на фосфатацию иловой жидкости в технологиях биологического удаления фосфора / В. А. Юрченко, А. В. Смирнов, Е. М. Асин, Ю. С. Левашова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – Т. 79, № 3. – С. 26–37. – DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.26-37.

УДК: 628.196

Влияние условий модификации на изменение параметров полифункциональных фильтрующих материалов

Пропольский Д. Э., Павич Е. С., Мякина М. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Выбор фильтрующего материала в системах фильтров станций водоподготовки во многом влияет на качество обезжелезивания подземных вод. Для увеличения эффективности окисления железа с помощью фильтрующего материала могут использоваться полифункциональные модифицированные материалы с каталитическим покрытием. Установлено, что массовая доля железа на поверхности образца с фильтрацией раствора F-Fe/Zn была в 1,75 раза выше, чем цинка.

Для ряда стран актуальным является вопрос обезжелезивания подземных вод. Выбор фильтрующего материала в системах фильтров станций водоподготовки во многом влияет на качество обезжелезивания подземных вод. Материалы таких фильтров бывают природного и синтетического происхождения [1]. Для увеличения эффективности окисления железа могут использоваться импортные каталитические загрузки (Birm, MTM, Filter AG, Manganese Greensand, саркнит, цеолит и т. д. [2–4]). Между тем такие материалы являются дорогостоящими за счет их дополнительной модификации. Для сокращения затрат на обезжелезивание подземных вод перспек-

тивным является использование модифицированных материалов [5]. В качестве инертного субстрата предлагается применение дешевых гранулированных природных материалов либо отходов производств [6; 7].

Существующие методы модификации позволяют изменить морфологические и химические свойства материала [8–9]. При этом выбранный метод должен использовать легкодоступные материалы и реагенты, а также не приводить к загрязнению окружающей среды. Наиболее подходящим по этим параметрам является метод экзотермического горения в растворах (SCS) [10]. Помимо этого, для данного метода требуется меньший расход реагента и времени обработки исходного материала.

В предыдущих исследованиях [11–13] были просинтезированы образцы с покрытием из оксидов железа и цинка. Данные разновидности покрытий позволяют увеличить эффективность обезжелезивания подземных вод и инактивацию микроорганизмов. Оптимальная доза нитрата металла, согласно предыдущим исследованиям, составила 0,05 г нитрата металла на 1 г исходного материала. В качестве восстановителя более эффективным оказалось использование мочевины.

Изучено влияние различных условий синтеза на изменение морфологических и химических свойств поверхности модифицированного материала. В качестве изменяемых параметров синтеза выбраны последовательность нанесения оксидов металлов и способ обработки раствором. Таким образом были изготовлены 2 группы образцов. В первой группе (F) исходные материалы вымачивались в растворе с последующей фильтрацией. В другой группе (V) синтез образцов осуществлялся непосредственно в растворе. Следует отметить, что использование способа обработки из группы V нецелесообразно с точки зрения энергетических затрат на выпаривание раствора во время синтеза. По этой причине данный способ рассматривался в сравнительных целях. Далее обработанные образцы подвергались обжигу в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 5 мин до окончания экзотермической реакции. Затем образцы остывали при комнатной температуре, промывались дистиллированной водой и высушивались. Последовательность нанесения покрытий была выбрана следующей: образцы Fe/Zn обрабатывались по порядку нитратом железа и нитратом цинка. Соответственно, Zn/Fe – оксидом цинка и затем железа. Образцы Zn+Fe синтезировались в совместном растворе двух нитратов металлов.

Сравнение полученных образцов осуществлялось по результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (Energy-dispersive X-ray). EDX анализ позволил изучить особенности нанесения оксидов на обрабатываемые образцы. В табл. представлена массовая доля металлов на поверхности изучаемых образцов.

Результаты EDX анализа

	Fe, мас. %	Zn, мас. %
Образцы с фильтрацией раствора (F)		
F-Fe/Zn	1,23 ± 0,83	0,7 ± 0,36
F-Zn/ Fe	1,53 ± 0,69	0,33 ± 0,09
F-Zn+ Fe	0,47 ± 0,09	0,2 ± 0,0
Образцы без фильтрации раствора (V)		
V-Fe/Zn	10,33 ± 5,29	9,33 ± 6,41
V-Zn/Fe	8,43 ± 3,75	6,5 ± 4,33
V-Zn+ Fe	17,57 ± 2,62	15,47 ± 2,88

Согласно табл., нанесение металлов на поверхность образцов в группе F проходило равномерно, но малоэффективно. Наиболее оптимальным способом нанесения оксидов можно считать образец F-Fe/Zn. Массовая доля железа в таком образце на поверхности материала была в 1,75 раза выше, чем цинка. В остальных случаях массовая доля железа была в 2–3 раза больше, чем цинка. Между синтез материала при дозе нитрата металла 0,05 г на 1 г исходного материала не привела к значительному увеличению массовой доли двух металлов на поверхности образцов группы F. Это связано с тем, что в предыдущих исследованиях изготавливались образцы с монопокрытием без фильтрации раствора (аналогично образцам группы V). Таким образом, целесообразным является проведение исследования оптимальной дозы нитрата металла для получения полифункционального материала. Для этого необходимо подготовить и исследовать образцы с фильтрацией (F) в более концентрированных растворах (с дозами в 2, 3, 4 раза выше 0,05).

Для образцов без фильтрации раствора (группа V) покрытие поверхности было более эффективно в образце V-Zn + Fe. Массовая доля железа и цинка на поверхности данного образца почти в 2 раза выше остальных образцов группы V. Для образцов V-Fe/Zn и V-Zn/Fe наблюдались ярко выраженные очаги при нанесении на поверхность железа. В образце V-Zn + Fe покрытие было равномерным для двух металлов.

Также следует отметить, что для всех образцов двух групп нанесение железа было более эффективно в сравнении с цинком независимо от способа обработки раствором и последовательности нанесения оксидов.

Таким образом, использование полифункциональных фильтрующих материалов является перспективным направлением в водоподготовке.

Литература

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.01.01-2019. – Введ. 31.10.2019 (с отменой на

территории РБ ТКП 45-4.01-320-2018 (33020). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 72 с.

2. Yushchenko, V. (2023) 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. – Vol. 44, № 3. – P. 1–8. – <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>.

3. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. (2023) 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. – Vol. 22, № 8. – P. 100943.

4. Романихин, М. В. О применении новых фильтрующих материалов в системе водоподготовки / М. В. Романихин, А. А. Терентьев // *Великие реки 2016: материалы 18-й междунар. науч.-промыш. форума, Нижний Новгород, 17–20 мая 2016 г.*: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. А. А. Лапшин. – Нижний Новгород, 2016. – С. 366–368.

5. Romanovski, V. Recycling of iron-rich sediment for surface modification of filters for underground water deironing / V. Romanovski, E. Romanovskaia, D. Moskovskikh, K. Kuskov, V. Likhavitski, F. A. Mehmet, S. Beloshapkin, I. Matsukevich, A. Khort // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Vol. 4, № 9. – P. 105712.

6. Ahmed, M. B. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater / M. B. Ahmed, J. L. Zhou, H. H. Ngo, W. Guo, M. Chen // *Bioresource Technology*. – 2016. – Vol. 214. – P. 836–851.

7. Thomas, B. N. Production of Activated Carbon from Natural Sources / B. N. Thomas, S. C. George // *MedPub Journals*. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–5.

8. 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.

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. Пропольский, Д. Э. Сравнительный анализ методов модификации фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, Е. В. Романовская // *Инновационные материалы и технологии – 2020: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Минск, 9–10 янв. 2020 г.* / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 146–147.

11. Пропольский, Д. Э. Модификация фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский // Вода. Газ. Тепло – 2020: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белорус. нац. техн. ун-т, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 октября 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 139–141.

12. Пропольский, Д. Э. Методы модификации фильтрующих материалов загрузок для целей водоподготовки подземных вод / Д. Э. Пропольский // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы Шестой республ. науч.-техн. конф. молодых ученых, посвящ. памяти члена-корреспондента НАН Беларуси С. С. Песецкого, Гомель, 9–11 нояб. 2020 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Гомель, 2020. – С. 118–120.

13. Пропольский, Д. Э. Применение полифункциональных модифицированных материалов для комплексной очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, С. В. Красковский // Технологія – 2020: матеріали 23 міжнар. наук.-техн. конф., Северодонецьк, 24–25 квіт. 2020 р. / Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля; редкол.: Є. І. Овчаренко, О. В. Суворін, В. І. Соколов. – Северодонецьк, 2020. – С. 95.

УДК 628.356

Особенности учета и прогнозирования образования биогаза в технологии анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным активным илом

Рымовская М. В., Гребенчикова И. А.

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

В Республике Беларусь эксплуатируется несколько установок для анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным илом. В работе рассмотрены системы учета биогаза на этих объектах, сопоставлены фактические и полученные расчетным путем объемные расходы биогаза. Показано, что выявленные расхождения в области низких и высоких нагрузок по органическим веществам коррелируют с активностью ферментных систем микроорганизмов в системе биореактора.

Биологические методы удаления загрязнений из сточных вод общепризнанно считаются наиболее экономически эффективными и экологически при-

емлемыми. Традиционно используемая технология аэробной очистки в сооружениях с флокулированным, иммобилизованным на носителе и гранулированным илом совершенствуется параллельно с группой анаэробных технологий очистки, при этом технологические и технические решения сходны.

Система знаний о конструкциях биореакторов для анаэробной очистки с гранулированным илом, микробиологии метаногенного биоценоза и биохимических процессах, протекающих в этом биоценозе, а также общие рекомендации по ведению и контролю процесса доступна для изучения [1–3]. Мировой опыт используется при эксплуатации действующих в Республике Беларусь установок [4; 5], однако сам технологический процесс в нашей стране пока считается нестабильным и сложным для контроля процессом.

Несомненным преимуществом анаэробной очистки является образование биогаза, который используется в качестве энергоносителя, поскольку 55–80 % его составляющих – метан, остальное – углекислый газ (15–50 %), содержание сероводорода, азота, капельной и парообразной влаги – до 5 %. В зависимости от области использования биогаза может быть организовано удаление практически всех примесей метана, чаще всего (для энергоснабжения котельных агрегатов, сушильных установок, газовых плит и двигателей) необходимы осушка и удаление сероводорода [6].

Для учета биогаза требуется использование комплекта оборудования для установления количества (объемного расхода) и качества (давления, влажности, температуры, компонентного состава) газа [7]. На эксплуатируемых в РБ установках с гранулированным активным илом для анаэробной очистки сточной воды система учета биогаза, используемая по месту его образования, включает измерение объемного расхода газа, косвенно учитывают его температуру и давление, периодически на отдельных объектах (производственный цех № 6 ОАО «Минск Кристалл») используется определение доли метана в биогазе.

Для прогнозирования количества биогаза используются зависимости, отражающие прямо пропорциональную связь между количеством утилизированных в биореакторе органических загрязнителей и учитывающие качественный состав этих загрязнителей. Количество органических загрязнителей суммарно обычно учитывается по общему органическому углероду, химическому потреблению кислорода (ХПК) и/или летучим жирным кислотам (ЛЖК), качественный состав их определяется профилем производства и используемой технологией [1].

На локальных очистных сооружениях ОАО «Туровский молочный комбинат» в системе технико-химического контроля работы установки достаточно полно организовано проведение постоянного учета фактически образующегося и прогнозирования количества биогаза, суммарного количества органических загрязнителей по ХПК и ЛЖК в сточной и биологически очищенной воде. Сопоставление объемных расходов учитываемого и прогнозируемого количеств

биогаза показало, что при общем подобии расхождений все же значительны. Для анализа этих расхождений построили график зависимости разницы между фактическим и расчетным количествами биогаза от количества утилизированных органических загрязнителей, оцененных по ХПК (рис.).

Между нагрузкой на биореактор по органическим веществам и скоростью их утилизации для этой системы существует тесная корреляция ($r = 0,97$). Поэтому можно сделать вывод, что формула для прогнозирования количества биогаза справедлива в области средних нагрузок по органическим веществам и потому может успешно использоваться в период стабильной работы. Для объяснения большой разницы в области низких и высоких нагрузок нужно обратиться к активности биохимических процессов.

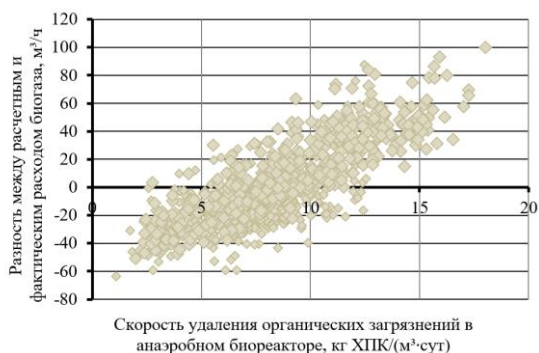


Рис. Зависимость разности предсказанного и фактического расходов биогаза от утилизированных в биореакторе органических загрязнений

Ранее нами проводилась оценка биохимической активности микроорганизмов из модельных, эксплуатирующихся при разных условиях анаэробных биореакторов [8]. Для этого высевали жидкую фазу, отбираемую из биореакторов, в объем питательных сред с лактозой (оценивалось протекание стадий гидролиза и кислотогенеза) и ацетатом (устанавливали протекание стадии метаногенеза), результат оценивали только качественно – по наличию газообразных метаболитов. Было показано, что при низких нагрузках активно протекают стадии гидролиза и кислотогенеза; увеличение нагрузки до значений среднего и высокого значений приводит к снижению биохимической активности этих процессов при слабокислом pH, тогда как при pH в районе 7,0 ферменты этих систем остаются активными. Обычно бактерии-броидильщики предпочитают pH на уровне 5,5–6,0, и отмеченная в

эксперименте их активности при нейтральном значении рН может быть объяснена только отсутствием субстратного ингибирования: быстрым потреблением органических кислот, образующихся при брожении. Активность метаногенов была отмечена при средних и высоких нагрузках, что подтверждает сделанный выше вывод.

Таким образом, в области низких нагрузок фактический объемный расход биогаза меньше, чем рассчитанный, что можно связать с очень слабой активностью протекания метаногенной стадии, и потому – ингибированием ферментных систем кислотогенных бактерий продуктами реакции – органическими кислотами. В области высоких нагрузок на анаэробный активный ил кислотогенная стадия не лимитируется, поскольку метаногенные бактерии активно потребляют органические кислоты. Объем газообразных продуктов метаногенной стадии (в основном – метана) больше объема углекислого газа, образующегося в числе продуктов кислото- и ацетогенеза (органических кислот и спиртов), поэтому фактический объемный расход биогаза при высоких нагрузках по органическому веществу больше рассчитанного. К сожалению, данных по качественному составу биогаза для этого биореактора нет. Содержание метана в биогазе, образующемся в анаэробном биореакторе типа UASB (используется в производственном цеху № 6 ОАО «Минск Кристалл»), в период относительно стабильной эксплуатации при средних нагрузках по органическим веществам не коррелирует с нагрузкой по органическим веществам и объемным расходом биогаза, колеблется в довольно узких пределах – от 58 до 70 %.

Для учета биогаза необходимо измерение комплекса показателей: объемного расхода, температуры и давления биогаза – для приведения объемного расхода к нормальным условиям, удельной доли компонентов биогаза (в первую очередь – метана) – для расчета теплотворной способности. Кроме того, полная система учета биогаза позволит принимать обоснованные решения по управлению процессом анаэробной очистки.

Литература

1. Abbasi, T. Biogas Energy / T. Abbasi, S. M. Tauseef, S. A. Abbasi. – SpringerBriefs in Environmental Science, 2012. – 184 p.
2. Mariraj Mohan, S. A review on upflow anaerobic sludge blanket reactor: Factors affecting performance, modification of configuration and its derivatives / S. Mariraj Mohan, T. Swathi // Water Environment Recourses. – 2022. – Vol. 94, № 1. – P. 1665–1679. – Doi: 10.1002/wer.1665.
3. Wainaina, S. Bioengineering of anaerobic digestion for volatile fatty acids, hydrogen or methane production: A critical review / S. Wainaina [et al.] // Bioengineered. – 2019. – Vol. 10, № 1. – P. 437–458. – Doi: 10.1080/21655979.2019.1673937.

4. Хиневич, В. И. Пути повышения выхода биогаза при эксплуатации анаэробного биореактора с гранулированным илом в производственном цехе № 6 ОАО «Минск Кристалл» – Управляющая компания холдинга «Минск Кристалл Групп» / В. И. Хиневич, М. В. Рымовская, А. Н. Наврошь, И. Н. Кузнецов // Технология органических веществ: материалы 85-ой науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 1–13 февраля 2021 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск: БГТУ, 2021. – С. 357–359.

5. Рымовская, М. В. Анализ работы анаэробного биореактора с псевдоожиженным слоем гранулированного ила при очистке сточной воды производства сыров / М. В. Рымовская, А. Н. Наврошь, С. А. Витебский // Инновационные технологии в обеспечении качества и безопасности химических и пищевых продуктов: материалы Международной науч.-техн. конф., Ташкент, 24–25 сентября 2021 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание Усманов Б. Ш.; Ташкентский химико-технологический институт. – Ташкент, 2021. – С. 88–89.

6. Маркевич, Р. М. Биотехнологическая переработка промышленных отходов: электронный курс лекций для студентов специальности 1-48 02 01 «Биотехнология» / Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, М. В. Рымовская. – Минск: БГТУ, 2018. – 301 с.

7. Об учете природного газа: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 15.12.2008 г., № 1934 (в ред. от 30.12.2020 № 772, от 26.10.2021 г. № 611). – 16 с.

8. Рымовская, М. В. Оценка биохимической активности гранулированного ила в технологии анаэробной очистки сточных вод молокоперерабатывающих производств / М. В. Рымовская, И. С. Ильюкевич, А. Р. Свердлова / Технология органических веществ: материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск: БГТУ, 2023. – С. 401–405.

Сравнительный анализ характеристик трубопроводов из различных материалов, используемых для строительства и реконструкции систем водоснабжения города Минска

Тарасевич Е. К.¹, Дубенок С. А.²

¹УП «Минскводоканал», Минск, Республика Беларусь,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье приведен анализ характеристик материалов трубопроводов, используемых на системах хозяйственно-питьевого водоснабжения города Минска, рассмотрены вопросы применения труб из различных материалов для строительства и реконструкции систем водоснабжения в г. Минске.

Система хозяйственно-питьевого водоснабжения представляет собой комплекс устройств и сооружений для забора, подготовки (при необходимости), аккумулирования (хранения), подачи и распределения питьевой воды к местам ее потребления.

Хозяйственно-питьевое водоснабжение города Минска осуществляется из подземных и поверхностного источников.

Водопроводная система города Минска включает: 17 подземных водозаборов, расположенных как в черте города, так и за его пределами, и одну очистную водопроводную станцию (ОВС), подающую воду из поверхностного источника – резервного водохранилища «Крылово»; около 3170 км водопроводных сетей хозяйственно-питьевого водоснабжения и технического водоснабжения.

Бесперебойное водоснабжение потребителей питьевой и технической водой, контроль ее качества на соответствие гигиеническим нормативам является основной задачей производства «Минскводопровод», являющегося структурным подразделением УП «Минскводоканал». Эксплуатация водопроводных сетей осуществляется 4 сетевыми районами производства «Минскводопровод»: 1-й район обслуживает сети Советского, Центрального и Первомайского района, 2-й район – сети Заводского, Партизанского, Ленинского районов и н. п. Колядичи, 3-й район – сети Октябрьского и Московского районов, 4-й район – сети Фрунзенского и Центрального районов Минска.

Возрастная структура сетей водоснабжения г. Минска приведена на рис. 1.

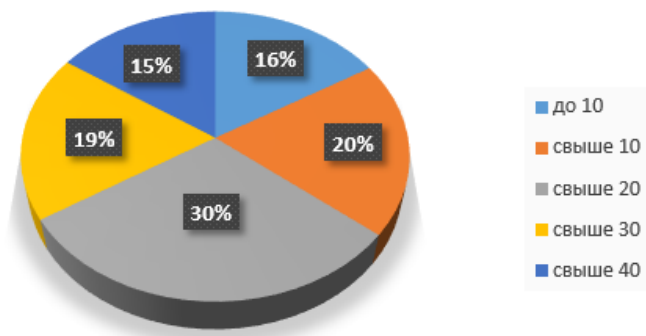


Рис. 1. Возрастная структура сетей водоснабжения города Минска

Анализ возрастной структуры сетей водоснабжения города Минска с учетом материала сетей и нормативных сроков их службы, установленных в [1], указывает, что значительная доля сетей систем водоснабжения в Минске с учетом их материала близки к окончанию гарантийного срока службы или уже исчерпали его и, соответственно, требуют замены или текущего ремонта.

Структура сетей водоснабжения г. Минска по используемым материалам трубопроводов, приведена на рис. 2.

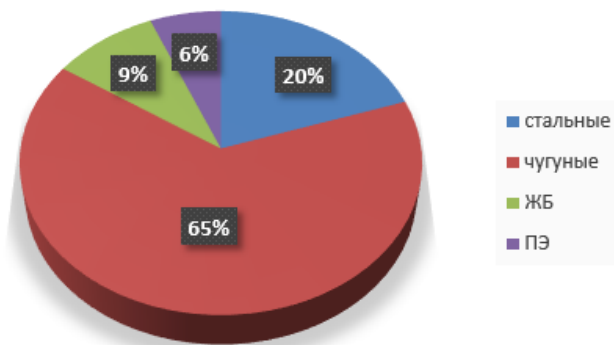


Рис. 2. Структура сетей водоснабжения города Минска по используемым материалам трубопроводов

Сравнительная характеристика материалов трубопроводов, используемых для строительства и реконструкции систем водоснабжения в городе Минске позволяет сделать вывод, что в настоящее время 65 % сетей водоснабжения города выполнены из чугуна, нормативный срок службы которого в соответствии с национальным законодательством составляет не более 50 лет. 20 % от всех сетей города представляет собой стальные конструкции с нормативным сроком службы не более 20 лет. Около 15 % составляют пластмассовые и железобетонные трубопроводы с нормативным сроком службы до 30 лет.

Разрушение сети в процессе ее износа является одной из актуальных проблем при осуществлении водоснабжения, поскольку проблема высокой степени износа сетей водоснабжения напрямую может приводить к ухудшению качества воды, подаваемой населению. Наиболее распространенными способами решения данной проблемы являются полная замена участков сети, своевременное проведение ремонта участков сети и реновации водопроводной сети.

Основными техническим нормативными правовыми актами, регламентирующими проектирование и строительство систем питьевого водоснабжения и сооружений на них, являются СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [2].

К ремонту водопроводных сетей относят заваривание трещин, переломов, свищей, установку хомутов. Целью любого ремонта является поддержание и восстановление первоначальных эксплуатационных качеств сети в целом или ее отдельных участков.

Также при реконструкции сетей используют понятие «реновация». Реновация представляет собой безопасный и наиболее эффективный способ восстановления участков сети, утративших свои эксплуатационные характеристики, на новые. Данный способ можно реализовать поэтапно и занимает он меньше времени, чем полная замена сети.

В настоящее время в мире активно применяются бестраншейные методы, которые могут использоваться как для ремонта трубопроводов, так и для их прокладки. Существуют несколько методов бестраншейного ремонта – метод прокола, продавливания, труба в трубе, метод «чулка».

Метод прокола, как элемент бестраншейной технологии укладки трубопровода, наиболее эффективен при прокладке под естественными и искусственными препятствиями без нарушения их функционирования. При этом, как показывают исследования, такой метод наиболее эффективен для прокладки стальных и полиэтиленовых трубопроводов диаметров 100–500 мм.

Метод продавливания предназначен для укладки металлических труб большого диаметра (от 800 мм). Главной особенностью является отсутствие

необходимости выкапывания траншеи. Используется для укладки трубопроводов длиной до 80 метров.

Метод «труба в трубе» наиболее эффективен за счет минимального проведения земляных работ. В данном методе новая труба протягивается (проталкивается) в старый изношенный трубопровод, который используется, как корпус для новой. При данном методе применяют полиэтиленовые трубы.

Метод «чулка» относится к наиболее простым и эффективным способам восстановления трубопровода при мелких повреждениях и коррозии. Для санации трубопроводов могут подбираться чулки разного размера и сечения. После установки чулка его наполняют воздухом или водой для того, чтобы он принял форму трубы и прочно зафиксировался на стенках.

В последнее десятилетие в Минске при осуществлении строительства и реконструкции сетей водоснабжения предпочтение отдают полиэтиленовым трубопроводам, поскольку они широко распространены на рынке и наиболее удобны для реноваций при использовании метода «труба в трубу». При этом на полиэтилен заменяют в основном стальные и чугунные трубопроводы.

Стальные трубы также достаточно широко применяются при строительстве производственных и хозяйственно-питьевых систем водоснабжения. Это прочные изделия, способные выдерживать значительные нагрузки, но с ограничениями в применении, обусловленными промерзанием и низкой устойчивостью к образованию коррозии и различных отложений [3].

Чугун – один из первых материалов для прокладки сетей водоснабжения. В настоящее время широко применяется высокопрочный чугун с шаровидным графитом, который, благодаря высокому содержанию углерода, обладает всеми традиционными качествами чугунов: высокой прочностью на сжатие, высокой усталостной прочностью, хорошими литейными свойствами, износостойкостью, поддается механической обработке.

Для изготовления бетонных трубопроводов используется сверхпрочный бетон. Бетонный трубопровод стоит относительно недорого, отличается большими сроками эксплуатации и не требует сложного ухода. Высокая прочность позволяет бетонным магистралям выдерживать большие нагрузки. Благодаря этой способности их прокладывают под железными и автомобильными дорогами [5]. При этом одним из недостатков железобетонных труб является их подверженность коррозии в короткие эксплуатационные сроки, что приводит к образованию трещин в теле трубы.

Полиэтиленовые трубопроводы для хозяйственно-питьевого водоснабжения изготавливают из полиэтилена марок, разрешенных органами здравоохранения [5]. Такие трубопроводы имеют высокую стойкость к гидроабразивному износу, что обуславливает целесообразность их применения для

транспортировки жидкостей с содержанием твердых частиц. В напорных трубопроводах абразивному износу будут подвергаться в первую очередь места сужений и поворотов. Износ в полиэтиленовых трубах существенно меньше, чем в аналогичных условиях на поворотах стальных труб.

Быстрое и эффективное строительство или реконструкция участка водопроводной сети зависит от гидрогеологических условий, способа подключения, длины участков труб, веса элементов или объема подготовки основания под трубопровод.

Реновацию трубы целесообразно задействовать, когда требуется восстановить работу трубопровода после аварии, износа. Для замены в основном пользуются полиэтиленовыми трубами. Стальные трубы чаще подвержены коррозии. Предотвратить коррозию и разрушение водопроводной сети возможно лишь путем оперативной реновации сетей.

Важным фактором при выборе материала сети водоснабжения является также отсутствие вторичного загрязнения воды в процессе ее транспортировки по сети водоснабжения, что, как показывают исследования, наиболее характерно для стальных труб. В процессе их эксплуатации наиболее распространенным видом вторичного загрязнения являются продукты коррозии металлов, которые повышают в питьевой воде содержание железа.

Исследование состояния сетей водоснабжения с определением наиболее эффективных способов их реновации проводилось на одном из сетевых районов водоснабжения Минска – Фрунзенском.

Сети водоснабжения во Фрунзенском районе Минска на январь 2023 г. по материалам трубопроводов распределяются следующим образом:

- железобетонные трубопроводы – 1,3 %;
- стальные трубопроводы – 14,2 %;
- полиэтиленовые трубопроводы – 29,3 %;
- чугунные трубопроводы – 55,2 %.

Таким образом, структура сетей водоснабжения Фрунзенского района по используемым материалам трубопроводов несколько отличается от Минска в целом. Полиэтиленовые трубы составляют чуть менее 30 % сетей водоснабжения Фрунзенского района, в отличие от среднего показателя по городу, где доля полиэтиленовых труб составляет всего 6 %.

Динамика строительства наружных сетей водоснабжения Фрунзенского района Минска за 2019–2022 гг. по материалам трубопроводов в процентном выражении за текущий год приведена в табл.

Таблица

Динамика строительства наружных сетей водоснабжения Фрунзенского района Минска за 2019–2022 гг. (в процентном выражении за год)

Материал труб	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
полиэтилен (ПЭ)	75	44	89	77
сталь	1	5	1	7
чугун	20	5	1	4
футляр ПЭ	3	30	7	8
футляр сталь	1	16	2	4

Как показывает анализ табл., в настоящее время при строительстве сетей водоснабжения в Фрунзенском районе преобладают полиэтиленовые трубы, доля которых в различные годы составляет до 89 % от всех проложенных сетей водоснабжения.

При реновации участков сетей водоснабжения Минска предпочтение отдают также футлярам из полиэтиленовых трубопроводов.

Литература

1. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 30.09.2011 № 161 «Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь» (в ред. от 01.04.2017).

2. СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

3. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячеделиформированные. Технические требования.

4. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 6482-2011 Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия.

5. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия.

УДК 628.3

Эффективность применения ультрафильтрации при очистке городских сточных вод

Иванов С. А., Аврутин О. А.

Группа компаний «Полимерконструкция»

Витебск, Республика Беларусь

Использование биореакторов с мембранным илоразделением позволяет оптимизировать стоимость жизненного цикла очистных сооружений и

достичь стабильного качества очистки сточных вод при сбросе в водоемы рыбохозяйственного назначения. Для корректного решения таких задач требуется учесть ряд специфических факторов, обусловленных высокой дозой ила в биореакторе. Статья содержит теоретические и практические результаты работы объектов, реализованных УП «Полимерконструкция».

В европейском регионе существуют различные требования к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Наиболее жесткие требования предъявляются к качеству очистки в Российской Федерации, а также в Республике Беларусь при сбросе сточных вод в малые водотоки. В последнем случае, с учетом отсутствия разбавляющей способности водоема-приемника сточных вод, к качеству очистки сточных вод предъявляются требования на уровне «рыбхоз».

Эти требования характеризуются следующими показателями качества очищенных сточных вод [1] (табл. 1).

Наиболее крупными очистными сооружениями в Республике Беларусь, к которым были предъявлены такие требования, являются очистные сооружения китайско-белорусского промышленного парка «Великий камень» (производительность 12 000 м³/сут) и очистные сооружения Белорусской национальной биотехнологической корпорации (производительность 7 000 м³/сут).

Таблица 1
Требования к качеству очистки сточных вод при сбросе в водоемы
рыбохозяйственного назначения

Показатель	Значение показателя
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	2,1
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,4
Азот нитратов, мг/дм ³	9
Азот нитритов, мг/дм ³	0,02
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	0,2
Взвешенные вещества, мг/дм ³	Ф+0,27/0,75

Самой распространенной технологической схемой работы очистных сооружений для обеспечения, приведенных в таблице 1 требований качества очищенных сточных вод, является строительство классического биореактора с доочисткой сточных вод.

В соответствии с [2] для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод применяют сооружения для удаления взвешенных веществ и соединений фосфора (сетчатые барабанные сетки, сита, микрофильтры,

фильтры и осветлители различных конструкций, устройства для мембранного разделения, сооружения для насыщения сточных вод кислородом, грунтовые фильтрационные площадки и другие сооружения), сооружения глубокого окисления органических соединений и соединений азота (биофильтры и биореакторы различных конструкций, биологические пруды, установки обработки окислителями).

Таким образом, в технологических схемах очистки сточных вод могут использоваться:

- аэрируемые биопруды, требующие значительного размера земельных участков;

- биореактор с активным илом второй ступени, в эксплуатации которого могут возникать проблемы, обусловленные низкой нагрузкой на активный ил;

- биореактор второй ступени с закрепленной биомассой, усложняющий технологическую схему, увеличивающий количество эксплуатируемых сооружений и занимающий дополнительную площадь;

- сооружения физико-химической очистки с последующим фильтрованием на фильтрах с зернистой загрузкой.

Кроме обозначенные вопросов, связанных с усложнением технологических схем очистки есть и ряд трудно решаемых для стабильной эксплуатации вопросов.

Например, очистка сточных вод по показателю «аммоний ион» до величины 0,5 мг/л требует значительного возраста ила низкой нагрузки по органическим загрязнениям на него. А достижение необходимой степени очистки по показателю «нитрит ион» до величины 0,08 мг/л зачастую приводит к еще большему расчетному показателю возраста ила.

В свою очередь низкая нагрузка на активный является одной из самых распространенных причин возникновения вспухания ила и пенообразования. При этих процессах наблюдается повышение илового индекса до величины, превышающей 200 мл/г, что обуславливает повышенный вынос активного ила. С одной стороны, сооружения доочистки, включающие в свой состав фильтровальные установки, обеспечивают соблюдение ПДК по показателю «взвешенные вещества», с другой стороны, наихудшие последствия в выносе активного ила заключаются в снижении рабочей дозы активного ила, так как скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов достаточно низка и восстановление «вымытых» нитрификаторов происходит достаточно долго.

Еще одним важным аспектом является проблема увеличения размера земельного участка для расширения сооружений очистки сточных вод для биопрудов и сооружений доочистки при их реконструкции.

В работе [3] нами были описаны преимущества применения ультрафильтр-трационных мембран для систем биологической очистки сточных воды с активным илом. Отмечено, что данное решение позволяет обеспечить целый ряд технологических процессов:

- илоразделение;
- доочистка от взвешенных и органических веществ;
- обеззараживание сточных вод.

При этом оборудование процесса илоразделения позволяет одновременно исключить влияние нитчатого вспухания активного ила, характерного для низконагруженных очистных сооружений, на процесс очистки. Благодаря данному решению можно существенно увеличить рабочую дозу активного ила в биореакторе (до 8–10 г/л), увеличить аэробный возраст активного ила (до 12–30 суток) и, таким образом, уменьшить объемы резервуаров очистных сооружений и площадь требуемых земельных участков.

По-прежнему при реализации проектов по очистке сточных вод от малых населенных пунктов актуальной остается проблема качества исходных данных. Как показала практика, точечный анализ (разовый, или в течение короткого периода времени) расхода сточных вод и их состава совсем не означает их постоянства в течение года. Отдельные объекты имеют неравномерность суточного поступления сточных вод в различные периоды года более 2–2,5 раз. В таком же диапазоне могут колебаться и концентрации основных загрязнений: ХПК, азот, фосфор.

В этой ситуации крайне важно иметь возможность в ходе эксплуатации изменять рабочую дозу активного ила в широчайшем диапазоне. В классических биореакторах рабочая доза активного ила составляет 2–5 г/л [2]. В том случае, если был выполнен некорректный сбор и анализ исходных данных при проектировании очистных сооружений или в процессе эксплуатации изменилась концентрация загрязнений в поступающих сточных водах возможности такого биореактора крайне ограничены.

Внедрение в технологический процесс мембранного илоразделения позволяет повысить в несколько раз рабочую дозу активного ила и, соответственно, окислительную мощность биореактора.

Следует отметить, что дискуссионным остается вопрос увеличения окислительной мощности биореактора при увеличении рабочей дозы активного ила. Ряд специалистов полагает, что увеличение дозы активного ила прямо пропорционально влияет на окислительную мощность аэробного биореактора. В первую очередь это относится к методикам, основанным на расчете сооружений на основе возраста активного ила [4; 5]. Вместе с тем, методики расчета, основанные на уравнениях ферментативной кинетики [6] и эмпирические методики, основанные на изучении процессов очистки

сточных вод непосредственно в биореакторах [7] указывают на непропорциональность увеличения окислительной мощности. Так, например, расчет, выполненный по [6] для конкретно объекта показывает следующую зависимость периода окисления от дозы активного ила (рис.).

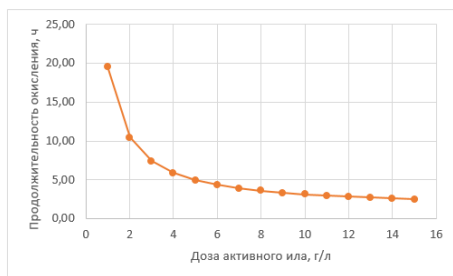


Рис. Зависимость периода окисления от дозы активного ила

К сожалению, существующая нормативная база Российской Федерации по проектированию очистных сооружений вообще не содержит методик расчета очистных сооружений. С одной стороны, это позволяет проектировщику иметь возможность для маневра в работе. При этом квалификация такого проектировщика должна быть очень высокой, желательно, основанной на эксплуатационной деятельности. С другой стороны, к сожалению, многие проектировщики по-прежнему методики расчета используют как некий набор формул, не понимая даже взаимосвязи между технологическими процессами. Нормативная база Республики Беларусь также не содержит методик расчета сооружений до требований очистки «рыбхоз», так как изложенная в [2] методика основана на [8] и не предполагает такой глубины биологической очистки сточных вод.

Безусловно, для обеспечения эффективной работы биореакторов с мембранным илоразделением необходимо обеспечить достаточное количество кислорода (воздуха) в аэробную зону. Методика [6] и последующие методики на ее основе с учетом адаптации для учета процессов нитри-денитрификации не учитывают в расчете дозу ила. Вместе с тем наш опыт проектирования и пуско-наладочных работ свидетельствует, что повышение рабочей дозы ила требует увеличения количества воздуха, подаваемого в аэробную зону. Подтверждением этому являются результаты исследований [9]. Аналогичные результаты были получены еще во ВНИИ ВОДГЕО [10], но не получили своего распространения, так как аппаратная часть очистных сооружений не позволяла эффективно эксплуатировать очистные сооружения с активным илом при его высокой дозе.

С учетом практического опыта реализации проектов малых очистных сооружений с мембранным илоразделением можно выделить следующие важные технические аспекты проектирования таких объектов:

- обязательное применение усреднителей;
- расчетная доза активного ила 6–9 г/л;
- эффективное использование подаваемого в биореактор воздуха за счет высокой плотности раскладки аэрационных элементов с учетом высокой дозы активного ила;
- насосное отведение фильтрата;
- частотно-регулируемая подача воздуха в биоблок и в систему аэрации мембранного блока;
- опциональная автоматизация.

Такое сочетание решений позволяет оптимизировать затраты электрической энергии на очистку сточных вод и повысить энергоэффективность очистных сооружений.

В качестве примера, приведем один из объектов в Ленинградской области (Российская Федерация).

Производительность расчетная 20 м³/сут.

Фактический расход сточных вод 80–2 м³/сут.

Температура сточных вод 7–21 °С.

Таблица 2

Концентрации основных загрязнений

Показатель	Единицы измерения	Проектное значение	По СП	Фактические (разовые) значения
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	180	180	160–400
ХПК	мгО ₂ /дм ³	480	360	420–880
Азот общий	мг/л	43	39	55–170
Азот аммонийный	мг/л	38	31,5	44–140
Фосфор общий	мг/л	6,4	7,5	6,4–17
Фосфор фосфатов	мг/л	4	4,5	4–15
Взвешенные вещества	мг/л	105	195	105–390

Технологическая схема очистки основана на процессе А2О с возможностью изменения в схему УСТ.

Для илоразделения применены плоские безрамные ультрафильтрационные мембраны нового поколения. Технологические этапы цикла работы мембранного блока следующие:

1. Фильтрация.
2. Релаксация 1.
3. Обратная промывка.
4. Релаксация 2.

Продолжительность этих этапов определяется в ходе пуска наладочных работ.

При этом рабочая величина трансмембранного давления фактически находилась в диапазоне 100–250 мбар (1–2,5 м).

Диапазон рабочих доз активного ила составил 6–12 г/л.

Следует отметить, что сточные воды хорошо очищались как в зимнее, так и в летнее время. В зимнее время, это обеспечивалось за счет некоторого снижения расхода поступающих сточных вод, и, соответственно, увеличения периода очистки, а также благодаря конструктивным особенностям контейнерного решения вода в биореакторе имела температуру не ниже 12 °С.

Для обеспечения нормативного качества осуществлялось дополнительно дозирование реагента полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат-18 (30). Важно отметить, что возможность и целесообразность использования биологического или биолого-химического удаления фосфора в технологиях очистки с мембранным илоразделением должны быть подтверждены расчетами исходя из качественных показателей, поступающих на биологическую очистку сточных вод.

В ходе работы обеспечено достижение всех показателей качества очистки сточных вод.

Таблица 3

Качество очищенных сточных вод

	Взв. в-ва	ХПК	БПК ₅	Азот аммонийный	Нитраты (по азоту)	Нитриты (по азоту)	Фосфор общий	Фосфор фосфатов
Сброс сточных вод	<3	16,8	2,0	0,37	6,28	0,002	0,2	< 0,2

Таким образом, можно отметить, что применение ультрафильтрационных мембран для илоразделения в биореакторах с активным илом является инновационным решением, позволяющим существенно оптимизировать процессы очистки и стоимость жизненного цикла очистных сооружений.

Корректный расчет (с учетом аспектов высокой дозы активного ила в биореакторе), проектирование и строительство в условиях жестких норм по

качеству очищенных сточных вод как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации систем биологической очистки с мембранным илоразделением позволяют обеспечить:

1. Стабильное достижение показателей «рыбхоз».
2. Компактность решения: отказ от строительства вторичных отстойников и сооружений доочистки, уменьшение объема биореакторов.
3. Возможность реконструкции очистных сооружений с увеличением производительности без изменения существующих строительных объемов сооружений.
4. Оптимизация объемов строительно-монтажных работы: возможность применения контейнерного решения, отсутствие каких-либо строительных конструкций.
5. Управляемость технологическими процессами в широком диапазоне входных параметров.
6. Энергоэффективность процесса очистки.
7. Оптимальную себестоимость очистки сточных вод.

Применение в проектах отечественных мембранных модулей позволит наработать необходимую опытную базу знаний, разработать методики расчета и повысить конкурентоспособность продукции.

Литература

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420389120>. – Дата доступа: 06.04.2023.
2. Канализация. Наружные сети сооружения. Строительные нормы проектирования // Канализация. Знадворныя сеткі і збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: СН 4.01.02-2019. – Введ. 09.07.2020. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 80 с.
3. Аврутин, О. А. Мембранные технологии и оборудование для очистки сточных вод / О. А. Аврутин, С. А. Иванов, И. В. Войтов // Нефтехимия 2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск 22–23 ноября 2021 г. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2021. – С. 188–190.
4. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце [и др]. – М.: Мир, 2006. – 471 с.

5. Данилович, Д. А. Расчет и технологическое проектирование сооружений биологической очистки городских сточных вод в аэротенках с удалением азота и фосфора / Д. А. Данилович, А. Н. Эпов. – М.: Мир, 2020. – 225 с.

6. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.03-85. – Введ. 01.01.1986. – Москва: ФГУП ЦПП, 2006. – 87 с.

7. Мишуков, Б. Г. Мембранные биологические реакторы для глубокой очистки сточных вод: учебное пособие / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 64 с.

8. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen: DWA-A 131. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. – Hennef, 2016. – 68 s.

9. Henkel, J. Oxygen Transfer Phenomena in Activated Sludge: dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) / J. Henkel. – Darmstadt, 2010. – 179 s.

УДК 628.11(16)

Водоносные слои и подземная вода как факторы внутрислоевой обработки в скважинах

Рашкевич Е. И.

Витебское областное коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал»
Витебск, Республика Беларусь

В статье дана характеристика водоносных слоев и состава подземных вод как основных факторов внутрислоевой обработки в скважинах. Рассмотрены отличия этих факторов в зависимости от типа подземных слоев и изменения состава подземных вод.

В России и странах Западной Европы довольно широко применяется метод внутрислоевой обработки подземных вод для удаления железа непосредственно в водоносных слоях скважин (in-situ) [1; 2]. Технологическая и экономическая эффективность данного метода оценивается исходя из минералого-литографического состава водоносных слоев и химического состава подземных вод. Эти факторы могут отличаться от географического района их расположения.

Гидрогеологические четвертичные подземных пород сплошным чехлом перекрывают всю территорию республики [3; 4], мощностью от нескольких до 300–325 м, средняя величина около 80 м.

В толще выделяются ряды горизонтов и подгоризонтов, причем водовмещающими породами служат водно-ледниковые отложения верхнечетвертичного поозерского образования.

Толща четвертичных отложений находится в верхней части зоны активного водообмена всего геологического комплекса отложений Беларуси, что предопределяет формирование здесь пресных и ультрапресных подземных вод преимущественно гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава. Их минерализация варьирует от 15 до 700 мг/дм³ и более, составляя в среднем 200–400 мг/дм³.

В составе подземных пород могут быть по вертикали один или несколько водоносных слоев (горизонтов, пластов), локально водоносного, слабоводоносного или практически водоупорного характера.

Подземные воды рассматриваются как основной источник централизованного водоснабжения населения Республики Беларусь, поскольку они считаются более надежными в гигиеническом и эпидемиологическом отношении.

Для систем водоснабжения водоносным горизонтом считают зону под поверхностью земли, которая способна обеспечить добычу воды в масштабах, имеющих практическое (экономическое, стратегическое, промышленное и т. д.) значение.

Объектом исследования являются водоносные слои и подземные воды скважин Витебской области.

Подземные воды на территории области расположены в породах кристаллического фундамента и осадочных образований верхнего протерозойско-кайнозоя [3; 4]. По гидрогеологическим изысканиям (разведочные и существующие водозаборные скважины приняты как аналоги) и при бурении новых скважин в 2018–2022 гг. в Витебской области было установлено, что водоносные слои широко представлены тонкими и мелко-среднезернистыми песками, песчаниками, алевролитами, известняками и доломидами [3; 4].

Песчаные водоносные породы распространены в Витебской области повсеместно (порядка 70–80 %), особенно в центральной и западной ее частях. Образовались в результате протекания процессов осадконакопления в самых различных тектонических и фациальных обстановках. Представляют собой рыхлые слои мелкообломочных пород, состоящие преимущественно из минералов и обломков горных образований, размер которых составляет от 0,01 до 1 мм с коэффициентом фильтрации до 50 м/сут и плотностью 1,03–1,7 т/м³ [4; 5].

Часто тонкозернистые и пылевидные пески объединяют в одну категорию. В песчаных породах в виде примеси может присутствовать глина, но не более 10 %.

Также наблюдаются разнозернистые пески с выделением из общей массы более крупных зерен. По форме могут быть, полуокатанными и окатанными, реже угловатыми, все они, как правило, ориентированные в одну сторону движения подземных вод.

Цементированные пески называются песчаниками. Представляет собой камень, который относится к осадочным породам. Песчаник может быть плотным или трещиноватым, в последнем случае этот слой является водоносным. Алевриты также представляют мелкообломочные породы, состоящие преимущественно из минералов размером от 0,01 до 0,1 мм. Рыхлые разновидности называются алевритами, цементированные – алевролитами. В скважинах Витебской области алевриты встречаются в юго-восточной, а песчаники в восточной и северо-западной части.

Карбонатные породы относятся к числу широко распространенных осадочных образований. Для отнесения породы к группе карбонатных необходимо, чтобы в ней содержалось не менее 50 % карбонатного материала, представляющего собой соли угольной кислоты.

Наиболее характерными представителями карбонатных пород являются известняки, доломиты и их смешанный состав, например, известняк доломитовый или доломит известковый и т. д. При использовании доломитов и известняков в качестве водоносных слоев, необходимо оценивать структуру пористого пространства. Коэффициент фильтрации может достигать 100 и более м/сут, а плотность – 2,36–3,19 т/м³. Малая пористость, высокая водопроницаемость, небольшое содержание связанной воды свидетельствуют о крупных порах и трещинах.

Применительно к системам водоснабжения малых населенных мест или отдельных предприятий, для забора подземных вод используются скважины в количестве 1–2 шт. и, как правило, глубиной 35–100 м.

Рассмотрим водоносные песчаные слои и состав подземных вод на примере двух скважин № 1 и № 2, расположенных в малом населенном пункте в Докшицком районе Витебской области.

Для ведения процессов внутрислоевой обработки в скважинах необходимо знать характеристики слагающих водоносных слоев в скважинах и состава подземной воды, которые позволят определить основные параметры работы скважин, по объемам закачки обогащенной кислородом воздуха воды и ее последующей откачки на водопроводную сеть населенного пункта.

Данные скважины имеют глубину порядка 39 м и имеют несовершенный характер. Гидрогеологический разрез свидетельствует о наличии верхнего водоупорного слоя из суглинка и глины и двух нижних водоносных слоев, представленных пылевидным и мелко-среднезернистым песком. По своему составу они являются полиминеральными кварцево-полевошпатовыми

(кварц – 50–90 %, полевые шпаты – 50–10 %). Общая высота рассматриваемого водоносного слоя до низа скважин составила 22,7 м.

Для определения гранулометрического состава водоносного слоя при промывке скважины были отобраны две пробы тонкого и мелко-среднезернистого песка, высушенных до постоянной массы образцов, по 100 г. Анализ проб производился при помощи ситового отсева на наборе калиброванных сит С12/38 и С20/38 в диапазоне отверстий 0,035–0,63 мм по ГОСТ 12536-2014. Результаты приведены на рис.

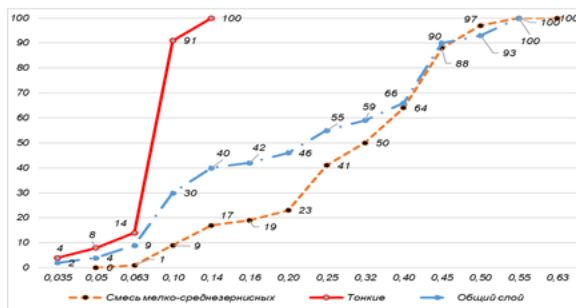


Рис. Ситовый анализ фильтрующего материала водоносного слоя скважин

Анализ гранулометрического состава водоносного слоя скважин показывает следующее.

Основная масса пылевидного (тонкого) песка содержится во фракции 0,1 мм – 77 %, менее 0,1–14 %, более – 9 %.

Содержание мелкозернистого песка по сравнению со среднезернистым составом составляет 41 %, то есть эта смесь представляет собой разнозернистый слой с общей массой более 70 %, что допустимо.

Учитывая расположения фильтра скважин в нижнем слое, можно предположить, что основным водоносным слоем является мелко-среднезернистый песок.

Для этой смеси определим его основные показатели.

Характерные диаметры зерен составили: $d_{\min} = 0,035$; $d_{\max} = 0,55$; $d_{10} = 0,105$; $d_{50} = 0,235$; $d_{80} = 0,425$ мм.

Эквивалентный диаметр зерен d_s равен

$$d_s = \frac{\sum P_i d_i}{\sum P_i} = \frac{29,6}{100} = 0,3, \quad (1)$$

где P_i – процентное содержание массы, прошедшей калибр сит d_i , %.

Коэффициент неоднородности смеси песка K_H определен по формуле

$$K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} = 4,05. \quad (2)$$

Коэффициент фильтрации K_f (м/сут) численно равен скорости прохождения воды через песок при единичном напоре. В расчетах часто используют K_{f10} – коэффициент фильтрации, приведенный к температуре подземной воды в 10 °С.

Учитывая результаты гранулометрического состава песков и другие данные, в первом приближении примем следующие средние значения коэффициента фильтрации. Для пылевидного водоносного слоя $K_{фп} = 0,75$ м/сут, а смеси мелко-среднезернистого песка

$$K_{фс} = 3 \cdot 0,41 + 10 \cdot 0,59 = 7,13 \text{ м/сут}. \quad (3)$$

Основные показатели по составу подземных вод Республики Беларусь, Витебской области и скважин №№ 1 и 2 приведены в табл.

Таблица

Средний состав артезианских подземных вод Республики Беларусь,
Витебской области и скважин №№ 1 и 2 [6; 7]

Показатели состава подземной воды	Республика Беларусь		Витебская область		Скважины №№ 1, 2
	грунт. воды	артезианские воды	грунт. воды	артезианские воды	
1	2	3	4	5	6
Мутность, ПДК = 1,5 мг/дм ³	2,5	1,7	<u>0,1–15,8</u> 1,0	<u>0,1–12,5</u> 1,0	<u>2–9,5</u> 4,5
Цветность, ПДК = 20 град	15	12	<u>5–50</u> 14	<u>5–45</u> 12	<u>5–15</u> 10
Величина рН ПДК = 6–9	7,75	7,75	<u>7,1–8,5</u> 7,3	<u>7,1–8,5</u> 7,3	<u>7,5–8,2</u> 7,7
Величина ОВП (Eh)	–	–	<u>25–160</u> 100	<u>25–140</u> 75	<u>65–75</u> 70
Общая минерализация, ПДК = 1000 мг/дм ³	270	500	<u>70–2700</u> 180	<u>180–2700</u> 260	<u>460–480</u> 470
Жесткость, ПДК = 7 мгэкв/дм ³ :			<u>2,8–16</u> 3,5	<u>3,5–48</u> 4,8	<u>7,0–8,0</u> 7,2
– общая	3,1	2,95	–	–	–
– карбонатная	2,8	2,65	–	–	–

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
Общая минерализация, ПДК = 1000 мг/дм ³	270	500	<u>70–2700</u> 180	<u>180–2700</u> 260	<u>460–480</u> 470
Жесткость, ПДК = 7 мгэкв/дм ³ : – общая – карбонатная	3,1 2,8	2,95 2,65	<u>2,8–16</u> 3,5 –	<u>3,5–48</u> 4,8 –	<u>7,0–8,0</u> 7,2 –
Окисляемость перманганатная, ПДК = 5 мгО ₂ /дм ³	3,8	3,5	<u>35–30,0</u> 4,0	<u>2,3–15,0</u> 3,5	<u>1,4–3,5</u> 2,3
Натрий (Na ⁺), ПДК = 200 мг/дм ³	8,75	8,95	<u>60–150</u> 70	<u>60–150</u> 70	65
Калий (K ⁺), мг/дм ³	3,1	2,4	<3,0	<3,0	1,1
Кальций (Ca ²⁺), мг/дм ³	43,6	43,4	<u>32–320</u> 60	<u>40–750</u> 71	110
Магний (Mg ²⁺), мг/дм ³	10,3	9,5	<u>2–45</u> 6	<u>10–50</u> 15	24
Железо общее (Fe ⁰), ПДК = 0,3 мг/дм ³	2,35	2,83	<u>1,6–10,0</u> 2,9	<u>0,5–8,0</u> 2,4	<u>1,5–3,1</u> 2,9
Марганец общий (Mn ⁰) ПДК = 0,1 мг/дм ³	0,15	0,2	<u>0,1–1,5</u> 0,17	<u>0,1–1,5</u> 0,23	<u>0,08–0,46</u> 0,16
Аммоний-ион (NH ₄ ⁺), ПДК = 2 мг/дм ³	0,6	0,47	<u>0,1–6,5</u> 0,38	<u>0,1–6,5</u> 0,38	<u>0,2–2,5</u> 0,45
Нитриты (NO ₂ ⁻), ПДК = 2 мг/дм ³	0,23	0,3	<u>0,1–7,5</u> 0,5	<u>0,1–5,4</u> 0,35	≤0,2
Нитраты (NO ₃ ⁻), ПДК = 45 мг/дм ³	8,0	5,1	<u>5–90</u> 18,0	<u>5–110</u> 26,0	≤20
Хлориды (Cl ⁻), ПДК = 350 мг/дм ³	23	16,3	<u>10–420</u> 19,0	<u>10–420</u> 19,0	65
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), ПДК = 500 мг/дм ³	12,8	9,8	<u>3,5–2500</u> 11,0	<u>3,5–2500</u> 11,0	50
Бикарбонаты (HCO ₃ ⁻), мг/дм ³	160,2	172,8	<u>110–280</u> 130,0	<u>160–380</u> 170,0	175
Свободная углекислота (CO ₂), мг/дм ³	7,0	6,2	–	–	–
Диоксид кремния (SiO ₂), ПДК = 10 мг/дм ³	6,4	9,1	<u>6–18</u> 6,8	<u>6–18</u> 6,8	7

В результате выполненного анализа гидрогеохимических данных за 2021–2022 гг. установлено, что, практически на всей местности Республики Беларусь отмечается повышенное содержание общего железа (свыше 80 %). Часто железу во многих случаях, сопутствуют марганец и аммонийные

соли. По Витебской области, особенно в Докшицком и Лиозненском районах, отмечены места со значительным содержанием сульфатов 600–2500 и нитратов 50–110 мг/дм³. На западном направлении области в скважинах наблюдается повышенная концентрация иона аммония (NH₄⁺) до 6,5 мг/дм³ и окисляемости до 15 мгО₂/дм³.

Таким образом, основными загрязнителями подземных вод в Витебской области являются железо, марганец и ионы аммония. Исключение составляют локальные участки, где выявлены превышения ПДК по окисляемости перманганатной, диоксиду кремния, нитратам и сульфатам, а также органолептическим свойствам: цветность и мутность.

В рассматриваемых скважинах концентрации этих загрязнений изменяются по сезонам года довольно значительно. Так общее железо весной и осенью составляет 2,5 и более, а зимой и летом снижается до 1,5–1,8 мг/дм³, по марганцу наоборот 0,11 и 0,46 мг/дм³. Особенно резко может изменяться концентрация иона аммония (NH₄⁺) весной и летом – 0,2–0,4, а в остальное время возрастает до 2,5 мг/дм³.

В целом установлено, что такие показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, формируются под влиянием как антропогенных (сельскохозяйственное), так и природных (высокая проницаемость покровных отложений, присутствие фульво- и гуминовых веществ в почве, литологический состав водовмещающих пород, обильные выпадения атмосферных осадков) гидрогеологических факторов.

Полученные данные будут использованы при определении производительности рассматриваемых скважин на стадиях «закачка-откачка» процессов внутрислоевого обработки воды

Литература

1. Коммунар, Г. М. Обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте / Г. М. Коммунар [и др.] // Жур. строит. и недвиж. – 1997. – № 49. – С. 12–16.
2. Рашкевич, Е. И. Закачка воды в подземный водоносный пласт скважины из пылевидного и средне-мелкозернистого песка при малом водопотреблении / Е. И. Рашкевич [и др.] // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф., Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 14. – С. 64.
3. Гледко, Ю. А. Гидрогеология / Ю. А. Гледко. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 446 с.
4. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 261 с.
5. Ежова, А. В. Литология: учебник для ВУЗов/ А. В. Ежова; Том. полит. ун-т. – Томск, 2009. – 2 изд. – 336 с.

6. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Глав. инф.-анал. центр Нац. сист. монит. окруж. среды Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by>. – Дата доступа: 20.12.2022.

7. North Belarus Clean Water Sub-Project: Technical Assessment Report / EBRD. – Prague., 2018. – 229 p.

УДК 628.3

Подземные воды как полезное ископаемое

Баллыева Н. Ш.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Республика Туркменистан

В научной статье описаны содержание, запасы и способы добычи полезных элементов, в результате очистки подземных 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.

Объем мирового потребления воды составляет 25 % водных ресурсов планеты и, по оценкам ООН, составляет 3973 км³. Человечеству в целом не угрожает недостаток чистой питьевой воды, и «водный паек» человечества остается неизменным [3].

Из общего объема воды на Земле столь нужная для человечества пресная вода составляет 2,5 процента. И это из всей величины гидросферы – водной оболочки земли, представляющей собой совокупность морей, океанов, поверхностных вод суши, подземных вод, льдов, снегов Антарктиды и Арктики, атмосферных вод, или примерно 35 млн м³. Этот объем превышает нынешние потребности человечества более чем в 10000 раз, а остальные 97,5 % емкости гидросферы составляют воды мирового океана и соленые воды поверхностных и подземных озер.

Подавляющая часть пресных вод (70 %) находится в полярных и горных льдах и вечной мерзлоте, которые практически не используются, всего лишь 0,12 % общего объема гидросферы составляют поверхностные воды рек, пресноводных озер, болот. Главным источником удовлетворения потребностей человечества в пресной воде являются речные воды. Их единовременная емкость крайне мала – 1,3 тыс. км³, но поскольку это количество возобновляется 23 раза в течение года, то фактическая цифра доступных

пресных вод составляет 42 тыс. км³. Это наш «водный паек», хотя реально можно использовать только половину этого количества.

Подземные воды – это воды, находящиеся в верхней части земной коры (до глубины 12–16 км) которые бывают в жидком, твердом и парообразном состояниях. Основная масса их образуется вследствие просачивания с поверхности дождевых, талых и речных вод. Подземные воды постоянно перемещаются как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Глубина их залегания, направление и интенсивность движения зависят от водопроницаемости пород. К водопроницаемым породам относят галечники, пески, гравий. К водонепроницаемым (водоупорным), практически не пропускающим воду, относятся глины, плотные без трещин горные породы, мерзлые грунты. Слой горной породы, в котором заключена вода, называется водоносным.

Подземные воды пополняют колодцы, реки, озера, болота; растворяют различные вещества в породах и переносят их; вызывают оползни, заболачивание. Они обеспечивают растения влагой и население питьевой водой. Источники дают наиболее чистую воду. Водяной пар и горячая вода гейзеров служат для отопления зданий, теплиц и энергетических установок. Запасы подземных вод очень велики – 1,7 %, но возобновляются крайне медленно, и это необходимо учитывать при их расходовании. Не менее важна и охрана подземных вод от загрязнений.

Темпы роста химической промышленности в Туркменистане очень высоки. Это развитие не только количественное, но и качественное, и оно должно быть связано с переходом на новый технический уровень. Поэтому рассматриваются внедрение новых способов производства и современных технологий, повышение производительности труда, увеличение сырьевых источников и их видов [1].

В период Возрождения новой эпохи стабильного государства, благодаря большим усилиям нашего Президента для своего народа, в стране делаются большие дела по обеспечению населения чистой питьевой водой и использованию водных ресурсов. За годы независимости государство Туркменистан заявило о себе миру своим огромным экономическим потенциалом.

Подземные воды оказывают значительное влияние на развитие и повседневное функционирование многих отраслей экономики. Значение подземных вод очень важно в обеспечении качественной питьевой водой сельского и городского населения, производстве товаров на экспорт, содержащей такие полезные элементы, как йод и бром, использовании лечебных вод, способствующих укреплению здоровья населения, предотвращении засоления сельскохозяйственных земель.

Успешная реализация этих мероприятий станет достойным ответом политике нашего Президента по экономически и экологически выгодному использованию минерально-сырьевых ресурсов нашей страны, в том числе подземных вод и йодобромных вод.

Подземные воды – главные, наиболее драгоценные и важнейшие полезные ископаемые. К соленым водам Туркменистана относятся родники Гарабогаз, йодобромные подземные воды. Сульфат натрия получают заводским и резервуарным способами. В хозяйствах применяют метод выпаривания воды из сырья и последующего осаждения $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ при температуре ниже $-5\text{ }^\circ\text{C}$ в зимний период. Эти рассолы содержат другие ценные элементы, такие как Br, Li, Sr и В. Минерализация подземных йодированных и бромированных вод Каспийского моря и Балканабада очень высока, доходит до 200 г/л. Сегодня из этих вод производят йод и бром.

Физические характеристики подземных вод включают в себя температуру, цвет, запах, вкус, плотность, сжимаемость, вязкость, электропроводность и радиоактивность [2].

Цвет подземных вод зависит от их химического состава и примесей. Подземные воды часто бесцветны. Воды, содержащие органические гуминовые вещества, имеют желтоватый цвет. Кислоты железа и сероводород придают воде зеленовато-голубой (изумрудный) цвет. Соединения, нерастворимые в воде, дают слабую окраску. Соединения, нерастворимые в воде, дают ложную окраску. Для определения цветности воды, ее наливают в емкость, смотрят сверху или сравнивают с цветами стандартных растворов.

Подземные воды обычно не имеют запаха. Запахи часто связаны с бактериями, которые расщепляют органические вещества в воде. Сероводород и органические соединения придают воде запах тухлых яиц, гнили, курицы. Воду необходимо подогреть до $50\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$, чтобы определить ее запах.

Грунтовые воды имеют вкус растворенных минеральных солей, газов и различных соединений. Сульфат магния придает воде горький вкус, соли железа мягкие, органические вещества сладкие, а гидрокарбонаты кальция, магния и свободной углекислоты придают воде приятный вкус, утоляющий жажду. Воду необходимо подогреть до $20\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$, чтобы определить ее вкус. Не следует забывать, что определение вкуса у всех разное.

Поскольку подземные воды как сырьевой ресурс имеют ряд преимуществ, их запасы часто велики. Современные технологии позволяют извлекать из состава воды несколько полезных компонентов. Кроме того, промышленные стоки используются одновременно и в санитарно-гигиенических целях, и в целях отопления.

Воды, оказывающие физиологическое воздействие на организм человека за счет силы их общей минерализации, оказывающие положительное влияние на здоровье ионно-газовым составом и активными веществами,

называются минеральными водами. К минеральным водам в основном относятся воды с минерализацией выше 1 г/дм^3 (сортировка до 10 г/дм^3 , минерализация $10\text{--}35 \text{ г/дм}^3$, минерализация более 35 г/дм^3).

Подземные источники термальных (теплых) вод в Туркменистане находятся вблизи озера Гарабогаз и в Лебапском велаяте. Горячие источники возле Гарабогаза имеют температуру $40 \text{ }^\circ\text{C}$. На юго-востоке нашей страны соленость воды Чарьевской котловины высокая, температура $38\text{--}58 \text{ }^\circ\text{C}$. Термальные воды Туркменистана мало пригодны для жизни. Однако с развитием технологий, заменой труб и нагревателей пластмассовыми изделиями взамен дорогих стали и чугуна, возможность использования энергии термальных вод для других целей (в качестве технической воды, в лечебных целях) показывает будущее этих вод, которые обеспечивают экологически чистую энергию.

Термальные воды могут использоваться следующим образом:

- 1) теплоснабжение (трубопровод и система горячего водоснабжения), в особых случаях для получения электрической энергии;
- 2) использование в лечебных целях;
- 3) как источник ценных химических веществ;
- 4) для различных технологических нужд (сушка, мойка и т. п.).

Чаще всего их используют в лечебных целях, и в этом случае их относят к минеральным водам. В некоторых случаях термальные воды относятся к промышленным водам, когда они используются в качестве химического сырья. При разведке и испытании нефтегазовых, минеральных и технических вод на территории Туркменистана были обнаружены термальные воды. С технической точки зрения термальные воды могут быть горячими (температура более $100 \text{ }^\circ\text{C}$), средне горячими (температура от $70 \text{ }^\circ\text{C}$ до $100 \text{ }^\circ\text{C}$), слабо горячими (температурой от $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $70 \text{ }^\circ\text{C}$).

Вода 1-й группы может быть использована для электро- и теплоснабжения, воду 2-й группы можно использовать для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а воду 3-й группы – в домашнем хозяйстве, в термальных ваннах, на фермах. В хозяйстве термальная вода будет использоваться не только по температуре, но и по химическому составу и минеральности, она будет использоваться для целей вскрытия водопотребления и контроля давления в скважинах [2].

Возможность использования подземных вод. По возможностям использования подземные воды подразделяются на пресные, питьевые, технические, лечебно-минеральные, термальные и на промышленные воды.

К питьевой воде относятся воды, питьевая вода, не содержащая вредных для здоровья человека веществ и микроорганизмов. Подземные воды считаются пресными, если в них содержится менее 1 г/дм^3 растворенных твердых веществ.

Высокое содержание химических элементов (I, Br, B, Sr, Li и др.) в составе воды учитывается при ее использовании в различных отраслях промышленности. Промышленные воды – это те воды, которые содержат в своем составе полезные элементы таким образом, что полезные элементы удобно извлекать и перерабатывать в качестве сырья для химической промышленности в условиях современных технологий.

Оценка гидроминеральных ресурсов, как природно-техногенного сырья, является одним из составляющих элементов определения эколого-экономической эффективности их использования. В то же время следует учитывать ряд специфических особенностей отличающих эколого-экономическую оценку месторождений техногенных вод от аналогичной оценки твердых месторождений. В настоящее время для оценки вод, попутно вскрывающихся при отработке месторождений твердых полезных ископаемых, вообще не существует единой корректной методики.

Туркменистан богат подземными водами, содержащими йод, бром и различные соли в промышленных масштабах.

Возможность извлечения полезных элементов из подземных гидроминеральных вод. Наша страна имеет разнообразные виды и богатые запасы сырья. В частности, это касается промышленного освоения крупных месторождений природного газа, нефти, минерального и гидроминерального сырья, составляющих основу химической, газохимической промышленности, стройиндустрии и других отраслей. Туркменский лидер подчеркивает, что одна из перспективных отраслей нашей экономики это отечественная химическая промышленность страны. Химическая промышленность нашей страны является структурным элементом отрасли, закладывающим основу для долгосрочного и стабильного развития и оказывающим положительное влияние на структурные преобразования в экономике. В последние годы программа развития химической промышленности была направлена на полное использование местного сырья, обеспечение потребностей других отраслей нашей экономики, наращивание мощностей отрасли, устойчивое развитие сельского промышленного комплекса.

Освоение гидроминеральных ресурсов на базе попутно добываемых вод нефтяных месторождений, мы считаем, может стать реальной возможностью ускоренного импортозамещения ценной химической продукцией. Туркменистан богат залежами минеральных солей, среди которых главными являются хлориды (в том числе калийные) и сульфаты (группа ангидрита, гипса, мирабилита и другие); а также с новейшими отложениями Кара-Богаз-Гола. Имеются месторождения ртути (в Копетдаге); из неметаллических полезных ископаемых серы, бентонита, озокерита, стройматериалов (в том числе стекла и цементного сырья). К числу ценных полезных ископаемых Туркменистана относятся питьевые промышленные, йодобромные и

минеральные лечебные воды. Новые источники пресной воды открыты на глубинах 50–240 м (Каракумы). Разрабатываются способы сохранения пресных дождевых вод с помощью создания искусственных, пресных водохранилищ (хаков) на такырах.

Подземные воды требуют определения наличия минимального количества каждого извлекаемого полезного компонента в зависимости от местных геологических и гидрогеологических условий, состояния хозяйства, техники и технологии. В химической промышленности подземные воды используются для добычи полезных ископаемых (йода, брома, бора, лития, рубидия, различных солей и др.).

В Туркменистане ведутся работы по внедрению цифровых технологий в систему управления водным хозяйством, предпринимаются конструктивные меры по водосбережению и улучшению качества воды, а также совершенствованию законодательной базы в области использования и охраны водных ресурсов.

Общую величину водных ресурсов Туркменистана, используемых отраслями экономики, составляет поверхностный сток рек Амударья, Мургаб, Теджен, Этрек и мелких водотоков северо-восточных склонов Копетдага и незначительных объемов подземных и коллекторно-дренажных вод. Основное значение в поверхностных водных ресурсах имеет Амударья и другие водозаборные сооружения.

Наиболее стабильным источником водных ресурсов являются грунтовые воды. Чаще всего вода, используемая для орошения, поступает из грунтовых источников. Это часто открывает широкие возможности, особенно для регионов, не располагающих иными источниками. Улучшение управления водопользованием в сельском хозяйстве и продовольственных системах направлено на повышение производительности агропродовольственных систем с учетом ограниченных водных ресурсов.

Из подземных вод можно извлекать литий, рубидий, цезий, калий, магний, поваренную соль, сульфат натрия, радий, стронций, гелий и другие, редкие, но ценные элементы. До 63 % мировых запасов лития содержится в подземных водах. Около 30 % металлов производится из подземных и поверхностных вод.

Литий является одним из наиболее важных элементов, используемых в основном в производстве керамики, стекла, алюминия, нефти, лекарств и аккумуляторов, а также в других отраслях промышленности. Высокая плотность энергии, низкий молекулярный вес и экологическая чистота позволяют использовать его в производстве литиевых аккумуляторов, портативных электронных устройств и источников питания для транспортных средств.

Наиболее передовые технологии извлечения лития развиты в США. В штатах Мичиган и Оклахома нефтяные воды содержат до 3 г/л лития. По мнению ученых, литий хранится в водах геотермальных электростанций, промышленных и термальных водах, а также в подземных водах, сильно выделяющихся при добыче нефти и газа. Ибо добыча металлов также увеличивает возможность производства энергии. В РФ принята кондиция для лития в 10 мг/л. Запасы руд цезия очень ограничены и не могут обеспечить постоянно растущий спрос, который оценивается около 35 т в год. Поэтому добыча цезия, при наличии технологии, из подземных вод может быть рентабельна. Также отдельно следует оценивать перспективы извлечения полезных компонентов из вод карьерного и шахтного водоотлива.

Литература

1. Türkmenistanda himiýa ylmyny we tehnologiýalaryny toplumlaýyn ösdürmegiň 2021–2025-nji ýyllar üçin Döwlet maksatnamasy. – А.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2020.
2. Nurgeldiýew, N. Umumy gidrogeologiya / N. Nurgeldiýew, D. Orazdurdiyew. – А.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2012.

УДК628.357

Конструктивные особенности поверхностных водохранилищных водозаборов Беларуси и факторы, затрудняющие их эксплуатацию

Левкевич В. Е., Юшкевич Н. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье изложены особенности поверхностных водохранилищных водозаборов и факторы затрудняющие их эксплуатацию

Поверхностные водохранилищные водозаборы применяют обычно при относительно пологом склоне, когда необходимые глубины находятся на значительном расстоянии от берега (рис. 1). При этом всасывающие линии устраивают самотечными. Водоприемники сооружают из железобетона. Они бывают: постоянно затопленными, затопляемыми высокими водами, незатопляемыми. Незатопляемые водоприемные оголовки называют крибами. Затопляемые трудно эксплуатировать, но они используются на судоходных и лесосплавных реках. Затопленные водоприемные оголовки могут служить только для защиты самотечных линий или образовывать водопримную камеру, к которой присоединяют концы самотечных линий (рис. 1).

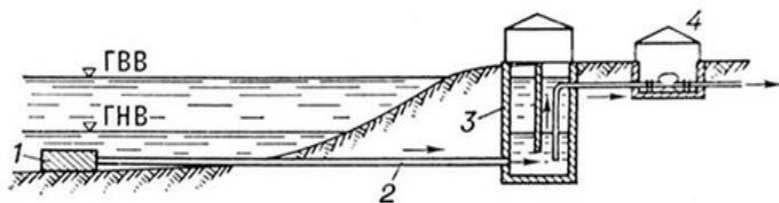


Рис. 1. Русловой водозабор раздельного типа:
 1 – оголовок; 2 – самотечные линии; 3 – береговой колодец;
 4 – насосная станция; ГВВ – горизонт (уровень) высоких вод;
 ГНВ – горизонт (уровень) низких вод

Большинство созданных на водохранилищах водозаборов расположены в приплотинной части водоемов на приглубых берегах со значительными глубинами, и устойчивых к размыву грунтах, образующих береговой склон. Конструктивно все существующие водозаборы подразделяются на раздельные (рис. 2) и совмещенные (рис. 3).



Рис. 2. Водозаборы раздельного типа с прямым отбором воды

При раздельном водозаборном сооружении берегового типа в приузловой зоне располагается водоприемный железобетонный колодец, который по фронту имеет не менее двух секций, каждая из которых разделена на приемную и всасывающую камеры. Каждая всасывающая камера соединяется всасывающей трубой с насосами. Вода из водохранилища поступает в приемную камеру через окна, оборудованные с наружной стороны съемными сороудерживающими решетками. Насосная станция подъема конструктивно отделена от берегового колодца. В качестве примера можно отметить водозаборы на водохранилищах Любанском, Млынокском, Осиповичском, Лукомльском озере и других водоемах.

Береговые же водозаборы совмещенного типа с насосными станциями устраивают, как правило, при больших производительностях и расходах.

В качестве примера можно привести водозабор на водохранилище Дрозды. К этому типу сооружений относятся водозабор Вилейско-Минской водной системы на Вилейском водохранилище и ряд других (рис. 3).



Рис. 3. Водозаборы совмещенного типа

Кроме указанных групп водозаборов отдельного и совмещенного типов существуют поверхностные водозаборы с «прямым отбором» воды для обеспечения рыбхозов, мелиоративных объектов, а также малых ГЭС. Следует также отметить, что ряд водохранилищ наливного типа наполняемые насосными станциями (НС) двойного действия: в весенний период они служат для наполнения водоема, в период межени – для орошения и обводнения и водоснабжения.

Все обследованные поверхностные водозаборы, расположенные на водохранилищах страны также были классифицированы по водопользователям. Натурное обследование ряда объектов показало, что общее состояние конструкций и отдельных узлов водозаборных сооружений находятся в хорошем и удовлетворительном состоянии. В некоторых случаях наблюдается износ бетонных и металлических конструкций. Это касается коррозии соорудерживающих решеток и закладных деталей, нарушения целостности некоторых элементов бетонных конструкций, что связано с воздействием ветрового волнения и ледового покрова. Ниже, в табл. 1, приведена характеристика некоторых эксплуатируемых водозаборов.

Таблица 1

Классификация существующих поверхностных водозаборов
на водохранилищах

Название водохранилища	Расположение водозабора	Тип водозабора	Назначение водозабора
Чижовское	Левый берег	раздельный	Техническое водоснабжение
Солигорское	Правый берег	совмещенный	Техническое водоснабжение
Осиповичское	Левый берег	раздельный	Рыборазведение
Млынокское	Правый берег	раздельный	Орошение
Жодинской ГЭС	Правый берег	совмещенный	Техническое водоснабжение
Дрозды	Правый берег	совмещенный	Питьевое и техническое водоснабжение
Водохранилище ТЭЦ-2	Левый берег	раздельный	Техническое водоснабжение
Любанское	Правый берег	раздельный	Орошение
Дубровское	Правый берег	раздельный	Энергетика
Лукомльское озеро	Правый берег	раздельный	Энергетика

С момента создания водохранилища начинается преобразование форм рельефа, в пределах которых размещается или с которыми контактирует водохранилище, так как эти формы не соответствуют новым гидрологическим и гидрогеологическим условиям. Наиболее интенсивные изменения рельефа происходят вблизи береговой черты водохранилища, затрагивая как побережье, так и прибрежную акваторию.

Размыв берегов волнами является, как правило, ведущим береговым процессом. При благоприятных условиях этот процесс может происходить в любых частях водохранилища. Он осуществляется преимущественно ветровыми волнами, а также сопутствующими или связанными с ними течениями. К важнейшим условиям, влияющим на характер и интенсивность волнового размыва, относятся: форма и размеры берегового склона, конфигурация береговой линии и положение ее по отношению к волнообразующим

направлениям, геолого-литологическое строение берегового склона, сопротивляемость размыву (размываемость) слагающих его пород и способность материала этих пород к накоплению в прибрежной зоне водоема и к участию во вдольбереговом потоке наносов, уреченный режим водохранилища. Граничными условиями для размыва берегов под действием ветровых волн являются сопротивляемость пород, превышающая размывающую способность волн, и неблагоприятные условия для ветрового волнения – слабая ветровая активность, малые размеры (ширина и глубина) акватории, малый угол (менее $3-5^\circ$) берегового склона, ледообразование на водоеме и зарастание водоема.

По вертикали зона непосредственного воздействия волнения на береговые склоны определяется размахом колебания уровня воды в безледное время и наибольшими размерами волн при крайних положениях уровня воды.

В формировании береговой зоны участвуют ветровые волны всех размеров. В начальный момент после заполнения водохранилища на размыв берегов и переотложение размываемого материала пород затрачивается максимальная доля энергии ветровых волн, подходящих к берегу. Основную работу при этом выполняют чаще всего не самые высокие волны, продолжительность действия которых невелика, а волны меньших размеров, но более часто повторяющиеся. При скорости ветра менее 3 м/с волны очень малы и их воздействие на берег ничтожно.

Ветроволновой размыв берегов (ВВРБ) приводит к необратимым (однонаправленным) изменениям некоторых условий: геолого-литологического строения, формы и размеров берегов; состава грунтов на дне и глубин водоема, а также плановых очертаний береговой линии, что в свою очередь вызывает существенную перестройку самого процесса дальнейшего размыва берега и при определенных условиях практически полное его затухание.

Вызывая отступление берега и накопление возле него части размываемого материала, процесс ВВРБ обуславливает появление прибрежной отмели и продольного потока двигающихся 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 протяжении.

Участок берега в плане в пределах действия единого потока наносов можно рассматривать как динамическую систему, имеющую относительно самостоятельное развитие. В этой системе различаются зоны дефицита, транзита и зона преобладающего отложения наносов, где размыв берега в отдельных случаях происходит в начале эксплуатации водохранилища, а затем берег начинает развиваться по аккумулятивному пути. Обмен наносами между зонами осуществляется за счет миграции наносов, т. е. местных и

кратковременных подвижек наносов вдоль берега о том или ином направлении.

Образование прибрежной отмели и продольного потока наносов способствует уменьшению доли суммарной энергии ветровых волн, идущей непосредственно на размыв берега. Чем шире и положе отмель, тем больше доля энергии волн, расходуемая на преодоление трения, тем слабее в общем обратный компенсационный отток воды во время волнения, транспортирующий размывтый материал от берега, тем сильнее рефракция волн, способствующая уменьшению продольной составляющей энергии ветровых волн, а, следовательно, и продольного потока наносов.

В условиях достаточно широкой прибрежной отмели размыв берегов происходит лишь при стоянии уровня выше наиболее часто повторяющихся его положений, когда берегозащитный эффект прибрежной отмели ослабевает. Общая тенденция к ослаблению размыва берегов волнами по мере роста прибрежной отмели особенно четко прослеживается на водохранилищах с незначительными колебаниями уровня воды в безледное время. Вполне возможно, что на более поздних стадиях развития берегов существующих водохранилищ будет прослеживаться чередование периодов ослабления (или даже полного прекращения) и активизации ВВРБ. Это может быть связано с чередованием периодов построения и разрушения прибрежных отмелей вследствие изменчивости ветроволновых процессов в условиях неустойчивого уровня воды в водоеме, необратимого выноса различными течениями твердого материала из прибрежной зоны в открытую часть водоема или перераспределения его вдоль берега, размыва прибрежной отмели тальми водами в период предполоводной сработки водохранилища.

При длительной эксплуатации водохранилища возможно изменение по тем или иным причинам вида регулирования, а иногда и общей величины стока воды через гидроузел. Это отражается на уровненом режиме водоема, что может в случае общего повышения уровня воды вызвать на некоторый период оживление ВВРБ.

В верховьях водохранилищ в размыве берегов наряду с волнением принимает участие стоковое течение. Особенно активный размыв берегов стоковым течением возможен на вогнутых в плане участках. Интенсивность боковой эрозии русла зависит прежде всего от сопротивляемости пород размыву, скорости и направления течения вблизи берега. При расположении водохранилища в каскаде наибольшая активность стокового течения отмечается в зоне влияния суточного регулирования стока верхним гидроузлом. Вниз по длине любого водохранилища наблюдается закономерное ослабление стокового течения, а, следовательно, уменьшается в целом и боковая

эрозия. Боковая эрозия развивается главным образом в периоды прохождения половодья, паводков или значительных попусков воды из вышележащего водохранилища. Общая направленность в изменении темпов боковой эрозии определяется характером руслового процесса, стадией его развития, а также тем, в пределах какого элемента русла в плане находится рассматриваемый участок берега.

Стоковые течения усиливают размыв берегов под действием ветровых волн, так как ограничивают рост прибрежной отмели и увеличивают ее крутизну. Кроме того, они способствуют перемещению прибрежных наносов вниз по длине водоема.

Размыв берегов под действием ветроволновых процессов и стоковых течений сопровождается оживлением целого ряда береговых процессов, выделяемых в особую группу склоновых процессов. Склоновые процессы происходят под влиянием гравитации и вызывают смещение пород на размываемых берегах в форме осыпи, обвала, оползня, овражной эрозии, солифлюкции, пльвуна. Преобладание того или иного из склоновых процессов определяет общий характер рельефа берегов.

Общие черты и особенности динамики берегов, развития отдельных береговых процессов в значительной мере определяются общей физико-географической обстановкой территории расположения водоема, формой ложа и размерами водохранилища, уровнем режимом, зависящим в основном от характера регулирования речного стока, а также возрастом водохранилища.

Характер и интенсивность гидродинамического воздействия водохранилища на берега существенно зависят, кроме того, от местоположения того или иного берега по длине водохранилища. Крупное равнинное водохранилище в этом отношении можно разделить на две зоны: зону глубокого подпора, характеризующую большой глубиной и шириной водоема, сравнительно устойчивым положением уровня воды, минимальными уклонами водной поверхности, и зону небольшого подпора, характеризующую меньшей глубиной и шириной водоема, более неустойчивым уровнем воды и повышенными уклонами водной поверхности. Граница между этими зонами приблизительно может быть установлена путем анализа продольных профилей водной поверхности водохранилища в характерные периоды его эксплуатации: в период прохождения пика половодья, в период предельной сработки воды из водохранилища.

На каскадных водохранилищах при условии осуществления верхним гидроузлом суточного, недельного, сезонного (или даже многолетнего) регулирования речного стока зона небольшого подпора, в свою очередь, разделяется на три района.

Для верхнего района характерно влияние на гидрологический режим суточного и недельного регулирования стока вышерасположенным гидроузлом, что вызывает неустановившееся движение потока. Наиболее полно здесь выражено сезонное регулирование стока и наблюдаются максимальные скорости стокового течения, Зимний период отличается неустойчивостью ледового покрова. Нижняя граница участка определяется дальностью распространения волн попусков суточного регулирования, причем она устанавливается в период предполоводного уменьшения подпора, при наименьшем его влиянии.

Для среднего района, как и для верхнего, характерно преобладание неустановившегося движения потока, так как еще прослеживается влияние недельного регулирования стока верхним гидроузлом. Исчезновение колебаний уровня воды, связанных с недельным регулированием, является признаком окончания района. Нижняя граница этого района устанавливается в период предельного ослабления подпора в конце зимы.

Нижний район отличается установившимся движением потока и постепенным ослаблением стокового течения по длине района.

К основным показателям, которые целесообразно учитывать при гидрологическом районировании зоны небольшого подпора, относятся суточный размах колебаний ежечасных уровней воды, недельный и годовой размах колебаний средних суточных уровней воды. Эти показатели сравниваются с аналогичными показателями в зоне глубокого подпора, а также проводится анализ продольных уклонов водной поверхности водоема при различных режимах работы верхнего и нижнего гидроузлов и характерных значениях подпора водохранилища.

Выделенные показатели достаточно тесно связаны с важнейшими характеристиками гидрологического режима, влияющими на берега. Выбор их в качестве признаков районирования обусловлен сравнительной легкостью получения и простотой обработки необходимых для этого данных. В качестве дополнительного признака при районировании следует использовать некоторые морфометрические показатели долины, в которой размещается водохранилище, в частности высотные отметки поймы и надпойменных террас. Это дает возможность учесть положение различных характерных уровней воды в водоеме по отношению к геоморфологическим элементам долины. Иногда для этих же целей можно привлекать конфигурацию водохранилища в плане, так как она влияет на поперечное сечение и ширину русла, а, следовательно, и на скорость стокового течения и интенсивность ветроволновых процессов.

Изменение гидрологической обстановки по длине зоны небольшого подпора оказывает заметное влияние на динамику и форму береговой зоны водоема.

В верхнем районе преобладает воздействие на берега стокового течения, что обуславливает формирование берегов эрозийного типа, отличительным признаком которых служит наличие бечевника. Располагаясь в интервале колебаний уровня воды, бечевники имеют вогнутую или близкую к прямолинейной форму профиля и сравнительно большую крутизну. В случае активной боковой эрозии они отступают вместе с берегом и имеют наименьшую ширину при наибольшей крутизне.

В среднем районе стоковое течение сохраняет еще до некоторой степени свою берегоформирующую роль, препятствуя отложению наносов в прибрежной зоне водоема и образуя русловые формы, переходные от бечевников к прибрежным отмелям, у которых нет еще достаточно четкого свала глубин, характерного для прибрежной отмели, или он появляется лишь временами в безледный сезон при ослаблении стокового течения.

В верхнем и среднем районах размыв берегов усиливается в периоды пропуска наибольших расходов воды через верхний гидроузел при условии высокого стояния уровня воды в водоеме. Наиболее неблагоприятная обстановка для устойчивости береговых склонов создается в многоводные годы в период половодья.

Для нижнего района характерно преобладание в размыве берегов воздействия ветровых волн; стоковое течение при благоприятных условиях может лишь несколько снижать аккумуляцию наносов на внешнем краю отмели. В связи с этим здесь формируются устойчивые прибрежные отмели, которым присуща более пологая поверхность и обычно четко отмечаемый в рельефе свал глубин, бровка которого располагается на глубине размывающего действия ветровых волн на дно.

Естественный процесс переработки и разрушения склонов, а также откосов подпорных сооружений ведет к спрямлению береговой линии за счет вдольберегового перемещения наносов

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. 4).

Натурное обследование водохранилища позволило установить нарушения в работе водозабора, связанное с заилением и занесением песчаным материалом, в результате вдольберегового перемещения наносов в прибрежной зоне, образующегося в результате переработки берега (табл. 2).



Рис. 4. Вдольбереговое перемещение и аккумуляция продуктов абразии в прирезовой зоне

Таблица 2

Влияние потока наносов на эксплуатацию водозабора

Название водохранилища	Место расположения водозабора	Наличие переработки берега	Наличие потока наносов	Расчетный расход наносов Q_t , м ³ /мпог
Дрозды	Правый берег	+	+	1,51

Проведенные натурные исследования режима движения наносов в береговой зоне водохранилища позволили установить, что под воздействием ветрового волнения в прирезовой 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 влекаемых наносов в прирезовой зоне.

По результатам натурных экспериментов построены характерные эпюры распределения продольного вдольберегового Q_x и поперечного Q_y расходов наносов и равнодействующие значения расходов потока наносов в виде векторов R_{xy} в каждой зоне ветрового волнения (рис. 5).

Экспериментально определена зависимость суммарного объема стока наносов (ΔQ_{st}), приведенная к единичной ширине береговой отмели (l_x):

$$\Delta Q_{st} = 0,137 \cdot 10^{-5} l_x (h_{1\%})^2 T n,$$

где $h_{1\%}$ – высота волны 1 % – ой обеспеченности, м; T – длительность безледного периода, сут; n – количество лет эксплуатации водохранилища.

Зависимость может быть использована при укрупненной оценке заносимости приемных колодцев водозаборных сооружений. Зависимость применима для расчетных высот волн до 0,70 м и несвязных песчаных грунтов крупностью частиц не более $d_{50} = 0,1$ см.

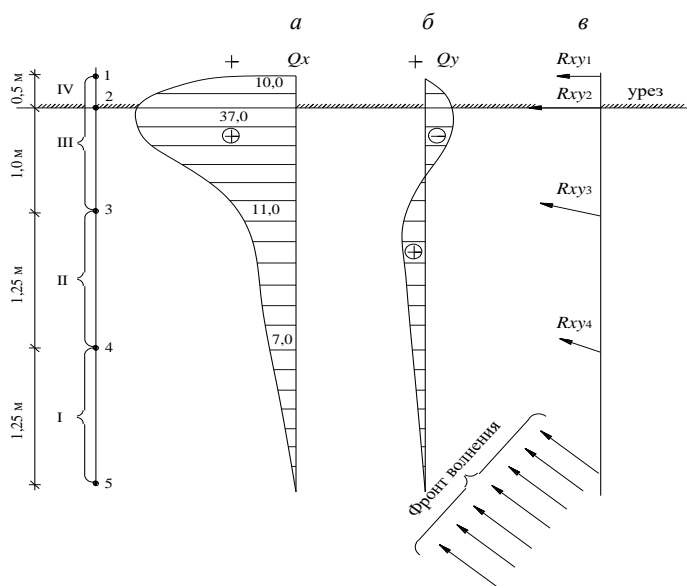


Рис. 5. Эпюры расходов наносов в береговой зоне водохранилища:
 а – вдольбереговая составляющая потока влекомых наносов;
 б – поперечная составляющая вдольберегового потока наносов;
 в – равнодействующие потока наносов в различных зонах волнения;
 1, 2, 3, 4, 5 – точка установки наносоуловителей;
 I, II, III, IV – зона волнения

Существующие водохранилищные водозаборы подвержены занесению вдольбереговым потоком наносов, образующимся при переработке берега ветровым волнением. Основными факторами и условиями развития береговых процессов можно объединить в несколько групп: климатические, геологические, гидрометеорологические, геоморфологические, биологические и условия, возникающие в связи с хозяйственной деятельностью человека. 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.

УДК 574+ 504 (576)

Экспресс-оценка воздействия водохранилищ Беларуси на прилегающие территории с помощью беспилотных летательных аппаратов

Левкевич В. Е.¹, Артемчик А. А.¹, Мильман В. А.², Решетник С. В.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Объединенный институт проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Приведены некоторые результаты полевых исследований по оценке масштабов и ширины подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси и деформации-размыву берегов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

Создание водохранилищ оказывает значительное воздействие на прибрежные территории, что выражается в развитии различных негативных процессов. Например, гидродинамическое воздействие на берега (ветровое волнение, течения, колебания уровней, ледовые явления) вызывает развитие эрозионно-абразионных процессов [1]. Однако, наряду с процессами деформации береговой линии водохранилищ изменения гидрогеологических условий, обусловленных подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий.

Для экспресс-оценки подтопления территории в прибрежной зоне водохранилищ и разрушения – переработки берегов с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) был выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславльское, Криницы, Дрозды, Волчковичское, Чижовское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Водохранилища, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различное регулирование, морфометрические характеристики, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения [1; 2].

При наполнении водохранилища, поднимающийся уровень водной поверхности оказывает значительное давление на водоносные горизонты в береговых склонах. Под действием гидростатического давления со стороны водоема сток (движение) подземных вод в подпертую реку прекращается.

Одновременно вода из водохранилища начинает фильтроваться в затопленные почвы и грунты бортов речной долины. Вследствие фильтрации в породах различного гранулометрического состава возникает фильтрационный поток, направленный от водохранилища. Скорость фильтрации будет зависеть от водопроницаемости грунтов. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации – k_f . Наименьший коэффициент фильтрации у глин – около 0,01 м/сут, т. е. вода в глине за сутки успевает пройти расстояние в 1 см. С увеличением размеров пор коэффициент фильтрации увеличивается: для песков 2–50 м/сут, гравия и галечников – 20–500 м/сут. В результате инфильтрации из водохранилища уровень подземных вод в прибрежной зоне постепенно повышается [1]. Поскольку изменение режима грунтовых вод имеет большое значение для водоснабжения, строительства и других отраслей хозяйства. Наряду с подтоплением активно развивается абразия – переработка берегов.

Таким образом, в результате строительства гидротехнических подпорных сооружений поверхность подземных вод вблизи водохранилища приобретает криволинейную форму. Со временем, с одной стороны, за счет фильтрации, с другой – за счет постоянного притока с окружающей суши, запасы подземных вод на побережье увеличиваются, а уровень их постоянно поднимается. Подобные явления типичны в основном для водохранилищ районов избыточного увлажнения, каковым является прибрежная зона водохранилищ, которая ведет к подъему уровня подземных вод за счет исключительно утечек из водоема.

Итак, на одних участках прибрежной зоны водохранилища зона влияния достигает своих максимальных размеров уже в первые годы эксплуатации, на других процесс подпора растягивается на последующий период эксплуатации. Изменения уровня верхнего бьефа водохранилища передаются подземным водам. Внешняя граница зоны подтопления, где колебания уровня подземных вод затухают, может быть расположена на расстоянии 1–4 км от уреза верхнего бьефа водохранилища.

Подтопление земель, прилегающих к водохранилищу, обусловлено как подъемом уровня воды при заполнении водохранилища до нормального подпорного уровня, так и соответственно изменением уровня грунтовых вод. Основной потенциальный ущерб от подтопления земель и в целом от изменения режима грунтовых вод связан с возможностью заболачивания территорий, изменением свойств почв, растительного и животного мира [1]. Общая площадь подтопления земель равнинными водохранилищами в зависимости от природных условий может составлять на водоемах Беларуси – до 15 % площади водохранилища [1].

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению и абразии состояла в сравнении данных наземных съемок, проведенных по

заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов и материалов съемок, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Для проведения дистанционной съемки использовался БПЛА – квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional. Данный аппарат профессиональной серии оборудован цифровой 12-мегапиксельной камерой, позволяющей выполнять видеосъемку формата HD и делать фотографии HD качества.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэросъемок с БПЛА были привлечены материалы наземного мониторинга, прибрежной зоны тестовых водных объектов, полученные ранее [1–3].

Обработка видео и фотоматериалов полевых исследований показала, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 м (водохранилища Криницы, Птичь, Дубровское) до 500 м (водохранилища Петровичи, Заславское) и может достигать 1300 м для относительно крупных водохранилищ страны (водохранилище Витебской ГЭС, правый берег).

Граница распространения подпора подземных вод определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос изменения цвета растительности, имеющих в зоне подтопления более насыщенную цветовую гамму. К тому же, в зоне подпора, как правило, преобладают травянистые виды растительности, древесные формы находятся в угнетенном состоянии.

На основании набора полученных с БПЛА аэрофотоснимков была создана трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (ЦМР). Для создания трехмерной модели местности и цифровой модели рельефа (ЦМР) была использована программа Agisoft PhotoScan. Затем на основании полученных данных строилась ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями. В результате получалась следующая картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан. Данные виды продукции пригодны для целей картографирования, инженерных изысканий, а также прогнозных расчетов.

Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях и данных, полученных в процессе обработки снимков с БПЛА, дан в табл. 1–2. В таблицах приведены результаты сравнения прогнозных расчетов подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий и переработки берегов тестовых водохранилищ и реальных параметров подтопления побережий и деформаций берегов, полученных с помощью БПЛА.

Таблица 1

Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод на тестовых водоемах и данных БПЛА

Тестовое водохранилище	Прогноз подпора подземных вод по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность, %
	Высота подпора на расстоянии 20 м от уреза воды, м	Ширина зоны подтопления, м	Ширина зоны подтопления, м	
Заславское	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское	0,50	35,0	35,0	0
Чижовское	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское (Птичь)	0,40	40,0	35,0	12,5

Таблица 2

Сравнение результатов натуральных измерений переработки берегов тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водохранилище	Измеренная средняя линейная переработка, (St), м	Данные съемки о линейной переработке с БПЛА, (St), м	Погрешность %
Заславское водохранилище	8,50	8,0	5,9
Дубровское водохранилище	4,50	4,0	11,10
Чижовское водохранилище	5,30	5,0	5,70
Волковичское водохранилище (Птичь)	4,0	3,5	12,5

На рис. 1–2 приведены материалы съемки абразионного процесса в Заславском водохранилище и подтопления территории на водохранилище Петровичи.



Рис. 1. Заславское водохранилище. Правый берег. Абразия берега



Рис. 2. Водохранилище Петровичи. Подтопление левого берега

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что: регистрация и наблюдение за развитием процесса подтопления и переработки естественных берегов водохранилищ с помощью беспилотных аппаратов возможны. Причем результаты получаются высокой точности, что подтверждают, как измеренные наземные данные и прогнозные расчеты, так и полученные БПЛА.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2020. – 152 с.

2. Левкевич, В. Е. Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики // В. Е. Левкевич, А. В. Бузук, В. А. Лосицкий, В. А. Мильман, С. В. Решетник, Ф. Н. Саидов / Сборник Трудов науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию создания Брестского государственного технического университета. 6–7 октября 2021 г. – Брест, БрГТУ. – 2021. – С. 45–54.

3. Левкевич, В. Е. Оценка параметров зоны подтопления прибрежных территорий Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов / В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, С. В. Решетник, А. А. Артемчик // Мелиорация. – 2021. – Т. 103, вып. 1. – С. 21–33.

**Инновационные технологии
в гидротехническом, энергетическом
строительстве и на водном транспорте**

Противопожарные мероприятия при производстве работ на торфяниках

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Изложены причины возникновения на осушенных торфяниках пожаров, правовые и организационные вопросы охраны труда при производстве работ на торфяниках, а также требования безопасности при тушении пожаров на осушенных торфяниках.

Защита торфяников от пожаров, своевременная локализация и тушение последних являются актуальной проблемой для многих регионов Беларуси. Торфяные пожары чрезвычайно опасны, часто сопровождаются плотным задымлением и интенсивным тепловым излучением. Возникающие пожары приводят к большим экономическим потерям, связанным с гибелью древостоев и пожаротушением, они ухудшают санитарную обстановку в прилегающих населенных пунктах, являются источником залповых выбросов углекислого газа в атмосферу, приводят к деградации ландшафтного и снижению биологического разнообразия.

Основным документом, регулирующим деятельность по обеспечению пожарной безопасности, является Закон Республики Беларусь «О пожарной безопасности», который определяет правовую основу и принципы организации системы пожарной безопасности и государственного пожарного надзора, действующих в целях защиты от пожаров жизни и здоровья людей, национального достояния, всех видов собственности и экономики Республики Беларусь [1].

Все работающие перед началом производства работ должны быть ознакомлены с нормами технологического режима, безопасности, пройти соответствующий инструктаж и в процессе производства работ строго соблюдать соответствующие нормы и правила.

Вопросы обучения и проверки их знаний по охране труда регулируются «Инструкцией о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда» [2].

При производстве всех видов работ по эксплуатации водохозяйственных и мелиоративных объектов, лицо, ответственное за эксплуатацию, и весь рабочий персонал, должны соблюдать правила охраны труда в соответствии с ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования» [3], ГОСТ

12.3.002-2014 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности» [4], Трудовым кодексом Республики Беларусь [5], «Правилами по охране труда при выполнении строительных работ» [6], «Типовыми инструкциями по охране и безопасности труда при строительстве и эксплуатации оросительных и осушительных систем» [7] и другими специальными инструкциями.

Ответственность за обеспечение пожарной безопасности в структурных подразделениях предприятий мелиоративной системы несут руководители подразделений, а во время отсутствия последних – лица, исполняющие их обязанности, в соответствии с действующим законодательством.

Старшие инженеры (инженеры) по охране труда, технике безопасности и организации пожарной охраны обязаны осуществлять контроль за выполнением Типовых правил пожарной безопасности для объектов сельскохозяйственного производства, содержанием пожарной техники и организацией и качеством противопожарной подготовки рабочих и служащих.

Все лица, работающие на торфяниках, должны пройти пожарно-технический инструктаж до наступления пожароопасного периода, а также научиться правильно пользоваться средствами пожаротушения.

Работа техники с двигателями внутреннего сгорания допускается только после проверки: а) средств пожаротушения; б) топливных баков; в) электропроводки; г) искрогасителей установленного образца.

Оповещение о пожаре производится немедленно любыми имеющимися средствами.

Главной причиной возникновения на осушенных торфяниках пожаров, которые наносят большой хозяйственный ущерб, является неосторожное обращение с огнем: разведение костров, обжиг без должного надзора прошлогодней растительности и сорняков, бросание горящих окурков, спичек и др. Реже пожары возникают от искр тракторов и других машин.

Противопожарная профилактика торфяников предусматривает проведение комплекса мероприятий, направленных на предупреждение возникновения торфяных пожаров, ограничение их распространения и создание условий для обеспечения успешной борьбы с ними.

Глубина прогорания торфяной залежи определяется уровнем залегания грунтовых вод, поэтому гидрологический режим торфяников является главным фактором при выборе мероприятий по предупреждению возникновения и распространения торфяных пожаров. Замеры уровня грунтовых вод показали, что на осушенном торфянике они значительно ниже, чем на неосушенных участках. Влажность почвенного горизонта 0–10 см, а также в подстилающих его почвенных горизонтах (10–20 и 20–30 см) на осушаемом торфянике значительно меньше, чем на неосушенном.

Для предупреждения пожаров на торфяниках и быстрой их ликвидации необходимо:

1) систематически проводить разъяснительную работу среди населения об осторожном обращении с огнем на торфяниках;

2) вывешивать на территории торфяника предупредительные плакаты с надписью: «Разведение костров, пользование открытым огнем, выжигание травы и охота на территории торфяников запрещается»;

3) допускать курение в пожароопасный период только у противопожарных водоемов и каналов;

4) не допускать разведения костров и обжига травы в сухое время года. Сжигание кустарниковой растительности, порубочных остатков и пней на торфяниках допускается в пожаробезопасный период (ноябрь-март), в другое время – только при высокой влажности торфа под руководством ответственного лица. Места сжигания обеспечивают необходимыми средствами пожаротушения. По окончании сжигания остатки костров заливают водой;

5) не допускать на осушенных торфяниках размещение заправочных пунктов и площадок для стоянки и ремонта мелиоративной техники;

6) скирдование сена и соломы на осушенных торфяниках не рекомендуется;

7) складировать деловую древесину, оставленную в местах рубок на летний период, в штабеля объемом 5 куб. м на расстоянии не менее 20 м;

8) своевременно удалять солому, сорняки, которые наматываются на вращающиеся части машин, во избежание загорания;

9) прокладывать минерализованные полосы вокруг торфяных болот, в дополнение к сети дорог для образования замкнутых контуров. Полосы устраиваются бульдозерами, тракторными почвообрабатывающими орудиями, а при необходимости прокладки широких полос – выжиганием напочвенного покрова между двумя минерализованными полосами, проложенными почвообрабатывающими орудиями. При наличии соответствующих почвенных условий и хозяйственной целесообразности защитные противопожарные полосы могут создаваться также путем посева на них огнестойких растений (картофеля, люпина и др.). Ширина полос и способы их создания устанавливаются с учетом возможного характера и интенсивности распространения пожаров, почвенных и лесорастительных условий и наличия машин и орудий;

10) прокладывать противопожарные каналы при их ширине по дну не менее 0,4–0,6 м и глубиной до минерализованного слоя или уровня грунтовых вод в целях защиты особо ценных лесных участков от перехода на них торфяных пожаров с соседних площадей, опасных в пожарном отношении;

11) устраивать дороги противопожарного назначения в дополнение к имеющейся сети дорог, чтобы обеспечить проезд автотранспорта к участкам, опасным в пожарном отношении, и к водоемам. Работы по устройству таких дорог

заклачиваются в корчевании пней, расчистке и выравнивании проезжей части, устройстве гатей, переездов через канавы, ручьи и т. п.;

12) создавать густые защитные лесные полосы древесно-кустарниковой растительности вдоль железных дорог, судоходных рек и вокруг стационарных двигателей (ширина полос 15–20 м);

13) устраивать на осушительной системе противопожарные водоемы или проводить задержание воды в каналах с помощью подпорных сооружений, которые в этом случае служат также и противопожарным целям. Для эффективного использования при борьбе с торфяными пожарами средств водного пожаротушения должна проводиться подготовка естественных источников воды (рек, прудов, озер и т. п.) и строительство специальных искусственных водоемов. Подготовка естественных источников воды для целей пожаротушения заключается в устройстве к ним подъездов, оборудовании специальных площадок для забора воды пожарными автоцистернами и мотопомпами, а при необходимости, в углублении водоемов или создании запруд. Искусственные противопожарные водоемы строятся, как правило, вблизи автомобильных дорог, от которых к водоемам должны быть устроены подъезды;

14) создавать боевые пожарные расчеты по 20–25 человек, которые распределяются по звеньям: *тушения* (для спасения людей и техники; подготовки средств тушения и тушения пожара), *водоснабжения* (для организация бесперебойной подачи воды к месту пожара; мобилизации населения для оказания помощи в водоснабжении; наблюдения за перебойной работой насосов; своевременной перестановки насосов и переноски рукавов; приведения в порядок находящихся на вооружении звена насосов, рукавов, ведер) и *защиты* (для защиты торфяника от возникновения новых очагов загораний; создания противопожарных разрывов; оказания помощи тушения пожара с флангов очага огня);

15) иметь в пожарной бригаде достаточное количество противопожарных химикатов, опрыскивателей, мотопомп и др.

Для тушения пожаров на осушенных торфяниках наиболее рационально применять химические препараты – водные растворы хлористого магния, хлористого калия, сульфата аммония и др. Тушение пожаров на торфяниках производится разбрызгиванием растворов различными опрыскивателями. При отсутствии химикатов, а также в случае значительного распространения огня в глубину, тушение производят водой с помощью пожарных насосов или вручную.

Если пожаром охвачена значительная площадь, наряду с тушением пожара надо оградить горящий участок каналом глубиной до минерального грунта или в крайнем случае глубже охваченного огнем слоя торфа на 25–30 см и заполнить этот канал водой. Такие каналы устраиваются и для

ограждения осушаемого болота от пожара, происходящего в соседнем лесу.

Требования безопасности при тушении пожаров на осушенных торфяниках включает следующее [7]:

- 1) прохождение обязательного техминимума по противопожарным мероприятиям, работающими на торфяниках;
- 2) соблюдение предосторожности во время тушения пожаров;
- 3) обеспечение лиц, участвующих в тушении пожаров, средствами самозащиты.

При проведении работ по тушению пожаров должна быть обеспечена правильная расстановка рабочей силы и непрерывная связь между звеньями, а также намечены пути отхода в безопасные места в случае прорыва огня.

Лица, работающие на тушении пожара, должны быть снабжены во время сильных ветров защитными очками, а при наличии едкого дыма – респираторами и другими противодымными средствами.

Без разрешения командира звена не допускается:

- а) переходить противопожарные преграды в сторону пожара;
- б) уходить самовольно с работы;
- в) при тушении подземных пожаров переходить каналы в неуказанных местах.

К тушению пожаров не допускаются: подростки до 16 лет, беременные и кормящие женщины, глухонемые, психически больные и инвалиды.

Лица, занятые на тушении пожара, обеспечиваются по месту работы питанием и питьевой водой в закрытой посуде.

Лица, получившие ожоги и раны, выводятся в безопасные места, где им должна быть оказана медицинская помощь. Необходимо обеспечить немедленную отправку пострадавших в медицинское учреждение.

Литература

1. О пожарной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 15 июня 1993 г., № 2403-ХП: с изм. и доп. 30.12.2022 № 228-3 (Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 31.12.2022, 2/2948) // Ведомости Верховного Совета Респ. Беларусь. – 1993. – № 23. – ст. 282.

2. Об утверждении Инструкции о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда: постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь, 28.11.2008 г., № 175 (в ред. постановления М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 14 июля 2022 № 45) // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2009. – № 53. – № 8/20209.

3. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования: ГОСТ 12.0.230-2007. – Введ. 01.03.2016. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 20 с.

4. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.3.002-2014. – Введ. 01.05.2017. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2014. – 14 с.

5. Трудовой кодекс Республики Беларусь: 26 июля 1999 г., № 296-3: принят Палатой представителей 8 июня 1999 г.: одобр. Советом Респ. 30 июня 1999 г.: с изм. и доп.: [по состоянию на 4 мая 2022 г.]. – Минск: Амалфея, 2022. – 227 с.

6. Об утверждении Правил по охране труда при выполнении строительных работ: постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь и М-а архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 31.05.2019 г., № 24/33 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2019. – № 8/34304. – Введ. 22.09.2021. – 51 с.

7. Типовые инструкции по охране и безопасности труда при строительстве и эксплуатации оросительных и осушительных систем [Электронный ресурс]: приказ М-ва сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь «О типовых инструкциях по охране и безопасности труда», 25 октября 1996 г., № 247 // М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. – Режим доступа: www.mshp.gov.by/documents/melio/f44c739e033e0db1.html. – Дата доступа: 23.07.2022.

УДК 627.831

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 расчетным.

При проектировании резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой открытым остается 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 водопроемного отверстия резервного водосброса остается открытым. Здесь возможны два варианта применения такого водосброса.

По первому варианту резервный водосброс обеспечивает совместно с основным пропуск расчетного нормативного расхода, которым в данном случае является поверочный расход расчетной обеспеченности, пропускаемый при уровне верхнего бьефа равном ФПУ [1]. Общая пропускная способность водосбросного фронта гидроузла по этому варианту не увеличивается и равна расчетному 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 в [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

$$З = П + E_n K_0,$$

где Z – приведенные затраты; P – 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.

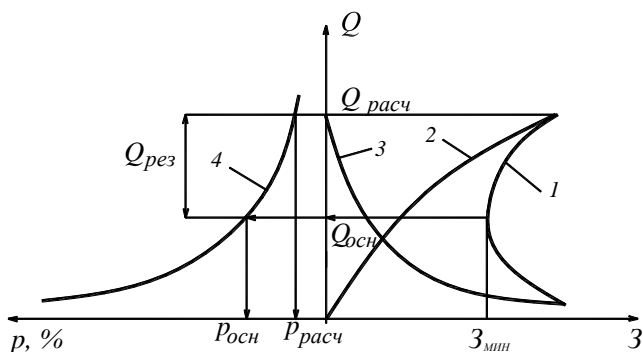


Рис. 1. График оптимизации основного и резервного водосборов:
 1 – суммарные затраты; 2 – затраты по основному водосбору; 3 – то же по резервному; 4 – кривая обеспеченностей максимальных расходов

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 водосбор за весь срок службы гидроузла ни разу не включается в работу на полную пропускную способность. Резервные водосборы позволяют практически без дополнительных затрат уменьшить пропускную способность основного водосбора и одновременно увеличить безопасность гидроузла в условиях паводка.

Второй вариант – резервный водосбор обеспечивает пропуск расхода, превышающего максимальный расчетный. Этот вариант позволяет уменьшить опасность перелива воды через гребень и возникновения аварийной ситуации в случае большого катастрофического расхода, то есть повышает надежность гидроузла в условиях паводка. Поскольку затраты на создание резервного водосбора значительно меньше затрат на создание любого из традиционных водосборных сооружений, повышение надежности за счет резервного водосбора не приведет к существенному удорожанию водосборного фронта. То есть повышение надежности можно достичь без существенного увеличения затрат. Но вопрос о величине расчетного расхода резервного остается открытым. Совершенно понятно, что сравнительно небольшое увеличение стоимости гидроузла за счет резервного водосбора 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 водосбора предусматривать, дол-

жен 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 расчетным такая схема позволяет избежать размыва всей вставки.

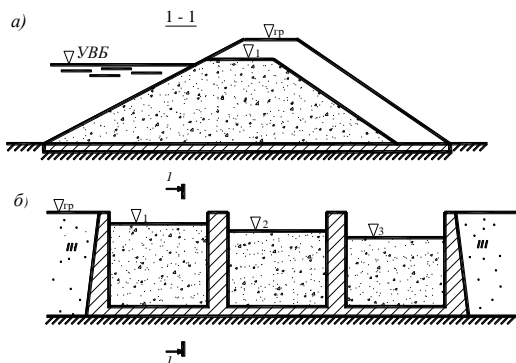


Рис. 2. Схема секционированного резервного водосброса

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.

**Перспективы применения наплавных конструкций
с использованием композитных материалов при реновации
внутренних водных путей Российской Федерации**

Ялышев А. И, Гарибин П. А.

Государственный университет морского и речного флота
им. адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Приведены примеры реализованных в РФ конструкций морских и речных гидротехнических сооружений, возведенных из наплавных блоков. Обозначена цель и сформулированы задачи планируемой работы по внедрению данной технологии для решения актуальных проблем гидротехнического строительства. Рассмотрены основные направления по широкому внедрению наплавных конструкций с использованием композитных материалов при реновации внутренних водных путей Российской Федерации.

В настоящее время в мировой и отечественной практиках строительства гидротехнических объектов существенное место занимают наплавные сооружения ввиду удобства и минимизации издержек при выполнении строительно-монтажных работ. Применение конструкций из наплавных блоков позволяет снизить объем капитальных вложений в строительство путем организации основного цикла строительно-монтажных работ в заводских (доковых) условиях и доставки к месту будущей эксплуатации изделия практически полной заводской готовности. Это в свою очередь особо актуально для слабо освоенных регионов крайнего севера, а также объектов, находящихся в условиях непрерывной эксплуатации, таких как внутренние водные пути. Применение композитных материалов позволяет повысить эксплуатационные качества, а также снизить стоимость возводимых конструкций без потери основных эксплуатационных характеристик.

На текущий момент в Российской Федерации на базе Центра строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС) ООО «НОВАТЭК-Мурманск» (г. Мурманск, Мурманский морской торговый порт) реализуется проект Федерального значения ООО «АРКТИК СПГ-2» на восточном берегу Обской губы. Составной частью проекта является строительство завода по производству сжиженного природного газа (СПГ) на основаниях гравитационного типа (ОГТ). ОГТ проекта «Арктик СПГ-2» представляют собой железобетонные блоки размером в плане 320 м (с учетом торцевых кантиливеров) на 120 м и высотой 30 м. Данные блоки являются одновре-

менно резервуаром для накопления судовой партии СПГ и стабильного газового конденсата (СГК) и причальной набережной, позволяющей ошвартовать танкер-газовоз вместимостью 170 тыс. м³ СПГ типа «ЯМАЛ-МАКС» (тип транспортных судов «Кристов Де Маржери»). Внешний вид конструкции изображен на рис. 1.

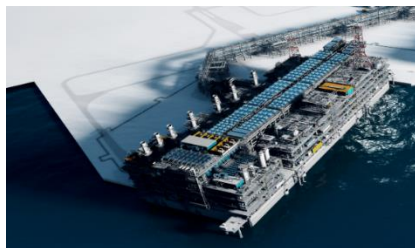


Рис. 1. Завод СПГ на ОГТ ООО «Арктик СПГ-2»

ЦСКМС позволяет производить данные сооружения полной заводской готовности с доставкой на объект эксплуатации посредством буксировщика и постановкой на подготовленное стояночное место, оборудованное береговой газотранспортной инфраструктурой и прибрежными портовыми мощностями, предназначенными для обслуживания объекта портовой инфраструктуры.

В 2022 году ПАО «Газпром» запущен в эксплуатацию объект «Морской отгрузочный терминал КС «Портовая» в бухте Дальняя Финского залива, данный объект является самым крупным терминалом по отгрузке СПГ в Балтийском регионе Российской Федерации. Основной функцией данного объекта является обеспечение энергетической безопасности г. Калининграда – анклава РФ на Западе страны. В тоже время, данный терминал позволяет осуществлять продажу СПГ иностранным контрагентам северной Европы, таким как: Германия, Польша, Нидерланды и Балтийским странам бывшего Советского Союза. Данный терминал был построен по проекту ЗАО «ГТ Морстрой» под руководством к. т. н. Л. В. Тозика. Основой концепции проекта являлось использование массивов-гигантов, которые изготавливались на стапелях и доставлялись на место постановки наплавным способом при помощи буксиров морского класса. Данный терминал способен принимать танкеры-газовозы вместимостью 140 тыс. м³ типа «Великий Новгород». Внешний вид Терминала СПГ «К/С «Портовая» изображен на рис. 2.



Рис. 2. Завод СПГ «К/С «Портовая»

Как показывает сложившаяся практика, применение наплавных конструкций по большей части апробировано в морском гидротехническом строительстве, при этом имеется положительный опыт использования данных конструкций при строительстве причалов и элементов шлюзов на внутренних водных путях.

Пионерная в России Кислогубская ПЭС (рис. 3) была введена в эксплуатацию в 1968 году. Проект станции был разработан институтом «Гидропроект». Впервые в мировой гидроэнергетической практике здание ПЭС возводилось наплавным способом (без перемычек), что позволило сэкономить при строительстве до 43 % капитальных затрат.



Рис. 3. Кислогубская приливная электростанция (ПЭС)

Железобетонное здание ПЭС было сооружено в доке вблизи Мурманска, а затем отбуксировано к месту установки по морю [4]. Наплавной блок здания Кислогубской ПЭС имеет размеры $36 \times 18,3$ м в плане и 15,35 м по высоте. Здание ПЭС представляет собой тонкостенную железобетонную коробку докового типа.

Конструкция образована днищевой плитой размером в плане $18,3 \times 36$ м и толщиной 20 см, на которой параллельно ее торцевому обрезу расположены переборки толщиной 15 см. Шаг переборок 1,5–2 м. Вдоль длинной стороны плиты на всю высоту блока идут две бортовые стены толщиной всего 15 см (рис. 3).

Нагрузки и воздействия на возведенные наплавным способом ГТС в период их эксплуатации в створе ПЭС идентичны таковым при классическом способе строительства за перемычками в створе гидроузла и определяются воздействием природных и техногенных факторов с параметрами и процентами обеспеченности для расчета нагрузок и воздействий при их основном и особом сочетаниях.

На данной стадии развития экономики РФ актуальной является проблема реновации судоходных путей РФ [2], что вызвано как изменением габаритов расчетных судов, так и истечением нормативного срока службы гидротехнических сооружений. Существует потребность изменения габаритов судоходных каналов, камер шлюзов при строгих экологических и социальных ограничениях. В отрасли внутреннего водного транспорта завершился процесс спада перевозок, обусловленный экономическим кризисом в стране [3]. В настоящее время проблемы внутреннего водного транспорта определяются комплексом взаимосвязанных факторов:

- состоянием важнейших компонентов транспортной инфраструктуры отрасли – водных путей и гидротехнических сооружений на них;
- функционально-возрастной структурой и техническим состоянием флота как основного средства производства транспортных услуг;
- финансово-экономическим положением и структурой собственности судоходных компаний и портов;
- степенью развития рынков грузовых и пассажирских перевозок;
- наличием и функционированием Единой глубоководной системы Европейской части РФ, включающей крупнейшие реки, их притоки и межбассейновые соединения.

Общая протяженность эксплуатируемых в России внутренних водных путей в течение последнего десятилетия была сохранена на уровне немного свыше 100 тыс. км, однако ввиду недостаточного бюджетного финансирования дноуглубительных работ гарантированные габариты судовых ходов уменьшились, ухудшилось навигационное обслуживание на внутренних водных путях. На некоторых реках прекращено судоходство в меженный период и в темное время суток. В результате внутренние водные пути России используются с интенсивностью, не соответствующей их потенциальным возможностям. Доля грузов, перевозимых по этим путям, составляет примерно 4 процента общего объема грузовых перевозок, осуществляемых транспортным комплексом страны, что значительно ниже, чем в ряде стран Европы (в Германии – 19 %, в Бельгии – 10 %). Характерная для России сезонность транспортного использования внутренних водных путей не в полной мере объясняет недостаточную реализацию их транспортного потенциала. Грузооборот по видам транспорта РФ за 2015–2021 гг. представлен в таб. 1.

Таблица 1

Грузооборот по видам транспорта РФ (миллиард тонно-километров)

Наименование	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Транспорт: всего	5108	5198	5488	5635	5678	5401	5701
в том числе:							
железнодорожный	2306	2344	2493	2598	2602	2545	2639
автомобильный	247	248	255	259	275	272	285
трубопроводный: всего	2444	2489	2615	2668	2686	2470	2653
в том числе:							
газопроводный	1176	1181	1300	1336	1318	1221	1371
нефтепроводный	1226	1262	1265	1276	1318	1197	1230
нефтепродуктовый	42	46	50	55	51	52	51
морской ¹	42	43	50	37	41	43	44
внутренний водный ²	64	67	67	66	66	64	71
воздушный ³	5,6	6,6	7,9	7,8	7,4	7,1	9,2

Большинство из действующих на внутренних водных путях России гидротехнических сооружений введены в эксплуатацию 50–70 и более лет назад. Ухудшение технического состояния гидротехнических сооружений, связанное с недостаточным для его поддержания объемом бюджетного финансирования и отсутствием действенных механизмов привлечения внебюджетных средств, привело в последние годы к снижению уровня безопасности при эксплуатации этих сооружений, росту риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

Водные объекты, по которым проходят внутренние водные пути с расположенными на них гидротехническими сооружениями, являются не только транспортными артериями. Они играют также важнейшую роль в решении таких хозяйственных задач, как водоснабжение, выработка электроэнергии, орошение, поддержание экологического равновесия, развитие туристического бизнеса.

Более 30 тыс. судов находится на учете в Российском Речном Регистре. Транспортный флот, являющийся главной составляющей основных фондов внутреннего водного транспорта, состоит примерно из 10 тыс. самоходных судов различного назначения (около 9 тыс. грузовых и 1 тыс. пассажирских

и грузопассажирских судов). Средний возраст транспортных судов составляет 23,5 года.

Наметившийся в отрасли рост хозяйственной деятельности в значительной мере обусловлен благоприятной конъюнктурой, но не будет продолжительным и устойчивым, если не устранить следующие проблемы:

- недостаточное финансирование внутренних водных путей и гидротехнических сооружений для улучшения условий судоходства как необходимого фактора повышения эффективности функционирования внутреннего водного транспорта;

- дефицит современных судов при избытке физически и морально устаревших судов;

- дефицит современных погрузочно-разгрузочных комплексов и портовых терминалов при избытке устаревших и малоэффективных перегрузочной техники и оборудования речных портов;

- низкая инвестиционная привлекательность предприятий отрасли и недостаточный для кардинальной модернизации их основных фондов уровень инвестиций;

- недостаточное взаимодействие с другими видами транспорта, слабая организация смешанного (интермодального) перевозочного процесса, что лишает внутренний водный транспорт существенной части грузовой базы. Задерживается создание новой логистической сети, состоящей из транспортных, перегрузочных, складских и торговых звеньев, которая должна заменить ликвидированную административно-плановую систему управления грузопотоками.

Таким образом, анализ проблем внутреннего водного транспорта свидетельствует о том, что они имеют системный характер и требуют комплексного подхода к их решению. Одним из подходов к решению сложившейся проблем является реновация внутренних водных путей.

Анализ сложившегося положения показывает, что оптимальным способом реновации внутренних водных путей является применение наплавных конструкций с использованием композитных материалов. Использование данных прогрессивных технологий позволит оптимизировать процесс реконструкции существующих и создания новых путей, а также повысить их долговечность, так как применение композитных материалов позволит увеличить полезный срок эксплуатации, ввиду того что композитные материалы (композитная арматура, композитный шпунт) имеют более высокую коррозионную устойчивость в сравнении с общепринятыми строительными материалами [5–7].

Основной целью технического замысла, предполагающего оптимизацию способов реновации внутренних водных путей, является необходимость реализовать следующие аспекты:

– строительство элементов судопропускных сооружений в заводских условиях по типу наплавных сооружений (камера шлюза, головы);

– использование композитных материалов (композитная арматура, композитный шпунт) при возведении отдельных элементов конструкции и объектов сопутствующей инфраструктуры гидроузлов.

Для подтверждения гипотезы необходимо проведение серии лабораторных исследований и проведения компьютерного моделирования.

Литература

1. Приливные электростанции / Л. Б. Берштейн, В. Н. Силаков, С. Л. Гельфер и др.; Под ред. д-ра техн. наук Л. Б. Берштейна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 296 с.

2. Распоряжение Правительства РФ от 03.07.2003 N 909-р «О Концепции развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации».

3. Проблемы и перспективы развития внутренних водных путей РФ / Е. И. Сорокалетова: Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Северо-Западный институт, 2023. – 83 с.

4. Перспективы применения наплавных конструкций при реновации судоходных шлюзов ЕГС Европейской части РФ / Гарибин П. А., Моргунов К. П.; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

5. Анализ возможности применения шпунта из ультракомпозитных материалов в гидротехническом строительстве / К. А. Кокорева, А. В. Колгушкин, А. И. Ялышев. – СПб ГПУ, 2014. – С. 109.

6. Расчетное обоснование применения шпунта из ультракомпозитных материалов в гидротехническом строительстве / К. А. Кокорева, А. И. Ялышев. – СПб ГПУ, 2014. – С. 112.

7. Илюхин, Д. А. Сваи из ультракомпозитного материала – новая эра в строительстве / Д. А. Илюхин // Гидротехника. – 2012. – Т. 27, № 2. – С. 66–67.

Оценка методов расчета устойчивости откосов грунтовых плотин

Богославчик П. М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Дана оценка существующих методов расчета устойчивости откосов грунтовых плотин. Выполнены расчеты с помощью Delfi-программы, результаты которых наглядно демонстрируют особенности рассмотренных методов с целью выбора метода для практических расчетов.

В настоящее время расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин всех классов в соответствии с действующими нормативными документами [1, п. 6.5.8] следует выполнять по методу круглоцилиндрических поверхностей сдвига. Существует ряд методов с таким названием. Выбор метода задача непростая. Экспериментальная проверка практически невозможна. Единственный путь – более глубокий анализ с учетом результатов многочисленных расчетов, которые стали возможны после разработки соответствующих компьютерных программ.

Суть методов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения представлена на рис. 1. Задача расчета – определить коэффициент запаса устойчивости k_y массива 1 на кривой скольжения 2, который равен отношению действующих по кривой скольжения моментов сил удерживающих или реактивных к моментам сил сдвигающих или активных, то есть

$$k_y = \frac{M_p}{M_a} = \frac{R \sum \tau_p \Delta l}{R \sum \tau_a \Delta l} = \frac{\sum \tau_p \Delta l}{\sum \tau_a \Delta l},$$

где τ_a – активное касательное напряжение в плоскости кривой скольжения на участке длиной Δl ; τ_p – реактивное касательное напряжение на том же участке; l – длина кривой скольжения в пределах рассматриваемого участка.

Для удобства определения сил, действующих на призму обрушения, она делится на отдельные отсеки (рис. 1). Определяются силы, действующие на каждый отсек, которые затем суммируются. Такая разбивка дает возможность учитывать многослойность грунтов в теле плотины и в ее основании. На рис. 2 представлена схема произвольно взятого i -го отсека со всеми действующими силами. В условиях предельного равновесия реактивное касательное напряжение определяется по формуле Кулона, которая для i -го отсека

$$\tau_{pi} = \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i.$$

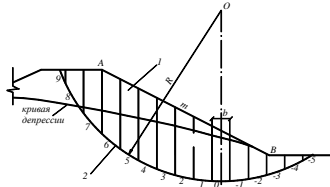


Рис. 1. К расчету устойчивости откоса:
1 – призма обрушения; 2 – кривая скольжения

Очевидно, что активное касательное напряжение в пределах i -го отсека

$$\tau_{ai} = \frac{G_i \sin \alpha_i}{l_i}.$$

Таким образом основное выражение для расчета устойчивости откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения при отсутствии дополнительных внешних сил запишется следующим образом

$$k_y = \frac{\sum \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i l_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}, \quad (1)$$

где σ_i – нормальные напряжения на поверхности скольжения в пределах i -го отсека; l_i – длина кривой скольжения в пределах отсека « n »; G_i – вес i -го отсека; φ_i и c_i – соответственно угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта, в котором проходит кривая скольжения в пределах i -го отсека.

Существующие методы расчета отличаются друг от друга способом определения нормальных напряжений, действующих на поверхности оползания. Рассмотрим следующие наиболее известные методы.

Метод Крея. Согласно этому методу силы бокового давления грунта E_{i-1} и E_{i+1} принимаются горизонтальными, точки их приложения заглублены на величину $2/3h$. В результате получена следующая формула

$$k_y = \frac{1}{\sum G_i \sin \alpha_i} \sum \frac{G_i - P_{Bi} + c_i b_i \operatorname{ctg} \varphi_i}{\cos \alpha_i \operatorname{ctg} \varphi_i + \sin \alpha_i}.$$

Метод Терцаги-Флорина. Терцаги силы E_{i-1} и E_{i+1} при построении многоугольника сил рассматривал параллельными плоскости скольжения. При этом у него силы взвешивающего и фильтрационного давления отсутствуют. У Флорина аналогично, но при наличии этих сил. В результате обобщенная формула имеет вид

$$k_y = \frac{\sum(G_i - P_{Bi}) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}.$$

Метод Мейера-Бишона-Ничипоровича. Мейер и Ничипорович при тех же допущениях, что и в предыдущем случае, но считая силу P_B направленной вертикально вверх, получили следующую формулу

$$k_y = \sum \frac{(G_i \cos \alpha_i - P_{Bi}) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (2)$$

Бишон получил аналогичную формулу, но с учетом всех сил, действующих на отсек (рис. 2).

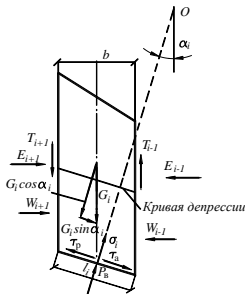


Рис. 2. Схема сил, действующих на отсек

Метод Чугаева, получивший название «метод весового давления», заключается в том, что при откосах с заложением $m = 2-2,5$ сумма нормальных сил на поверхности скольжения принимается равной весу грунта оползающего массива, а при более крутых откосах – его проекции на нормаль к поверхности сдвига с поправочным коэффициентом 1,05. Расчетная зависимость при этом имеет вид

$$k_y = \frac{\sum(G_i - P_{Bi}) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}.$$

где G_i – вес i -го отсека; P_{Bi} – сумма взвешивающих и фильтрационных сил, действующих на i -тый отсек; α_i – угол наклона подошвы отсека к горизонту; φ_i – угол внутреннего трения грунта в подошве отсека; c_i – удельное сцепление грунта в подошве отсека; l_i – длина подошвы отсека.

Величина P_{Bi} в данной работе по предложению А. А. Ничипоровича при отсутствии порового давления определяется как сумма давления взвешивающего $P_{вз}$ и фильтрационного P_{ϕ} .

В литературных источниках [2–4] приводится следующий анализ выше перечисленных методов.

Метод Крея достаточно точен, был в свое время рекомендован межведомственной комиссией Госстроя СССР для расчетов устойчивости откосов из неоднородных грунтов.

Метод Терцаги-Флорина нашел широкое применение благодаря своей простоте, однако при расчетах пологих откосов (с заложением $m > 2,5$) может давать ошибку в сторону преуменьшения величины коэффициента запаса устойчивости.

Метод Мейера-Ничипоровича, который является частным случаем метода Бишопа, по оценке автора дает резко заниженные значения коэффициента запаса устойчивости.

Метод «весового давления» Р. Р. Чугаева, в связи с принятым способом его обоснования, не позволяет оценить его достоверность при различных сочетаниях нагрузок, а также при неоднородном сложении откоса и его основания.

Для сравнительного анализа указанных методов были выполнены расчеты с помощью Delfi-программы. В качестве примера для расчетов была взята грунтовая плотина с экраном высотой 20 м, выполненная из мелкозернистого песка со следующими физико-механическими характеристиками: пористость $n = 0,39$; удельное сцепление сухого грунта $c = 3,0$ кПа, водонасыщенного $c_m = 3,0$ кПа; угол внутреннего трения сухого грунта $\varphi = 32$ град., водонасыщенного $\varphi_m = 27$ град. Основание сложено супесью со следующими физико-механическими характеристиками: пористость $n = 0,35$; удельное сцепление сухого грунта $c = 15,0$ кПа, водонасыщенного $c_m = 5,0$ кПа; угол внутреннего трения сухого грунта $\varphi = 27$ град, водонасыщенного $\varphi_m = 20$ град. В табл. представлены результаты расчетов устойчивости низового откоса для различных коэффициентов его заложения.

Таблица

Результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости
разными методами

Коэффициент заложения откоса	Коэффициент запаса устойчивости откоса			
	По методу Крея	По методу Терцаги-Флорина	По методу Мейера-Ничипоровича	По методу Чугаева
2,0	1,14	0,99	0,93	1,18
2,5	1,23	1,09	1,03	1,28
3,0	1,34	1,22	1,11	1,39
3,5	1,45	1,31	1,21	1,50
4,0	1,53	1,43	1,30	1,58

Анализ выполненных сравнительных расчетов устойчивости откосов плотин по вышеприведенным методам показал, что метод Мейера-Ничипоровича дает заниженные на 20–30 % результаты, а методы Р. Р. Чугаева, Терцаги–Флорина и Крея дают результаты отличающиеся друг от друга на 2–5 %. Метод Р. Р. Чугаева, как было указано выше, не рекомендуется при неоднородном сложении откоса и его основания. Метод Крея согласно литературному анализу достаточно точен, однако, как указывал Р. Р. Чугаев, автор «изложил свой способ в крайне неясной и даже ошибочной форме» [5]. Метод Терцаги–Флорина дает нормальные результаты, очень понятный и наглядный.

Рассмотрим несколько иной подход. Действующие на отсек силы можно разделить на две группы – внешние и внутренние. К внешним относятся собственный вес отсека G_i , сила фильтрационного давления $P_{\phi i}$, сила взвешивающего давления $P_{взi}$. Внутренние силы – это давление грунта на границах отсека E_i и E_{i+1} , сила трения по граням отсека T_i и T_{i+1} , давление воды на границах отсека W_i и W_{i+1} . Предлагается обратить внимание на следующее. Во-первых, в окончательных формулах всех рассматриваемых методов внутренних сил нет. Они исчезают в процессе сложения действующих сил. Во-вторых, внутренние силы действуют на плоскости, ограничивающие отсеки с двух сторон. Но эти плоскости виртуальные. На самом деле их нет. Они присутствуют только для удобства расчетов. Поэтому непонятно, как могут действовать силы на несуществующие поверхности. Если учитывать только внешние силы, то получим следующее. Нормальные напряжения на поверхности скольжения в пределах i -го отсека

$$\sigma_i = \frac{(G_i - P_{вz i}) \cos \alpha_i}{l_i}.$$

Тогда формула (1) примет следующий вид

$$k_y = \frac{\sum (G_i - P_{вz i}) \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum G_i \sin \alpha_i}. \quad (3)$$

Эта формула совпадает с формулой Терцаги–Флорина (2).

На основании изложенного материала к практическому применению рекомендуется метод Терцаги–Флорина, формула которого совпадает с полученной нами формулой (3).

Литература

1. СН 3.04.01-2020 Строительные нормы. Гидротехнические сооружения общего назначения. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск, 2021. – 133 с.
2. Розанов, Н. Н. Плотины из грунтовых материалов / Н. Н. Розанов. – М: Стройиздат, 1983. – 296 с.
3. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика // Под редакцией В. П. Недрига. – М: Стройиздат, 1983. – 543 с.
4. Ничипорович, А. А. Плотины из местных материалов / А. А. Ничипорович. – М: Стройиздат, 1973. – 320 с.
5. Чугаев, Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения / Р. Р. Чугаев. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 141 с.

УДК 628.32

Туркменское озеро – грандиозный гидротехнический проект

Келова М. Г.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

Рассматривается значение Туркменского озера «Алтын Асыр» и его роль в экологическом оздоровлении окружающей среды.

В Туркменистане ведется грандиозная работа по рациональному использованию водных ресурсов, улучшению водоснабжения орошаемых земель, освоению новых посевных площадей [1].

В стране, где более 80 % территории занимает пустыня Каракумы, осуществляется грандиозный гидротехнический проект по созданию Туркменского озера за счет организованного отвода дренажных вод, образующихся в результате ведения орошаемого земледелия, в естественную впадину Карашор. Для этого ведется строительство коллекторно-дренажной сети на территории одной из крупнейших пустынь мира – Каракумы. Этот проект, стоимостью 6 млрд. долл. является одним из крупнейших в мире в области мелиоративного освоения земель [2].

Строительство озера «Алтын Асыр» началось в 2000 году. Цель проекта состояла в том, чтобы собрать подобные минерализованные коллекторно-дренажные воды с орошаемых территорий, что позволило бы улучшить структуру почвы, предотвращая загрязнение водных ресурсов и подъем грунтовых вод. Это открывало и возможность избавления от подтопления

орошаемых земель и пустынных пастбищ. Сооружаемое озеро имеет большие перспективы для сельскохозяйственного сектора. Цель этого реализуемого нашей страной масштабного проекта – оздоровление окружающей среды и рациональное использование водных ресурсов.

Согласно проекта строительство русел Туркменского озера планируется провести в три этапа. После завершения строительства второй и третьей очередей проекта образуется единая дренажная система, которая охватит все поля страны [1].

Туркменское озеро – инновационный проект, доказывающий, что Туркменистан вносит весомый вклад в решение глобальных проблем, связанных с сохранением водных ресурсов планеты. Общеизвестно, что с засолением орошаемых почв и вопросом отвода грунтовых вод сталкиваются все страны, расположенные в аридной зоне. В каждой стране этот вопрос решается различными методами. В некоторых странах дренажные воды отводятся в естественные природные впадины, в других – в реки и моря. Этот вопрос также очень остро стоит и для государств Средней Азии.

Ежегодно в Туркменское озеро, чашей которого служит природная впадина Карашор, расположенная почти на стыке трех велаятов (областей) Балканского, Дашогузского и Ахалского, будет отводиться до 10 млрд куб. м коллекторно-дренажных минерализованных вод. Это позволит коренным образом улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель во всех регионах, решить многие проблемы, связанные с засолением почв, заболачиванием и засухой. Емкость крупнейшего искусственного водоема, длина которого – 103 км, ширина – 18,6 км, средняя глубина – 69 м, составит 132 млрд. куб. м, а площадь водного зеркала – около 2000 квадратных километров. Общая протяженность коллекторов, по которым будут собираться дренажные воды – 2654 км.

Беспрецедентный по своим масштабам проект, реализация которого находится под пристальным вниманием лидера нации, имеет огромное значение не только для Туркменистана, но и для всей Средней Азии.

Решением правительства Туркменистана на обширной территории центральных Каракумов, в регионе озера «Алтын Асыр» теперь создана заповедная зона, «Берекетгли Гарагум». Общая площадь заповедника составляет более 60 тысяч гектаров. Сохранение флоры и фауны, природных ландшафтов, одно из главных направлений улучшения ситуации в регионе. Создание инфраструктуры в зоне заповедника, строительство дорог, населенных пунктов, социальных объектов позволит оживить некогда безмолвные пустынные территории.

Трассы коллекторов пролегли по самым отдаленным и безводным участкам Каракумов, где появилась возможность повторного использования дренажных вод. Уже в скором будущем с освоением этих земель появятся новые населенные пункты, предприятия, а, значит и рабочие места.

Благодаря Туркменскому озеру утилизируются те дренажные воды, что прежде сбрасывались как в понижения пустыни, так и в Амударью. Туркменистан первым из стран региона решил столь значимую проблему, как сохранение качества воды этого одного из важнейших водоисточников Центральной Азии. Это, прежде всего, забота о здоровье людей, благоприятной для жизни экологической обстановке.

В стране создается страховой запас воды, которую в перспективе благодаря естественной природной фильтрации и применению современных технологий можно будет использовать для потребностей сельскохозяйственного комплекса – рационального использования водных ресурсов, решения проблем отвода дренажных вод и засаливания почв, освоения новых земель, расширения пастбищных площадей, а также для полива зеленых насаждений, технических нужд. В дальнейшем создание озера «Алтын асыр» позволит использовать образовавшиеся водоемы и трассы отводящих коллекторов для развития рыбного промысла, будет во многом способствовать улучшению деятельности промышленного рыбоводства в прудовых хозяйствах страны.

Туркменское озеро – грандиозный проект XXI века. Этот гидротехнический проект зарубежные ученые назвали образцом государственной заботы о здоровье населения, об окружающей среде и замечательным примером рационального использования водных ресурсов.

Нами проводятся научные исследования по очистке и обессоливанию коллекторно-дренажных вод Туркменского озера «Алтын асыр». Изучен химический состав коллекторно-дренажных вод водохранилища «Акяйла» Туркменского озера «Алтын асыр» с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по вовлечению коллекторно-дренажных вод в водохозяйственный оборот народного хозяйства, а также повторного их использования.

Согласно полученным результатам под влиянием сезонного фактора и режима течения меняется состав коллекторно-дренажных вод. Общая минерализация воды меняется с 5920 мг/дм³ до 7319 мг/дм³, жесткость воды повышается с 38,50 мол/м³ до 49,00 мол/м³. Основными загрязняющими компонентами коллекторно-дренажных вод являются взвешенные вещества, органические примеси [3].

Для обессоливания коллекторно-дренажных вод, рекомендуется использовать мембранный способ обратного осмоса и для очистки от

коллоидных частиц, микроорганизмов и органических примесей, рекомендуется использовать способ ультрафильтрации.

Таким образом, в нашей стране проводится широкомасштабная работа в целях дальнейшего повышения социально-бытового уровня туркменского народа, совершенствования деятельности отечественной водохозяйственной сферы.

Литература

1. Туркменское озеро «Алтын Асыр». – Ашгабат, 2010. – 104 с.
2. Костяной, А. Г. Туркменское озеро «Алтын Асыр»: спутниковый мониторинг его создания / А. Г. Костяной, И. С. Зонн, Д. М. Соловьев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 1. – С. 219–227.
3. Келова, М. G. Altyn asyr Türkmen kölüniň Akýaýla suw howdanynyň zeyakaba şor suwlarynyň himiki düzümi / М. G. Келова, А. А. Işangulyýew, В. Ý. Atamanow // Türkmenistanda ylym we tehnika. – 2018. – № 1. – P. 85–89.

УДК 624.132

Проведение эксперимента и анализ разлета осколков горной массы при проведении подледных буровзрывных работ

Григорьев Д. В.¹, Гарибин П. А.²

¹Филиала АО «ОЭК»

Красноярск, Российская Федерация,

²Государственный университет морского и речного флота

им. адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье приведено описание уникальных подледных буровзрывных работ, проводимых при дноуглублении акватории строящегося арктического нефтеналивного терминала. Детально рассмотрена технология производства работ, применяемые материалы и механизмы.

Буровзрывные работы под водой – совокупность работ по детонации установленных зарядов взрывчатых веществ, размещенных под водой.

Впервые буровзрывные работы под водой были проведены польским государственным деятелем, дворянином Н. Тарло в 1548–1572 гг. для повышения навигационных условий р. Неман.

Основные же научные теории и практики проведения подводных буровзрывных работ были сформированы русским военным инженером в области минного дела, инженер-генерал-лейтенантом М. М. Боресковым, под

руководством которого в 1858 были выполнены работы по углублению подводными взрывными работами судового канала Днепровского лимана.

В современной строительной индустрии подводные взрывы широко используются при:

- производстве дноуглубительных и ремонтных работ на акватории рек, каналов и морских портов;
- строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений (причалов, набережных, берегоукреплений, дамб и т. п.);
- устройстве траншей и каналов под линейными инженерными коммуникациями (газо- и нефтепроводы и т. д.);
- уплотнении несвязных грунтов;
- разрушения и последующего извлечения из-под воды затонувших судов, предметов и конструкций, и т. д.;
- подрыве ледяных заторов в рамках противопоаводковых мероприятий).

Согласно общепринятым технологиям буровзрывные работы под водой выполняются с помощью скважинных, шпуровых и наружных (накладных) зарядов взрывчатых веществ, в некоторых случаях (при сейсморазведке, уплотнении грунтов, штамповке металлов) используются открытые или подвесные заряды взрывчатых веществ.

Метод накладных зарядов применяют при мощности снимаемого грунта (съема) до 0,4–0,5 м и крепости взрываемых пород до VIII группы по СП [1], а также при взрывании песчаных перекаатов, отдельных камней и элементов конструкций. Шпуровые заряды используются при мощности съема до 1–2 м, крепости пород выше VIII группы, скважинные заряды – при съеме более 2,0 м пород любой крепости. Качество дробления пород определяется способом ее уборки и типом используемых землеуборочных механизмов. Как правило, глубина взрывного рыхления превышает мощность проектного съема пород на 0,3–0,5 м (багермейстерский запас). Расчетная линия наименьшего сопротивления принимается больше глубины рыхления на 0,2–0,4 м.

Для производства работ по подводному буровзрыву используются преимущественно водостойкие виды взрывчатых веществ (тротил, алюмотол и гранулотол), кинетические характеристики которых в водона-полненном состоянии в 1,2–1,3 раза выше, чем в сухом виде, либо неводоустойчивые взрывчатые вещества в гидроизоляционных оболочках (аммонит, гранулиты и др.).

Характеризуется слабым затуханием ударных волн вследствие малой сжимаемости водной среды. В результате подводного взрыва заряда взрывчатых веществ возникает газовый пузырь, давление внутри которого значительно выше, чем в окружающей среде. Расширяясь, газы образуют в воде

ударную волну. Когда фронт ударной волны достигает свободной поверхности, вода, находящаяся под действием огромного давления за фронтом ударной волны, движется в сторону слабосопротивляющегося воздуха. При этом сначала наблюдается небольшой всплеск за счет быстрого расширения сжатого поверхностного слоя воды, а затем начинается общий подъем всей массы воды, находящейся между ее поверхностью и газовым пузырем. В результате этого возникает столб воды («султан»), поднимающийся на значительную высоту над местом взрыва заряда.

В случае, если над толщей воды располагается слой ледового покрова, то он служит естественным укрытием, препятствующим распространению взрывной волны. В рассматриваемой статье рассмотрен как раз пример распространения взрывной волны под водой с наличием ледяного покрова толщиной более 1,5 метров [2–4].

Основной задачей сопровождения при проведении буровзрывных работ, описываемого в настоящей статье, является определение естественных условий, влияющих на величину разлета осколков горной массы, определение фактической зоны поражения при подледных буровзрывных работах на акватории, а также анализ характера разлета осколков горной массы.

Производство взрывных работ на рассматриваемом участке велось с применением материалов и механизмов, перечисленных в табл.

Таблица

Применяемые техника, оборудование и взрывматериалы

Наименование (оборудование, параметр БВР)	Тип, наименование, значение
Буровая установка	УРБ-2А2, УРБ-2Д3, Sandvik Leopard Di-550
Диаметр скважин, мм	165 мм
Взрывчатое вещество	Гранулотол
Средства инициирования	НСИ Коршун-М, Искра, Rionel
Взрывной прибор	УПЭ-1,5/Х
Заложение скважин	Вертикальное
Конструкция заряда:	Сплошной
Буровые материалы	Коронки буровые диаметром 165 мм; Буровые штанги 102 мм

До начала производства работ на льду, на рассматриваемом участке акватории, посредством бурения контрольных лунок велся мониторинг толщины ледового поля. На момент проведения буровзрывных работ толщина ровного льда составляла 1,65 м.

Среднее значение толщи воды от низа льда до морского дна, в соответствии с промерами ручным лотом, составляет 8,7 м.

Также, для последующей оценки влияния сопротивления ледового поля на величину разлета осколков горной массы, образуемой в результате подрыва взрывчатого вещества, непосредственно перед взрывом были взяты образцы (кубики) льда размерами 100×100×100 мм.

В строительной лаборатории на площадке строительства были проведены испытания по определению прочности образцов на сжатие. В лабораторных условиях установлено, что среднее значение прочности льда составляет 0,26 мПа.

Закладка взрывчатого вещества велась со льда, с применением обсадных труб, по аналогии с буровыми работами, проводимыми на земной поверхности (карьеры, профильные выемки и т. п.) в следующей последовательности [5]:

- перед началом бурения маркшейдер, при помощи электронного тахеометра, замеряет в течение 4 суток каждые три часа абсолютные отметки ледового поля (32 замера). Определяется максимальная, минимальная и средняя абсолютная отметка ледового поля. Исходя из этого определяется общая длина обсадной трубы для каждой скважины, (с учетом 300 мм превышения устья трубы над льдом), исходя из средней абсолютной отметки ледового поля;

- выполнена очистка поверхности льда от снега в местах расположения скважин;

- при помощи тахеометра была выполнена разметка скважин. Каждая скважина отмечалась вешкой;

- выполнить установку наблюдательных маячков за ледовым полем (для мониторинга пространственного положения и смещений);

- при помощи мотобура в месте скважины бурилась лунка диаметром 200 мм;

- при помощи ручного лота выполнялся замер глубины в месте бурения каждой скважины;

- выполнялась подготовка обсадной трубы необходимой длины;

- велся спуск обсадной трубы диаметром 180 мм до упирания конца обсадной трубы в дно, при этом второй конец установленной обсадной трубы должен находиться выше поверхности воды (льда). Спуск трубы велся при помощи автомобильного крана с поверхности льда, с контролем вертикальности монтажа при помощи строительного лазерного уровня;

- после погружения выполнялась обрезка конца обсадной трубы, до размера 300 мм над поверхностью льда. Обрезка производилась при помощи углошлифовальной машины (УШМ);

- бурение скважин в скальном грунте (рис. 1).



Рис. 1. Производство буровых работ на льду

Во время проведения буровых работ на ряде участков не было обнаружено скального грунта. Мягкие грунты были пробурены до проектной отметки низа скважины. В таких местах обсадные трубы не устанавливаются и буровзрывные работы не ведутся. При помощи рулетки Р20Н2Г с грузом проводится замер глубины каждой скважины, параметры сетки скважин и составляется акт приема-сдачи обуренного блока.

После завершения устройства скважин были произведены работы по закладке взрывчатого вещества и организации взрыва:

- организована запретная зона, на которой ведется производство работ и ее ограждение (конусами, сигнальными лентами) с установкой информационных стендов: «Осторожно! Ведутся взрывные работы»;
- осуществлен вывод людей, не связанных с заряданием, за пределы запретной зоны;
- произведено распределение взрывчатого вещества по скважинам взрываемого блока;
- зарядание скважин;
- осуществлен вывод людей, не связанных с монтажом взрывной сети, за пределы опасной зоны;
- осуществлен вывод технологического оборудования за пределы опасной зоны;
- выполнен спуск боевиков в скважину, надежно зафиксирован на поверхности льда волновод. Инициирование скважинного заряда осуществляется дублированием, с применением двух боевиков: первый – в донной части заряда; второй – в верхней части заряда, на глубине 1/3 от длины заряда;
- зарядание скважины выполнялось гранулотолом, с контролем уровня заряда поверенной рулеткой Р20Н2Г с грузом;
- выполнено извлечение обсадной трубы, при помощи автомобильного крана;

– закреплен волновод на поверхности льда, для дальнейшего монтажа взрывной сети.

После завершения всех подготовительных работ начались работы по непосредственному взрыванию заряженного блока:

- подача предупредительного сигнала;
- введение опасной зоны, организация ее охраны;
- монтаж взрывной сети;
- проверка качества монтажа взрывной сети;
- отход взрывперсонала в безопасное место;
- подача боевого сигнала;
- перед проведением взрывных работ по основному взрыванию выполнен подрыв в воде шашки массой 200 грамм, для отпугивания представителей морской фауны;
- основное взрывание (рис. 2).



Рис. 2. Момент подледного взрыва

В результате органолептического, а впоследствии и геодезического контроля разлета осколков горной массы возник вопрос о целесообразности эвакуации техники и персонала, поскольку радиус разлета осколков составил не более 42 метров.

Визуальное наблюдение в момент взрыва выявило, что:

- подавляющий объем горной массы, движущейся в результате детонации взрывчатого вещества направлен в строго вертикальном направлении над взрываемым блоком;
- толщина воды и ледового покрова значительно снизили радиус бокового разлета осколков. По данным геодезических замеров максимальное значение бокового разлета составило ~ 42 м.

При этом, согласно действующим нормативным документам [5], расчетная зона поражения осколков составляет – 500 м.

В результате проведенного эксперимента, для дальнейшего анализа и расчета фактической зоны разлета осколков горной массы получены следующие параметры:

- толщина ровного льда составляла – 1,65 м;
- среднее значение прочности льда на сжатие составляет – 0,26 МПа;
- среднее значение толщи воды – 8,7 м;
- фактический разлет осколков – 42 м.

Определено, что наличие ледового укрытия, а также толщина воды оказывают значительный положительный эффект на характер и величину разлета осколков.

Литература

1. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
2. Белов, М. И. Северный морской путь / М. И. Белов // Большая Советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – М., 1976.
3. Северный морской путь (СМП) // Большая энциклопедия: в 62 т. / гл. ред. С. А. Кондратов. – М., 2006. – Т. 44.
4. Северный морской путь (СМП) // Морской энциклопедический справочник: в 2 т. / под ред. Н. Н. Исанина. – Л., 1986. – Т. 2.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». Приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 года № 494.

УДК: 631.4

Мониторинг эколого-мелиоративного состояния длительно используемых мелиорированных земель

Курчевский С. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Возросшее антропогенное влияние на природные экосистемы, требует проведения мониторинга их эколого-мелиоративного состояния. Разработка количественных критериев оценки и прогноза загрязнения мелиорируемых земель, поможет в принятии оперативных решений проблемы.

Оценка состояния природных систем осуществляется с помощью большого числа параметров, которые непросто превратить в объективную характеристику состояния агроландшафта конкретной территории. Эти сложности усугубляются слабой разработанностью экологического нормирования,

отсутствием общепринятых количественных критериев оценки степени загрязненности природных экосистем различными веществами [2].

Мониторинг эколого-мелиоративного состояния орошаемых и осушенных земель представляет собой систему непрерывного слежения за состоянием экологических параметров агроландшафтов с целью создания основы для системного анализа, оценок и прогноза состояния мелиорированных земель, принятия оперативных решений [4].

Основные задачи, стоящие перед мониторингом мелиорируемых земель, как одного из приоритетов экосистемного водопользования в мелиорации, следующие:

- диагностирование ранних этапов повреждения мелиорируемых агроландшафтов;
- оценка и регламентирование антропогенной нагрузки на мелиорируемый агроландшафт;
- оценка и регламентирование воздействия мелиорируемого агроландшафта на водную экосистему и сопредельные территории;
- оценка экологической устойчивости мелиорируемого агроландшафта и регулирование агротехнических, гидромелиоративных и водохозяйственных воздействий [4].

Приоритетность загрязняющих веществ устанавливается по их количеству, поступающему в окружающую среду в результате антропогенной деятельности, подвижности, токсичности, способности накапливаться в природных объектах, трансформироваться в более опасные соединения.

По технологическим, организационным и экономическим соображениям выделяют следующие приоритетные индикаторы мониторинга, в том числе: уровень плодородия почвы, культуртехническое состояние, эффективность действия и техническое состояние элементов осушительных систем, засоленность, солонцеватость, кислотность почв в слое 0–100 см, глубина залегания уровня грунтовых вод, минерализация и химический состав солей в водах, сроки отвода избыточной влаги из пахотного слоя, водопотребление на орошение и т. д.

Динамичными ингредиентами, за которыми должны вестись систематические наблюдения по сезонам года, являются: фосфор, калий, кальций, магний, натрий, марганец, а также ионы аммония, нитратов, нитритов, сульфатов, гидрокарбонатов и хлора. Содержание биогенных элементов – фосфора, калия, а также аммонийного и нитратного азота по сезонам года определяется в пахотном и подпахотном слоях до глубины 40 см, остальные ингредиенты – только в пахотном слое [2].

Критериями уровня плодородия почв являются мощность гумусового слоя почвы, рН солевой вытяжки, содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия в почве. К критериям культуртехнического состояния

относятся закаменелость, засоренность почвы погребенной древесиной, неровности рельефа [5].

В зоне влияния осушительных систем изменяются уровенные режимы грунтовых вод и водоёмов, параметры суммарного испарения, показатели микроклимата в фитоценозах. Все эти изменения, в конечном счете, нарушают природные процессы формирования флоры прилегающих к осушительным системам территорий [5].

Влияние осушительных мелиораций на режим грунтовых вод относительно слабое при достаточно изолированном состоянии и сильно изменяет их режим и баланс, когда грунтовые и глубинные воды образуют единый водоносный горизонт, ширина зоны влияния составляет 1–2 км, реже до 3 км. Процесс стабилизации происходит в течение 1–3 лет, на суходолах до 10 лет, время стабилизации возмущений – 20 лет [6].

В случае глубокого осушения торфяных болотных почв наблюдается интенсификация биохимических процессов разложения торфа, что приводит к увеличению количества нитратов, не используемых растениями [3].

В почвенном воздухе нижних горизонтов накапливается углекислота, что обуславливает повышение ее концентрации в поровом растворе. При этом происходит растворение карбонатов в карбонатных торфах и вытеснение ионов кальция, магния и калия из почвенного поглощающего комплекса некарбонатных почв [1].

При осушении земель усиливается окислительный режим, приводящий к минерализации органических веществ. Дренажные воды выносят растворимые соли (сульфаты и бикарбонаты марганца, а также соединения железа, алюминия и др.) которые совместно с растворами коллоидного гумуса вымываются и осаждаются водоприемниках [3].

Мелиоративное состояние осушенных земель определяется дифференцированно по комплексным показателям: уровень плодородия почвы, культуртехническое состояние, водный режим, эффективность действия и техническое состояние элементов осушительных систем [2].

Для выработки научных основ системы показателей мониторинга эколого-мелиоративного состояния осушенных земель были проведены следующие экспериментальные наблюдения и измерения:

1.1. Подготовительные работы:

- расчистка и оборудование наблюдательных створов на малой реке (магистральном канале);
- анализ состояния наблюдательной сети и выбор скважин для мониторинга осушенных земель;
- выбор тестовых участков для проведения мониторинга осушенных почв земель сельскохозяйственного назначения;

– выбор наблюдаемых показателей мониторинга эколого-мелиоративного состояния осушенных земель;

– организация натуральных наблюдений и работ по опробованию компонентов окружающей среды на мелиорируемых землях.

1.2. Натурные наблюдения и измерения:

1.2.1. Измерения на водомерных постах:

– отбор проб воды из малой реки для химического анализа на водомерных постах наблюдений (3 поста: вход и выход магистрального канала, шлюз-регулятор);

– отбор проб воды из работающей дрены на поле 22/5,5 (1 дрена);

– ориентировочный перечень показателей для проведения анализа химического состава воды в створах малой реки на водомерных постах наблюдений: общее количество солей (минерализация), тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий), биогенные элементы (азот, фосфор, калий), pH.

1.2.2. Измерения по наблюдательным скважинам:

– наблюдение за УГВ в сети наблюдательных скважин мелиорированных земель;

– отбор проб воды из сети наблюдательных скважин мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения (4 наблюдательные скважины);

– ориентировочный перечень показателей для проведения анализа химического состава воды в сети наблюдательных скважин мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения: общее количество солей (минерализация), тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий), биогенные элементы (азот, фосфор, калий), pH.

1.2.3. Измерения на землях мелиоративной системы:

– отбор проб почвы на землях мелиоративной системы (9 смешанных образцов);

– оценка биологической активности почвы по ее целлюлозоразрушающей способности (стекла с льняной тканью, период экспозиции 3 месяца);

– ориентировочный перечень показателей для проведения анализа химического состава почвенных образцов, отобранных на землях мелиоративной системы: органическое вещество (%), pH_{KCl} , Hg (гидролитическая кислотность); K_2O ; P_2O_5 ; S (сумма обменных оснований); подвижные формы меди, цинка, свинца и кадмия.

Осушается мелиоративная система с закрытым дренажем в сочетании с открытым магистральным каналом и открытыми нагорно-ловчими каналами. Имеются пять шлюзов-регуляторов на магистральном канале для двойного регулирования водного режима.

Почвы мелиоративной системы – подзолистые, по механическому составу – супесчаные, отдельные карты торфяные, встречаются выработанные

торфяники. Мощность торфяного слоя достигает 0,2–0,4 м глубины, степень разложения 40–45 %.

Наблюдение за уровнем грунтовых вод (УГВ) проводилось в составе экологических мониторинговых исследований в сети наблюдательных скважин (скважины № 8, 14, 15, 17), расположенных на мелиоративной системе. Данные наблюдательные скважины расположены на землях мелиоративной системы вдоль магистрального канала на сельскохозяйственных угодьях, занятых пашней, сенокосом и лесным массивом, что позволяет проводить комплексные исследования по оценке состояния грунтовых вод.

Наблюдения за уровнем грунтовых вод в сети наблюдательных скважин выполнялись ежемесячно.

Результаты исследования динамики глубины грунтовых вод в сети наблюдательных скважин мелиоративной системы «Тинки-2» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения уровня грунтовых вод по наблюдательным скважинам мелиоративной системы «Тинки-2» за 2013 год, м

№ Скважины	май	июнь	июль	август	сентябрь
8	0,72	0,69	0,82	0,82	0,77
14	1,87	1,93	2,25	2,32	2,27
15	2,12	2,17	2,37	2,55	–
17	1,96	2,03	2,36	2,45	2,25
Среднее	1,67	1,71	1,95	2,04	1,76

В целом, за весенне-летний период наблюдений наблюдается плавное понижение уровня грунтовых вод по всем наблюдательным скважинам и его повышение в сентябре, что согласуется с результатами многолетних наблюдений. Исследования показали, что за период мониторинговых наблюдений УГВ изменялся в среднем от 1,67 до 2,04 м. Динамика УГВ характеризовалась постепенным понижением уровня грунтовых вод с мая по август на 0,37 м, а затем подъемом в сентябре – на 0,28. В результате в сентябре, УГВ практически приблизился к майским значениям и составил 1,76 м. Столь незначительное, в сравнении со среднемноголетними значениями, понижение УГВ в весенне-осенний период было обусловлено избытком атмосферных осадков в июне и августе. Так, в мае выпало 25,1 мм осадков, что составило 38 % от среднемноголетнего значения; в июне выпало 104,8 мм осадков, что выше среднемноголетнего значения на 90,5 %; в июле выпало 34,0 мм осадков, что составило 47,7 % от среднемноголетнего значения; в августе выпало 100,0 мм осадков, что выше среднемноголетнего

значения на 105,3 %. Мониторинговые наблюдения показали, что в скважине № 8 (пашня, средняя часть коллектора) УГВ понизился меньше всего, по всей вероятности это связано с проходящим в 1,5 м от скважины коллектором. Некоторый подъем УГВ осенью был обусловлен питанием за счет атмосферных осадков.

Для оценки агрохимических свойств длительно используемых мелиорированных почв при проведении стационарных эколого-мелиоративных наблюдений на мелиоративной системе «Тинки-2» проведен отбор проб почвы по схеме в 9-ти контрольных точках.

Основная цель мониторинга почвенного покрова при проведении стационарных эколого-мелиоративных наблюдений на мелиоративной системе «Тинки-2» заключается в наблюдении и контроле за состоянием почв для своевременного выявления изменений и оценки негативного воздействия антропогенной нагрузки.

Отбор смешанных образцов проведен методом маршрутных ходов. С каждого элементарного участка (100×100 м) методом конверта отбирался смешанный образец почвы на глубину 5–20 см, всего отобрано 9 образцов почвы (Методические указания по агрохимическому обследованию почв, 1982).

В отобранных пробах по стандартным методикам определены следующие показатели: рН, Нг, подвижный фосфор, обменный калий, S, орг. вещество, подвижные формы тяжелых металлов (медь, цинк, свинец и кадмий).

Результаты исследований химического состава отобранных проб почвы показали, что рН варьируется от 4,32 до 6,67, т. е. почвы по степени кислотности колеблются от кислых до нейтральных.

Предел колебаний гидролитической кислотности почвы составил от 0,7 до 8,83 мг-экв на 100 г почвы. Степень насыщенности основаниями варьируется от 3,0 до 38,9 мг-экв на 100 г почвы, что говорит о низкой степени ее насыщенности основаниями.

Содержание органического вещества в почве варьируется от 2,02–3,36 % в центре объекта на сенокосах, до 14,08–14,18 на пашне, в целом наибольшее распространение на мелиоративной системе получили дерново-подзолистые супесчаные почвы с довольно низким содержанием гумуса.

Содержание подвижного калия в почве варьирует от 2,1 до 12,7 мг/100 г, что говорит о низком его содержании в почве. Содержание подвижного фосфора также низкое и колеблется от 7,1 до 38,9 мг/100 г.

Также были проведены исследования содержания тяжелых металлов в почве объекта.

Анализ данных, представленных в табл. 2 показал, что содержание тяжелых металлов в почве мелиоративной системы «Тинки-II» не превышает ПДК.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почве объекта «Гинки-П»

№ пробы	Цинк, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Свинец, мг/кг	Медь, мг/кг
1	0,33	0,002	0,50	0,55
2	0,23	0,01	0,46	1,30
3	0,12	0,002	0,10	1,43
4	0,44	0,001	0,39	1,26
5	0,2	0,001	0,20	1,67
6	0,21	0,002	0,34	1,15
7	0,27	0,002	0,27	1,00
8	0,38	0,01	0,39	0,78
9	0,1	0,001	0,40	0,69
ПДК	23,0	0,6	6,0	3,0

Полученные экспериментальные данные (первичный цифровой материал) необходимые для оценки эколого-мелиоративного состояния осушенных земель свидетельствуют о значительной антропогенной нагрузке, обусловленной сельскохозяйственной деятельностью.

Проведенные исследования грунтовых и поверхностных вод, позволяют сделать вывод, что территории сельскохозяйственного использования также являются источником поступления ТМ в водные потоки, наибольшее содержание тяжелых металлов характерно для поверхностных вод мелиоративной системы.

Литература

1. Крештапова, В. Н. Экологические проблемы использования торфяных почв в сельском хозяйстве / В. Н. Крештапова., Г. В. Чекин // Повышение эффективности мелиорации и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель: Тез. докл. международной науч.-практ. конференции. – Минск, 2009. – с. 102–104.

2. Исходные эколого-мелиоративные требования к регулированию водного режима почв в условиях их антропогенного загрязнения // Разработка технологии регулирования водного режима мелиорируемых почв при возрастающих антропогенных нагрузках для получения экологически чистой

продукции: Науч.-техн. отчет. ВНИИГиМ, Мещерский филиал. – Рязань, 2001. – 43 с.

3. Булдей, В. Р. Осушительные мелиорации и охрана природы / В. Р. Булдей, С. Т. Вознюк. – Львов: Изд-во Львовский ун-т, 1987. – 160 с.

4. Мажайский, Ю. А. Системы регионального почвенно-экологического мониторинга содержания тяжелых металлов в культурных ландшафтах: Учебно-методическое пособие по экологическому мониторингу / Ю. А. Мажайский, Т. М. Гусева, С. В. Гальченко. – Рязань: РГМУ, 2002. – 112 с.

5. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: Справочник / Под редакцией Б. С. Маслова. – М.: Ассоциация Экоств, 2001. – 607 с.

6. Шведовский, П. В. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территорий / П. В. Шведовский // Мелиорация и водное хозяйство, 1974, № 2. – С. 4–7.

УДК 691.53

Цементирующие ремонтные материалы при реконструкции сооружений подверженные особым нагрузкам

Курчевский С. М., Симака А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведен обзор и анализ свойств цементирующих материалов, способных выдерживать особые нагрузки, быстро твердеть и обеспечивать требуемые прочность и сцепление с основным материалом.

Актуальной задачей остается обеспечение требуемой надежности и долговечности зданий и сооружений. В частности, к ремонту сооружений специального назначения зачастую предъявляются дополнительные требования к срокам выполнения работ и ввода объекта в эксплуатацию.

Помимо широко известных магний-фосфатных, алюминатно-кальциевых и сульфато-алюминатных кальциевых цементов, а также полимербетон, за рубежом активно разрабатываются модификации щелочно-активированного цемента.

Магний-фосфатный цемент может достигать прочности 22,8 МПа в течение 1 часа. Испытание на сцепление показало, что ремонтный материал на его основе демонстрирует хорошую адгезию к основному бетону. В результате прочность за 1 сутки составила 7,17 МПа, а за 7 дней – 11,51 МПа. В сравнении с обычным портландцементом, раствор на магний-фосфатном

цементе имеет меньшую усадку, и более стойкий к истиранию, но также более подвержен влиянию влаги: вода может разбавлять непрореагировавший цемент, увеличивая тем самым пористость материала. Этого недостатка лишены алюминатно-кальциевые цементы, а скорость твердения у них почти такая же высокая: при 18 °С прочность бетона в течение 6 часов достигает 24 МПа, при температуре 6 °С, за тот же промежуток времени прочность на сжатие составит 19 МПа. Но алюминатно-кальциевые цементы имеют серьезный недостаток: они быстро набирают прочность за счет образования декагидрата алюмината кальция, но, при его превращении в октагидрат, материал может потерять до 47 % прочности. Этого эффекта можно избежать при соблюдении водоцементного отношения не более 0,35 и минимального содержания цемента не ниже 400 кг/м³ [1].

Сульфо-алюминатно-кальциевый цемент применяют для изготовления безусадочных расширяющихся бетонов. Такие бетоны являются хорошим антифриз-материалом: сульфо-алюминатно-кальциевый бетон имеет на 12 % меньшую потерю веса по сравнению с бетоном из обычного портландцемента после серии испытаний на замораживание-оттаивание. Недостаток материала в повышенном риске возникновения коррозии в арматуре [1].

Модифицированный полимербетон получают путем добавления различных полимерных материалов. После отверждения полученный бетон содержит непрерывную, взаимосвязанную матрицу частиц вяжущего полимера.

Полимербетон считается одним из самых дешевых и высокоэффективных материалов для ремонта дорожного покрытия. Он часто используется в районах с очень высокой интенсивностью движения и обеспечивает возможность использовать автотрассу по назначению сразу после укладки полимербетона. Рабочая температура материала составляет от 7 до 29 °С.

Результаты испытаний полимербетона на сцепление при изгибе и сдвиге показали увеличение прочности сцепления на 32 % и 120 % соответственно по сравнению с обычным бетоном. Также этому материалу свойственны долговечность, высокая стойкость к истиранию и меньшая подверженность воздействию замораживания-оттаивания.

Бетон со сверхвысокими эксплуатационными характеристиками (часто встречается аббревиатура УНРС либо СЭБ) имеет очень низкую пористость и высокую начальную прочность – свыше 50 МПа в течение 1 суток. Однако автогенная усадка СЭБ выше, чем у обычного бетона. Нестабильность размеров, вызванная этой усадкой, приводит к расслаиванию ремонтного материала. Смягчение может быть достигнуто путем регулирования скорости гидратации, использования добавки, снижающей усадку, или расширяющего агента [1].

Щелочно-активированный цемент (далее ЩАЦ) образуется в результате химической реакции между высокощелочным раствором и алюмосиликатным исходным сырьем. В качестве источника алюмосиликатов используются гранулированный доменный шлак и зола-унос. В зависимости от состава средние значения прочности на сжатие 40–60 МПа, а на растяжение – порядка 6 МПа. Последние исследования показали, что при использовании смеси шлака с каолином значение прочности на сжатие достигает 70 МПа, на растяжение – до 10 МПа [1].

Следовательно, прочностные характеристики ЩАЦ более высокие чем у обычного портландцемента, а технология производства значительно снижает выбросы углекислого газа. Бетоны из ЩАЦ долговечнее бетонов из обычного портландцемента, проникновение хлоридов аналогично бетону с низким водоцементным соотношением, а также он превосходит обычный бетон с точки зрения сопротивляемости химическому воздействию. С другой стороны, механизм реакции гидратации в щелочно-активированном бетоне до конца не изучен и все еще находится в стадии исследования. Поскольку характеристики используемого шлака варьируются от источника к источнику, реакция и микроструктура также различаются. Кроме того, бетон, активируемый щелочью, демонстрирует значительную усадку при высыхании и растрескивание в сухих условиях [2]. Также необходимо предусмотреть мероприятия против выщелачивания.

Таким образом, щелочно-активированный бетон имеет большой потенциал как материал для ремонтных работ, но требуется провести больше исследований, прежде чем применять его в новом строительстве. Также необходимо подчеркнуть различие между геополимерами и щелочно-активированными материалами. Некоторые ученые и инженеры используют эти понятия как синонимы, что вводит в заблуждение. Щелочно-активированные материалы представляют собой гидраты. Геополимеры гидратами не являются, т. к. вода не участвует в структурировании материала.

Необходимо подчеркнуть, что средний срок службы ремонтных материалов составляет 5–15 лет. Эффективность ремонта бетонной поверхности зависит не только от состава и качества ремонтного материала, но и от взаимодействия между ремонтными материалами и бетонными основаниями. Концентрация напряжений на границе раздела способствует развитию микротрещин, что сокращает срок эксплуатации. Увеличение шероховатости поверхности основания, использование полимерных вяжущих и использование волокон в ремонтных материалах может повысить прочность сцепления между ремонтными материалами на основе цемента и бетонными основаниями [3].

Из выше указанного следует, что отсутствие исследований по изучению сопротивления усталостного разрушения бетона в ходе ремонтных работ

может быть ключевой причиной отсутствия долговечных ремонтных материалов на основе цемента для бетонных конструкций. Понимание усталостного разрушения при ремонте поверхности бетона и методов снижения концентрации межфазных напряжений при повторяющихся нагрузках являются ключевыми вопросами в будущих исследованиях для разработки долговечного ремонта бетонных сооружений.

Литература

1. Shih Horng, Y. Properties of Cementitious Repair Materials for Concrete Pavement / Y. Shih Horng [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. – Vol. 22. – P. 17.
2. Hojati, M. Creep of alkali-activated cement mixtures / M. Hojati, F. Rajabipour, A. Radlińska // *Elsevier BV: Case Studies in Construction Materials*, 2023. – Vol. 16. – P. 13.
3. Song, X. Cement-Based Repair Materials and the Interface with Concrete Substrates: Characterization, Evaluation and Improvement / X. Song [et al.] // *MDPI: Polymers*, 2022. – Vol. 14. – P. 25.

УДК 621.1.016:536.2

Теоретические исследования параметров процесса скоростного выдавливания заготовок изделий медицинского назначения

Качанов И. В., Ленкевич С. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Получение качественных заготовок медицинских изделий с минимальной материалоемкостью, наименьшей себестоимостью и снижением трудоемкости при последующей механической обработке является одной из приоритетных задач, исходя из этого с учетом экономической целесообразности, заготовки медицинских изделий рационально изготавливать методами обработки металлов давлением с последующей механической обработкой.

Деформирование, применяемых в медицине, коррозионностойких сталей, титана и его сплавов в холодном состоянии зачастую связано с большими трудностями, главные из которых необходимость применения мощного оборудования из-за большого сопротивления сплавов деформированию. значительное пружинение как следствие низкого модуля и высокой прочности. Эти трудности в значительной степени устраняются при применении импульсной обработки давлением. Мощность ударного воздействия

практически неограниченна, а пластичность сплавов в некоторых случаях может быть повышена как за счет резкого увеличения самой скорости деформации, так и за счет преднамеренного создания благоприятной схемы напряженного состояния, которую трудно создать при статическом деформировании из-за резкого увеличения усилий деформирования.

Особенно значительные преимущества для титановых сплавов имеет применение скоростного горячего объемного деформирования на высокоскоростных установках или молотах.

Серьезные недостатки традиционной горячей деформации – окисление поверхности титановых сплавов и образование хрупких газонасыщенных поверхностных слоев окалина, ухудшающих качество поверхности.

Перечисленные недостатки в значительной мере устраняются при скоростной деформации. Кроме хорошего заполнения ручьев штампа, малых штамповочных уклонов и радиусов штамповок при высокоскоростной горячей штамповке, возможно заполнение штампа за один ход пуансона при точном соблюдении заданной температуры деформации.

Кроме того, при скоростном горячем деформировании проще использование различных видов улучшающих термомеханических обработок, закалка штамповок сразу после деформации [1].

Заполняемость полостей штамповой оснастки определяется комплексным действием ряда факторов, важнейшими из которых являются тепловой режим деформирования, контактное трение и силы инерции.

При скоростном деформировании ($v = 15$ м/с и более) начинает сказываться влияние теплового эффекта [2].

Процесс в этом случае считается адиабатическим и протекает с интенсивным выделением тепла в зонах наибольших деформаций. Следовательно, неравномерное распределение деформаций при высокоскоростном деформировании сопровождается неравномерным распределением температуры по объему.

Приращение температуры в результате пластической деформации в среднем по объему определяется соотношением [3]

$$\Delta t = \frac{\psi A_k}{427 c \gamma V},$$

где ψ – КПД удара; A_k – работа деформации, кДж; c – удельная теплоемкость, кал/(г °С); γ – удельный вес, кг/м³; V – объем заготовки, подвергаемый формоизменению, м³.

Ряд исследований [3] показал, что при скоростях деформирования $v = 5-10$ м/с тепловые потери и температурный эффект балансируются, а

деформирование при более высоких скоростях приводит к увеличению теплосодержания поковки.

Таким образом, формообразование тонких элементов поковки, (которые зачастую присущи заготовкам медицинских имплантатов) на скоростном ударном оборудовании протекает в тепловых условиях, способствующих поддержанию в деформируемом материале высокой пластичности.

В последнее время проведены работы, позволяющие прямо или косвенно судить о коэффициенте трения при высокоскоростном деформировании. На рис. 1 приведены зависимости коэффициентов бочкообразности, рассчитанных относительно верхнего торца осажённых образцов, от скорости деформирования [4]. Коэффициент бочкообразности $(D - d)/D$ находится в прямой зависимости от силы трения, поэтому кривые на рис. 1 косвенно отражают изменение коэффициента трения, уменьшающегося с ростом скорости деформирования.

Из анализа кривых на рис. 1 видно, что с увеличением скорости деформирования силы трения меньше, чем при прессовании с обычными скоростями, причем начиная от скоростей $v = 80$ м/с и выше контактное трение пренебрежимо мало.

Кроме того, наличие смазки при скоростной штамповке обеспечивает жидко-граничное трение, когда между трущимися поверхностями находится жидкая пленка полностью не выдавливающаяся и не теряющая свойств жидкости в процессе деформирования.

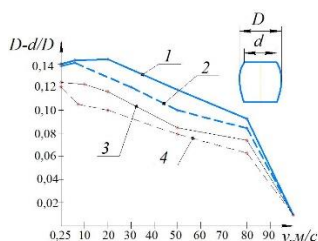


Рис. 1. Зависимость коэффициента бочкообразности, относительно верхнего торца образца при осадке заготовок из стали Р 18 от скорости деформирования [3; 4]:
1 – 900 °C; 2 – 1000 °C; 3 – 1100 °C; 4 – 1180 °C при относительной степени деформации $\epsilon = 65$ %

Для аналитического описания распределения сил трения, исследования проведенные А. П. Грудевым [5] показывают, что введение допущения о постоянстве сил трения не вносит большой погрешности.

При штамповке со скоростями деформирования от 20 м/с и более инерция металла вызывает дополнительные напряжения, значения которых могут быть соразмерны удельными усилиями со стороны инструмента. При этом ускорения и замедления частиц, вызванные изменением скорости от нуля до максимума и снова до нуля, становятся очень большими.

Процесс скоростного выдавливания протекает в две стадии: запрессовка и выдавливание. Первая стадия как по времени, так и по энергозатратам менее значительна, чем вторая. Рассмотрим стационарную стадию.

Баланс сил может быть представлен уравнением

$$P = P_1 - P' + P'' - P''' , \quad (1)$$

где P – усилие со стороны инструмента; P_1 – «статическая» составляющая усилия; P' , P'' , P''' – инерционные усилия, развиваемые массами заготовки: движущейся в контейнере, составляющей очаг деформации (и ускоряемой в нем прямо пропорционально коэффициенту вытяжки), и прогрессованной (изделие); это – динамические составляющие усилия.

Почленно разделив (1) на площадь контейнера F_0 и оценив полученные слагаемые, можно показать, что «статическая» составляющая сопротивления деформированию $p_1 = P_1/F_0$ значительно превышает составляющие от сил P' и P''' , поэтому последними можно пренебречь.

Заслуживает внимания составляющая силы инерции металла, который с ускорением движется в очаге деформации.

Учитывая только осевые компоненты и предполагая, что очаг деформации равен объему заходного конуса матрицы и линии тока металла направлены к точке пересечения образующих, матричной воронки, составляющая сил инерции будет

$$\frac{P''}{F_0} = \frac{\rho v^2}{2} \lambda^2 ,$$

где ρ – плотность металла, скорость деформирования, м/с; λ – коэффициент вытяжки (при выдавливании).

Значительно более точную модель очага деформации дает метод линий скольжения.

На основе кинематически возможных полей скоростей, состоящих из жестких блоков, получено уточненное выражение для инерционного слагаемого удельного усилия [6]

$$\frac{P''}{F_0} = (1 + \lambda) \rho v^2 \bar{p}_2 = \alpha \rho v^2, \quad (2)$$

где \bar{p}_2 – безразмерный коэффициент, зависящий от вытяжки и угла входа матрицы.

Кривые для определения параметра α , зависящего от коэффициента вытяжки и угла входа матрицы, построены по литературным данным [3] (рис. 2).

Выражение (2) получено для прессования с постоянной скоростью. В этом случае ускорение любой точки в очаге деформации определяется только конвективной компонентой, локальная равна нулю. Для процессов ударного выдавливания, протекающих с переменными (уменьшающимися) скоростями, оба упомянутых ускорения не равны нулю. Задача для таких процессов пока не решена. Однако очевидно, что в случае уменьшающейся скорости конвективное и локальное ускорения противоположны по знаку. Поэтому полное дополнительное напряжение будет меньше величины, получаемой по (2), а, следовательно, последнее можно рассматривать как верхнюю оценку сил инерции металла, ускоряемого в очаге деформации.

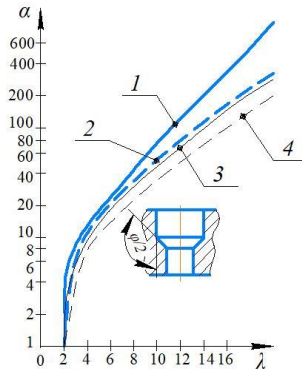


Рис. 2 – Зависимость множителя α , определяющего динамическую составляющую удельного усилия при осесимметричном выдавливании, от коэффициента вытяжки [3]:

1 – $\phi = 180^\circ$; 2 – $\phi = 120^\circ$; 3 – $\phi = 90^\circ$; 4 – $\phi = 60^\circ$

Таким образом, удельное усилие, действующее при ударном выдавливании с уменьшающейся скоростью, является суммой двух слагаемых: «статической» составляющей и составляющей сил инерции на преодоление «реакции» очага деформации:

$$p = p_1 + \alpha r v^2. \quad (3)$$

Коэффициент вытяжки при ударном скоростном выдавливании оказывает значительное влияние на силы инерции. При низкой начальной скорости и большом коэффициенте вытяжки могут возникнуть гораздо большие силы инерции, чем при высокой начальной скорости и малом коэффициенте вытяжки. Поэтому начальная скорость истечения металла из очага матрицы при анализе действия сил инерции является более показательной величиной, чем начальная скорость выдавливания [7; 8].

Характер разрушения стержневой заготовки под действием инерционных сил позволяет оценить пластичность деформируемого металла в условиях одноосного скоростного растяжения. Оценка пластичности соотносится величиной относительного поперечного сужения, рассчитываемого для круглых стержней, как и при испытании образцов на разрыв.

Явление разрушения, а также возникновение дефектов (уплотнений, расслоений и др.) металлов, деформируемых с высокими скоростями, возникает ввиду неравномерности и локализации деформации. Это явление зависит от совместного действия температурно – скоростных условий деформирования, механических и физических свойств деформируемого металла, конфигурации и размеров поковки, механической схемы деформации и т. д.

Рост растягивающих напряжений сопровождается повышением температуры в месте локализованной деформации. Также следует отметить, что повышение температуры может содействовать увеличению пластичности при растяжении силами инерции, если суммарная температура, зависящая от теплоты предварительного нагрева заготовки, теплового эффекта деформации и тепловых потерь, не вызовет перегрева деформируемого металла. Напротив, перегрев, вызванный интенсивной деформацией, приводит к разрушению сплава еще в очаге деформации [8].

Литература

1. Мажарова, Г. Е. Обработка титановых сплавов давлением. / Г. Е. Мажарова, А. З. Комановский, Б. Б. Чечулин, С. Ф. Важенин. – М.: Металлургия, 1977. – 96 с.

2. Шарий, В. Н. Получение стержневых изделий скоростным горячим выдавливанием с плакированием торцевой части: дисс... канд. техн. наук: 05.16.05 / В. Н. Шарий. – Минск, 2009. – 163 с.

3. Согришин, Ю. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / Ю. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. – М.: Машиностроение, 1978. – 164 с.

4. Мещанчук, П. А. К вопросу определения истинной степени деформации и характера контактного трения при осадке стали Р18 в условиях высоких скоростей нагружения. / П. А. Мещанчук, Ю. П. Согришин // Высокоскоростная объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 85–92.

5. Грудев, А. П. Теория прессования металлов / А. П. Грудев. – М.: Металлургия, 1975. – 356 с.

6. Непершин, Р. И. Расчет усилия при высокоскоростном прессовании / Р. И. Непершин, В. И. Даценко, В. А. Матяж // Кузнечно-штамповочное производство. – 1972, – № 2. – С. 1–4.

7. Томленов, А. Д. Определение усилий процессов плоского и осесимметричного высокоскоростного прессования / А. Д. Томленов. – М.: Наука, 1970. – 340 с.

8. Костышев, В. А. Высокоскоростная штамповка [Электронный ресурс]: электрон, учеб. пособие / В. А. Костышев; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон, текстовые и граф. дан. (1,91 Мбайт). – Самара, 2011. – 65 с.

УДК 621.1.016:536.2

Экспериментальные исследования 3D-моделей составов судов, эксплуатируемых в режимах толкания и буксировки

Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А.,
Шаталов И. М., Щербакова М. К., Власов В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В процессе работы проводились экспериментальные исследования 3D-моделей барже-буксирных составов с выдачей рекомендаций по их эффективной и рациональной эксплуатации на внутренних водных путях Республики Беларусь.

Гидромеханика в настоящее время не позволяет теоретически предсказать с требуемой для практики точностью геометрию обводов корпуса

судна, кинематические и динамические характеристики потока вблизи поверхности судна и его сопротивление. Для количественных оценок этих характеристик используется модельный эксперимент на созданных 3D-моделях судов.

Для определения гидродинамических характеристик существующих барже-буксирных составов в ОАО «Белсудопроект» были разработаны цифровые модели судов исследуемого барже-буксирного состава (буксир-толкач проекта № 570 и баржа проекта № 775), а также в БНТУ были разработаны модели с оптимизированными обводами корпуса баржи для улучшения технологичности конструкции носовой части корпуса без ухудшения или с повышением показателей по сопротивлению движению судна, которые в последствии были напечатаны в БНТУ на 3D-принтере марки Premier-3D N1.

В первом варианте модернизации разрабатывались носовые части корпуса баржи с сохранением габаритных размеров корпуса и отношения габаритных длины и ширины $L/B = 7,3$ для последующего сравнения гидродинамических характеристик с прототипом – баржа проекта 775.

Второй вариант модернизации предполагал разработку моделей с повышением грузоподъемности баржи путем увеличения габаритных размеров корпуса судна и отношением $L/B = 5,43$ (с учетом ограниченной осадки несамоходных судов (барж) внутреннего плавания). Причем, при проектировании учитывалась возможность использования составных частей баржи проекта 775 в качестве донора при формировании корпуса баржи нового проекта.

Далее изготовленные 3D-модели барже-буксирного состава были испытаны на сопротивление их движению в гидродинамическом лотке в гидравлической лаборатории кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика».

Принимая во внимание габаритные ограничения лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей, равный 1:100. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе.

Также, разработка 3D-моделей производилась с учетом плотности материала для последующей 3D-печати с получением правильной развесовки судна, с целью обеспечения на спокойной воде посадку судна в грузу (в соответствии с масштабом) прямо и на ровный киль и исключить дифферент на его оконечности.

Исходные данные, используемые для проектирования первого варианта:

- 1) длина судна $L = 73,68$ м;
- 2) ширина судна $B = 10$ м;
- 3) высота борта $H = 2,3$ м;
- 4) водоизмещение в грузу $D = 1342,6$ т;

5) осадка судна в грузу $T = 1,85$ м.

На рис. 1 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и неизменной кормовой частями для варианта № 1.

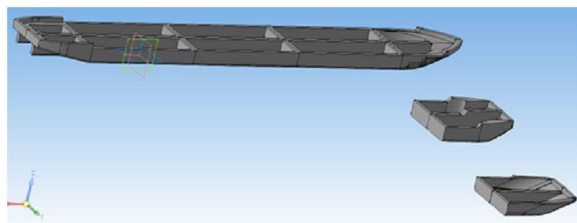


Рис. 1. Внешний вид 3D-модели варианта № 1 в сборе и сменные части носовых оконечностей

Исходные данные для проектирования второго варианта:

- 1) длина судна $L = 75$ м;
- 2) ширина судна $B = 13,8$ м;
- 3) высота борта $H = 2,3$ м;
- 4) водоизмещение в грузу $D = 1735$ т;
- 5) осадка судна в грузу $T = 1,88$ м.

На рис. 2 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовой частями для варианта № 2.

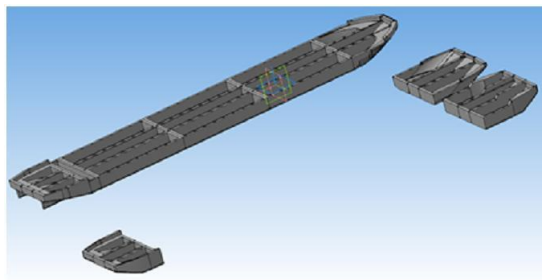


Рис. 2. Внешний вид 3D-модели варианта № 2 в сборе и сменные части носовых и кормовых оконечностей

На рис. 3 схематично представлены варианты размещения баржи в лотке относительно измерительного комплекса [1].

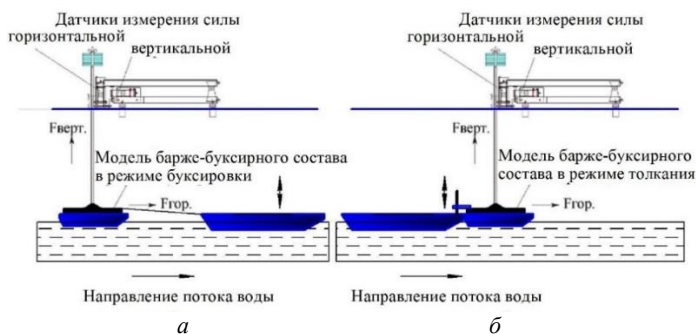


Рис. 3. Схемы измерения силового воздействия потока воды на модели корпуса судна и внешний вид расположения датчиков измерительного комплекса, где модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством: *а* – гибкой сцепки (нитки); *б* – полужесткой сцепки в виде пластины, которая жестко закреплена на измерительной штанге

На схеме, представленной на рис. 3, *а* модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством гибкой сцепки (нитки), и сама модель свободно колеблется на воде. Данная схема предназначена для экспериментальных исследований влияния изменения геометрии обводов и отношения L/B корпуса баржи в режиме буксировки.

На схеме, представленной на рис. 3, *б* модель баржи соединяется с измерительной штангой посредством полужесткой сцепки в виде пластины, которая жестко закреплена на измерительной штанге, а с баржей соединяется посредством двух цилиндрических направляющих, установленных на корме баржи и сама модель свободно колеблется на воде в вертикальном направлении. Данная схема предназначена для экспериментальных исследований влияния изменения геометрии обводов и отношения L/B корпуса баржи в режиме толкания.

Экспериментальные исследования моделей барже-буксирных составов проводились с целью оценки сил сопротивления движению при различных вариантах конструктивных параметров корпуса баржи с дальнейшим выбором его оптимальных параметров (формы обводов носовой части и отношения L/B), соответствующих минимальному сопротивлению движения [2; 3].

В исследованиях, в качестве критерия подобия был выбран критерий Фруда. Для оценки изменения сил сопротивления движению были выбраны три скорости состава с шагом относительно расчетной скорости $v = 2$ км/ч, что позволило для проведения исследований в гидродинамическом лотке выбрать следующий диапазон скоростей движения составов в реальных условиях водотока: 6 км/ч, 8 км/ч и 10 км/ч.

Исходя из выше сказанного, число Фруда, для трех выбранных значений скоростей движения состава соответственно составило: $Fr_6 = 0,062$, $Fr_8 = 0,083$, $Fr_{10} = 0,104$. Тогда средние скорости обтекания потока жидкости корпуса модели в гидродинамическом лотке при моделировании будут равны: $v_6 = 0,16$ м/с, $v_8 = 0,22$ м/с, $v_{10} = 0,27$ м/с [2; 3].

Обеспечение указанных значений средней скорости потока жидкости в гидродинамическом лотке производилось за счет изменения расхода воды, подаваемой в лоток. Контроль значений средней скорости обтекания потока производился при помощи гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1, которая устанавливалась на расстоянии, исключающем ее влияние на обтекание модели [4].

Для сравнительного анализа в режиме толкания использовались результаты экспериментальных исследований для отношения $L/B = 7,3$ и для отношения $L/B = 5,43$ с различными типами обводов. По экспериментальным данным были построены графические зависимости, представленные на рис. 4.

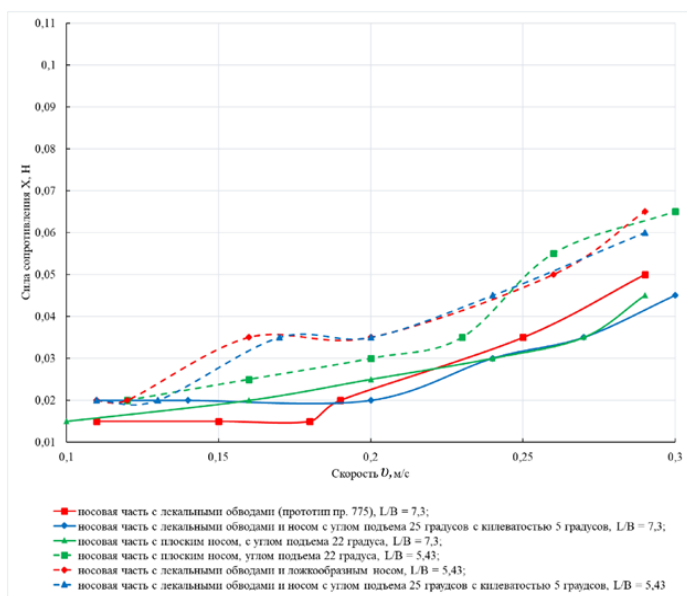


Рис. 4. График изменения силы сопротивления движению модели состава в режиме толкания в зависимости от формы носовой части модели баржи, отношения L/B и средней скорости набегающего потока

Из анализа графиков видно, что для отношения $L/B = 5,43$ корпуса модели баржи, сила сопротивления движению X больше при всех формах носовой части чем для модели баржи при отношении $L/B = 7,3$.

При рабочих скоростях набегающего потока до 0,22 м/с (эксплуатационная скорость 8 км/час) оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и лекальные обводы прототипа – проект 775 при $L/B = 7,3$, а при $L/B = 5,43$ оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с плоским носом с углом подъема 22° .

Для сравнительного анализа в режиме буксировки использовались результаты экспериментальных исследований для отношения $L/B = 7,3$ и для отношения $L/B = 5,43$ с различными типами обводов. По экспериментальным данным были построены графические зависимости, представленные на рис. 5.

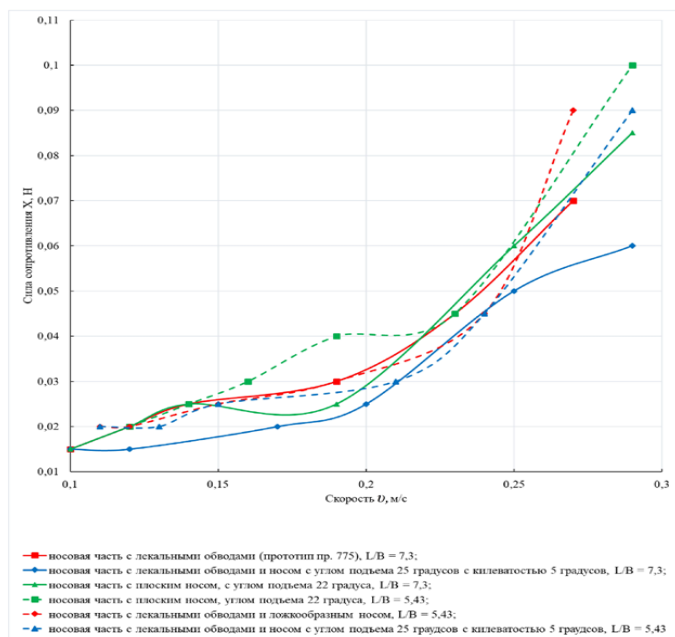


Рис. 5. График изменения силы сопротивления движению модели состава в режиме буксировки в зависимости от формы носовой части модели баржи, отношения L/B и средней скорости набегающего потока

Из анализа графиков видно, что при рабочих скоростях набегающего потока до 0,22 м/с (эксплуатационная скорость 8 км/час) оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и обводы с плоским носом и углом подъема 22° при $L/B = 7,3$, а при $L/B = 5,43$ оптимальные значения демонстрируют обводы с носовой частью с лекальными обводами и килеватым носом и лекальные обводы с ложкообразным носом.

Из анализа представленных зависимостей видно, что при малых скоростях (0,16–0,22 м/с) лекальные обводы повышают эффективность движения состава даже при режиме буксировки. Однако при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее для всех типов обводов, а в режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает.

Из зависимостей видно, что при выходе на рабочие скорости (0,22–0,27 м/с) режим толкания эффективнее порядка на 25–40 % в сравнении с буксировкой для обоих составов.

Литература

1. Программно-аппаратный комплекс измерения усилий. Паспорт. Минск: БНТУ, 2008. – 2 с.
2. Войткунский, Я. И. Сопротивление движению судов. 2-е изд., перераб. и доп. / Я. И. Войткунский. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.
3. Богданов, Б. В. Проектирование толкаемых составов и составных судов / Б. В. Богданов, Г. А. Алчуджан, В. Б. Жинкин. – Л.: Судостроение, 1981. – С. 224.
4. Микровертушка гидрометрическая ГМЦМ-1 (КК 001.00.00.00.000ПС). Руководство по эксплуатации. Свид. об утв. типа РФ RU.C.28.001.A № 34138, 2014. – 10 с.

УДК 626.3:627.86

Оценка степени оптимизации параметров мелиоративных каналов (на примере магистральных каналов ирригационных систем Китая)

Михневич Э. И., Ли Цзэмин
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предлагается методика оценки степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов на основе коэффициента оптимизации, представляющего отношение скорости течения воды в русле при максимальном расходе к скорости в канале с гидравлически наивыгоднейшим сечением. Эта методика позволяет также установить диапазон оптимальных значений

глубины и ширины русла и соответствие этому диапазону параметров канала. В качестве примера дана оценка степени оптимизации параметров магистральных каналов ирригационных систем Китая.

Магистральные каналы являются важнейшими элементами мелиоративных систем. При осушении земель они принимают всю воду с осушаемой территории и отводят ее в реку-водоприемник. На ирригационных системах магистральные каналы являются непосредственным поставщиком воды из водных источников (рек, водохранилищ, озер) на орошение. Для снижения стоимости строительства каналов стремятся создавать их гидравлически наиболее выгодного сечения или близкими к этому профилю. Глубина магистральных каналов, подающих воду на орошение, определяется в основном расчетным расходом воды и может достигать на крупных ирригационных системах Китая 4–5 м и более [1].

Каналы гидравлически наиболее выгодного сечения характеризуются максимально возможной средней скоростью $v_{гн}$, и следовательно, минимальной площадью живого сечения $\omega_{гн}$ [2; 3]. Для трапецидального сечения, наиболее распространенного в водохозяйственном строительстве, такой профиль характеризуется соотношением $\beta_{гн}$ между шириной русла по дну b и глубиной h [2; 4]:

$$\beta_{гн} = (b/h)_{гн} = 2\left(\sqrt{1+m^2} - m\right), \quad (1)$$

где m – коэффициент заложения откосов.

Каналы гидравлически наиболее выгодного сечения являются наиболее экономичными по объемам земляной выемки и соответственно по строительным затратам. В тоже время, такие каналы являются часто слишком глубокими и узкими, что не всегда удобно при производстве работ и может не соответствовать требованиям сопряжения проводящей сети в вертикальной плоскости. Наши исследования показали, что принимая скорость течения воды в русле v на (1–5) % меньше максимально возможной $v_{гн}$, можно выделить область гидравлически наиболее выгодных сечений, которая характеризуется коэффициентом оптимизации $K_{опт} = v/v_{гн}$, изменяющемся в пределах $K_{опт} = 0,95–1,0$ и получить оптимальные параметры канала, близкие к гидравлически наиболее выгодному сечению, но менее глубокие и достаточно широкие, чтобы быть вполне приемлемыми для производства работ по их сооружению и удовлетворять требованиям сопряжения проводящей сети в вертикальной плоскости.

Нами предлагается методика, по которой может быть дана оценка степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов.

1. Рассчитывают гидравлически наивыгоднейший радиус $R_{гн}$ по формуле [2; 4]

$$R_{гн} = \left(\frac{Qn}{4m_0 \sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}, \quad (2)$$

где m_0 – характеристика откоса, которая определяется по формуле

$$m_0 = 2\sqrt{1+m^2} - m, \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости русла; i – уклон дна канала; y – показатель степени в формуле Н. Н. Павловского для определения коэффициента Шези C , $m^{0,5} / c$:

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

где R – гидравлический радиус, м.

Значение показателя степени y с достаточной степенью точности может быть определено по упрощенным формулам Н. Н. Павловского [2; 3]

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1 \text{ м},$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1 \text{ м}.$$

Для земляных русел с гидравлическим радиусом $R = 0,5-3$ м значение y может быть принято приближенно $y = 0,2$ [3; 4].

2. Определяют площадь гидравлически наивыгоднейшего сечения $\omega_{г.н.}$ по формуле [2; 4]

$$\omega_{г.н.} = 4m_0 R_{г.н.}^2.$$

3. Находят среднюю скорость потока $v_{гн}$, которая является максимально возможной при заданных уклоне i и коэффициенте шероховатости русла n

$$v_{г.н.} = \frac{Q}{\omega_{г.н.}}.$$

4. Зная фактическую скорость в канале v при максимальном расчетном расходе Q , определяют коэффициент оптимизации параметров поперечного сечения канала

$$K_{\text{опт}} = v / v_{\text{г.н.}}$$

Если значение коэффициента оптимизации окажется в пределах $K_{\text{опт}} = 0,95-1,0$, то можно полагать, что параметры канала находятся в области гидравлически наивыгоднейших сечений. Соответственно, чем меньше значения коэффициента $K_{\text{опт}}$, тем больше отклоняются параметры канала от гидравлически наивыгоднейшего профиля. Принимать коэффициент $K_{\text{опт}} < 0,95$ не рекомендуется, что вызовет значительное отчуждение территории под трассу канала и в результате экономические затраты на создание канала значительно возрастут. Глубина канала гидравлически наивыгоднейшего профиля $h_{\text{г.н.}} = 2R_{\text{г.н.}}$. Наряду с определением коэффициента оптимизации по соотношению скоростей $v / v_{\text{г.н.}}$, можно также сравнить параметры существующего русла: глубину h и ширину по дну b со значениями этих параметров для русла гидравлически наивыгоднейшего профиля: $h_{\text{г.н.}}$ и $b_{\text{г.н.}}$. Параметры существующего русла: глубину h и ширину по дну b можно определить, исходя из заданных значений скорости v уклона дна русла i и коэффициента шероховатости n .

Для этого определяют гидравлический радиус поперечного сечения канала по формуле

$$R = \left(\frac{vn}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{1}{0,5+y}}$$

Затем вычисляют площадь живого сечения ω и смоченный периметр χ соответственно по формулам

$$\omega = Q / v, \chi = \omega / R.$$

Находят значение глубины русла из уравнения

$$h = \frac{\chi - \sqrt{\chi^2 - 4m_0\omega}}{2m_0}, \quad (4)$$

где m_0 – характеристика откоса, определяемая по формуле (3).

Определяют ширину русла по дну b по формуле

$$b = \frac{\omega}{h} - mh. \quad (5)$$

Для установления диапазона значений глубины в области гидравлически наивыгоднейших сечений определяют максимально возможную глубину в этом диапазоне $h_{г.н} = 2R_{г.н}$, где $R_{г.н}$ находят по формуле (2), и минимальную $h_{мин}$ – по уравнению (4), принимая коэффициент $K_{опт} = 0,95$ и соответственно скорость $v_{мин} = 0,95v_{г.н}$. Если глубина эксплуатируемого канала окажется в этом диапазоне, то можно считать, что она находится в области гидравлически наивыгоднейших сечений. Аналогично можно установить диапазон значений ширины русла по дну в этой области. Минимально возможную ширину $b_{г.н}$ определяют из соотношения (1): $b_{г.н} = \beta_{г.н} h_{г.н}$, а максимальную b_{max} – по (5) при скорости $v_{мин} = 0,95v_{г.н}$ и соответствующей ей площади русла $\omega_{мин}$.

В качестве примера рассмотрены пять типичных магистральных каналов, подающих воду на оросительные системы в Китае, четыре из которых (Цаодиан, Цунсун, Данкоу и Гухай) находятся в ирригационных районах в бассейне реки Хуанхэ и один (Линдиан) в ирригационном районе в верховье реки Сунхуацзян в северо-восточном Китае. Три канала (Цаодиан, Цунсун, Гухай) закреплены железобетонными плитами и поэтому имеют небольшие значения коэффициента шероховатости n .

В табл. 1 представлены гидравлические характеристики указанных магистральных каналов, используя которые рассчитаны параметры каналов по предлагаемой методике для оценки степени их оптимизации.

Таблица 1

Гидравлические характеристики магистральных каналов

Магистральные каналы	Q , м ³ /с	n	y	t	t_0	i
Цаодиан	35,0	0,015	0,1592	1,5	2,106	0,000200
Цунсун	46,5	0,015	0,1592	1,25	1,952	0,000333
Данкоу	50,0	0,025	0,2055	1,5	2,106	0,000143
Гухай	18,7	0,014	0,1538	1	1,828	0,000167
Линдиан	10,77	0,025	0,2055	2,5	2,885	0,000286

Получены диапазоны значений средней скорости потока, глубины и ширины русла по дну в области гидравлически наиболее выгодных сечений, для которой $K_{\text{опт}} = 0,95-1,0$ (табл. 2) и дано сравнение этих значений с фактическими параметрами каналов, что позволило проанализировать степень их оптимизации.

Таблица 2

Диапазон оптимальных параметров магистральных каналов
и их фактические значения

Каналы	$K_{\text{опт}}$	$v_{\text{min}} - v_{\text{г.н.}}, \text{ м/с}$	$v, \text{ м/с}$	$h_{\text{min}} - h_{\text{г.н.}}, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$b_{\text{г.н.}} - b_{\text{max}}, \text{ м}$	$b, \text{ м}$
Цаодиан	0,92	1,29–1,36	1,25	2,26–3,49	2,00	2,12–8,60	11,0
Цунсун	1,0	1,71–1,80	1,80	2,35–3,63	3,50	2,55–8,62	3,00
Данкоу	0,87	0,88–0,92	0,80	3,32–5,08	2,20	3,07–12,2	25,0
Гухай	1,0	1,13–1,19	1,19	1,89–2,94	2,52	2,43–6,87	3,73
Линдиан	0,93	0,70–0,74	0,69	1,47–2,25	1,37	0,87–6,77	8,00

Данные табл. 2 показывают, что магистральные каналы Цунсун и Гухай имеют гидравлически наиболее выгодные сечения и отвечают наиболее благоприятным экономическим условиям. Остальные магистральные каналы (Цаодиан, Данкоу и Линдиан) не находятся в области гидравлически наиболее выгодных сечений и не соответствуют экономически оптимальным условиям, так как значения скорости v , глубины h и ширины b русла этих каналов отличаются от расчетных оптимальных значений. Фактическая средняя скорость течения воды в канале Линдиан только немного ниже расчетного значения, но глубина и ширина русла существенно отличаются от оптимальных значений. Большая ширина каналов Данкоу и Цаодиан потребовала значительного отчуждения территории под трассы каналов, привела к значительному испарению воды и осложнила проведение дноуглубительных работ.

Предлагаемая методика оценки степени оптимизации параметров эксплуатируемых каналов может найти практическое применение в проектах реконструкции магистральных каналов.

Литература

1. Михневич, Э. И. Пропускная способность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао / Э. И. Михневич, Ли Цзэмин // Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых

процессов, г. Рязань, 3–7 октября 2022 г.: Доклады и сообщения. – М.: МГУ, 2022. – С. 128–130.

2. Агроскин, И. И. Гидравлика. 4-е изд. / И. И. Агроскин, И. И. Дмитриев, Ф. И. Пикалов. – М.–Л.: Энергия, 1964. – 352 с.

3. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика / Д. В. Штеренлихт; ред. Н. М. Щербакова. – М.: Колос С, 2007. – 655 с.

4. Михневич, Э. И. Открытые водотоки: пропускная способность и устойчивость / Э. И. Михневич. – Минск: БНТУ, 2021. – 311 с.

УДК: 627.8

Разрушение грунтовых сооружений при насыщении их водой

Колосов М. А., Моргунов К. П., Чинаков П. П.

Государственный университет морского и речного флота

имени адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Представлен анализ причин обрушения и оползания склонов водохранилищ при их заполнении. Отмечено, что основным механизмом утраты грунтом несущей способности является разжижение грунта, происходящее при насыщении порового пространства водой и действии на частицы грунта взвешивающей архимедовой силы. Описан цикл лабораторных исследований, проведенных для оценки процесса насыщения водой и разрушения грунтовой дамбы. В результате эксперимента подтвержден процесс переукладки грунтовых частиц в теле дамбы, приведший к увеличению плотности грунтового массива.

Как показывают наблюдения за состоянием береговых откосов водохранилищ, зачастую при первичном их наполнении наблюдаются обрушения берегов. В частности, анализ повреждений береговых откосов и тела грунтовых плотин, выполненный в работе [1], подтвердил, что из рассмотренных восьмидесяти пяти случаев в девятнадцати наполнение водохранилища привело к разрушению тела плотины со стороны верхнего бьефа. При этом песчаные берега разрушаются с формированием пологих откосов, глинистые при размыве формируют временные вертикальные откосы, а скальные берега сохраняют форму скальных образований (рис. 1).

Как правило, основная причина таких разрушений – разжижение грунтов, вызывающее подмыв и обрушение слоев грунта. Значительное водонасыщение приводит к разрушению структурных связей в грунте в результате внешнего волнового воздействия, а также формирования фильтрационных потоков и суффозионного выноса в грунте.

Достаточно подробно описано обрушение берегов на водохранилище Вайонт (Италия, 1963 год) [2], где в результате оползня со склона горы порода заполнила водохранилище на высоту 170 м, произошел выплеск воды объемом около 50 млн. кубометров через арочную плотину, волна прошла вниз по долине, разрушая на своем пути населенные пункты, что привело к гибели около 2500 человек (рис. 2).



Рис. 1. Переформирование берегов водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС



Рис. 2. Водохранилище гидроузла Вайонт, заполненное оползнем

Подобными же причинами вызвана просадка здания Загорской ГАЭС-2 (Московская область). Здание станции было построено в сухом котловане. При заполнении в 2013 году нижнего бьефа станции водой и постановки здания под напор произошел перекося здания – правая его часть просела на 1,17 м, а левая поднялась на 0,22 м. Причины такой аварийной просадки проанализированы в работе [3] – здание Загорской ГАЭС-2 построено на высокопористых аллювиальных грунтах, при заполнении котлована и насыщении грунтов водой произошло разжижение грунта, что привело к резкому уменьшению сил внутреннего трения и как следствие, потере грунтом несущей способности.

По-видимому, подобными же причинами вызван прорыв дамбы обвалования канала имени Москвы между шлюзами № 7 и № 8 в 2019 году (рис. 3).

Подтопление и дальнейшее разжижение песчаной призмы в дамбе произошло из-за поступления воды по контакту «бетонное перекрытие туннеля – суглинок» – рис. 4. Полному водонасыщению призмы способствовало отсутствие контурного дренажа между плитой перекрытия туннеля и песчаной насыпью, то есть качественного дренирования (отвода воды) из дамбы организовано не было. Зимой откос дамбы с растительным грунтом и травой замерз, отток воды из призмы и ее испарение совсем прекратились, что привело к полному водонасыщению и разжижению грунта.



Рис. 3. Поступление воды из канала имени Москвы на Волоколамское шоссе

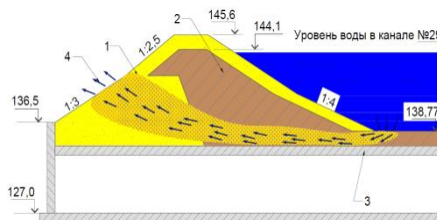


Рис. 4. Дамба ограждения канала:
 1 – песчаная упорная призма; 2 – экран из суглинка; 3 – перекрытие туннеля;
 4 – выход водогрунтовой смеси

Еще одним примером разжижения грунта является авария на плотине, строящейся Белопорожской малой ГЭС в Карелии в 2020 году. В состав мореного грунта, из которого формировалось тело плотины, входил и мелкофракционный пылеватый песок. В процессе наполнения водохранилища вода, поступающая из верхнего бьефа, привела к разжижению грунта, изменив его характеристики: увеличилась плотность грунта, что уменьшило пропуск воды в дренажную систему. В результате прорыв напорного сооружения произошел на участке, где слой разжиженного грунта близко подошел к низовому откосу [4].

Физическим смыслом процесса разжижения грунта является переход его в текучее состояние вследствие разрушения связей между частицами грунта.

Процесс разжижения состоит из трех стадий [5]:

- разрушение исходной структуры грунта вследствие разрыва структурных связей между частицами при силовом воздействии на массив грунта либо под действием взвешивающих (архимедовых) сил, при этом частицы грунта покидают свое первоначальное положение;

- стремление частиц грунта занять новое более устойчивое положение в дисперсной структуре массива, чему противодействует поровое давление в пространстве между частицами; грунт в виде потерявших связи частиц оказывается в разжиженном состоянии, при котором не происходит передачи нагрузки внутри массива и система частиц приобретает способность растекаться;

- происходит переукладка частиц при отжати воды, восстановление структуры и постепенное упрочнение (консолидация) грунта, время которого зависит от скорости отжатия воды.

Как известно [5], несущая способность грунтовых оснований обусловлена наличием в грунтовом массиве сил трения и сцепления, определяемых формулой Кулона

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C ,$$

где τ – касательные напряжения в грунте, обеспечивающие его прочность и устойчивость; σ – нормальные напряжения в грунте, обусловленные весом; φ – угол внутреннего трения; C – сцепление в грунте.

При подтоплении вследствие действия сил взвешивания уменьшается нормальное напряжение и соответственно силы трения, а при наличии в грунтах глинистых включений уменьшается и сила сцепления.

Динамику обрушения крупнообломочных скальных насыпей на береговых склонах можно проиллюстрировать следующей схемой (рис. 5).

Скальные массивы сохраняют устойчивость за счет трения на контакте между отдельными камнями (обломками). При подтоплении откоса возникают силы взвешивания W , которые уменьшают вертикальную нагрузку G . При выполнении условия

$$P > (G - W) \operatorname{tg} \varphi ,$$

происходит разрушение каменного откоса.

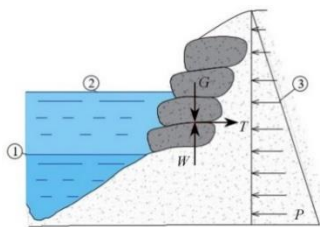


Рис. 5. Схема потери устойчивости склоновых крупнообломочных насыпей при подтоплении:

1 – исходный уровень воды; 2 – уровень заполнения в водохранилище; 3 – эпюра бокового давления грунтов; G – вертикальная нагрузка на контакте отдельных камней; T – сила трения на контакте; P – боковое давление грунта; W – сила взвешивания

Для изучения влияния архимедовых сил взвешивания и последующего уплотнения (переукладки) грунтовых частиц в гидротехнической лаборатории ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова были выполнены экспериментальные исследования. В лотке с прозрачными стенками формировалась насыпь, моделировавшая грунтовую плотину из различных материалов (камень, щебень, дресва). Схема и фотография установки приведены на рис. 6.

Заполнение установки проводилось из нижней части без формирования волн и значительных скоростей течения у грунтовой дамбы. Подтопление проводилось в два этапа.

1 этап – подъем уровня воды на 25 мм. Прозрачные стенки позволяли наблюдать процесс заполнения порового пространства и подъема уровня воды в грунте. Наблюдалось оплывание откосов, вынос мелких фракций из тела дамбы. Помимо этого, наблюдалось смещение мелких частиц вниз и переукладка (уплотнение структуры) более крупных частиц. Все это привело к просадке всего объема дамбы (рис. 7).

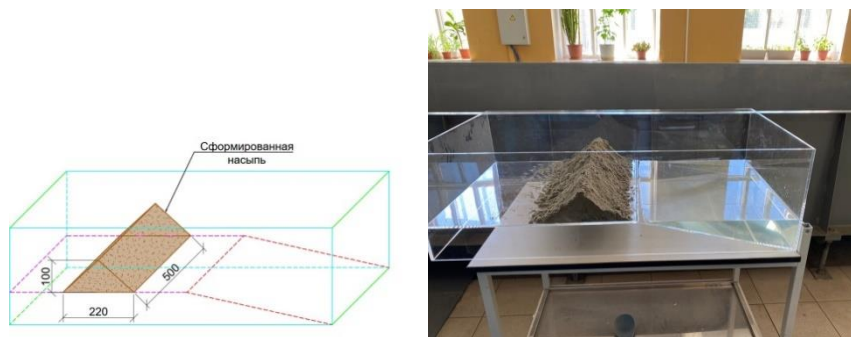


Рис. 6. Схема и фотография лабораторной установки (размеры в мм) до начала эксперимента

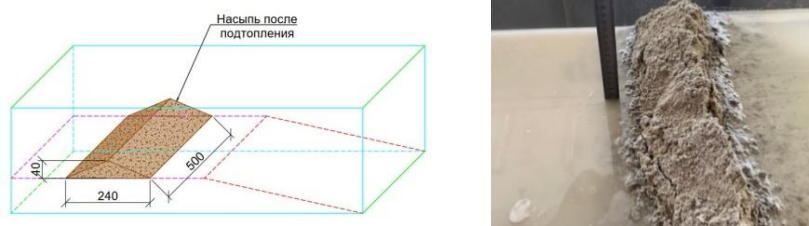


Рис. 7. Дамба после подтопления

2 этап – после окончания первичной просадки дамбы уровень воды был поднят до 40 мм. Деформации дамбы возобновились, и через некоторое время произошел прорыв потока в месте примыкания дамбы к стенке установки (рис 8).

В задачу исследований входило установление закономерностей и причин просадки каменных насыпей, которые наблюдаются при заполнении водохранилищ.

Просадки наблюдались в основном на верховом (напорном) откосе каменно-земляной плотины, в верховой упорной призме. Причиной просадок являлось нарушение контактов между частицами грунта при замачивании. При этом разрушения самих частиц не происходило, происходило только смещение и переупаковка частиц грунтового материала.

Как показали измерения плотности грунта дамбы в лабораторной установке, перед поступлением воды в лоток плотность укладки материала дамбы составляла $1,60 \text{ г/см}^3$, после подтопления плотность грунта составила $1,83 \text{ г/см}^3$.



Рис. 8. Прорыв дамбы с выносом грунта

Таким образом, опыт показал, что подъем воды и насыщение ею грунта дамбы вызывает перемещение частиц грунта. Насыпной грунт искусственной или природной насыпи имеет, как правило, потенциально неустойчивую структуру. При возникновении дополнительных сил, в частности, взвешивающих архимедовых сил, такие структуры деформируются или разрушаются, происходит их переукладка с формированием более плотной структуры. При наличии фильтрационных потоков со значительными скоростями движения воды возможно не только вертикальное смещение, но и

горизонтальные деформации (такие деформации наблюдаются при устройстве песчаных насыпей под дорожное полотно).

Лабораторные исследования, а также натурные наблюдения показывают, что причины оплывания и обрушения береговых откосов – это результат действия, в том числе, архимедовых сил взвешивания. При действии сил взвешивания на подтопленную часть берегового откоса изменяется напряжение в грунте, уменьшается трение в песчаных, скальных и крупнообломочных породах, происходит разжижение грунта, такое же, как и при динамических воздействиях.

Литература

1. Ходзе, Кодзи. Анализ причин аварий земляных плотин и методы контроля за фильтрацией / Кодзи Ходзе // ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, перевод № 1765. – Л., 1982. – 52 с.

2. Моргунов, К. П. Проблемы разжижения грунтов в основаниях гидротехнических сооружений / К. П. Моргунов, М. А. Колосов // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 201–210.

3. Колосов, М. А. О причинах просадки основания строящейся Загорской ГАЭС-2 / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, П. П. Чинаков // Фундаменты. – 2022. – № 1. – С. 38–39.

4. Колосов, М. А. О причинах прорывов напорного фронта в плотине Белопорожского гидроузла / М. А. Колосов, П. П. Чинаков, М. И. Заворовский, А. Ю. Симкин, А. С. Поздеев // Гидротехника. – 2022. – № 1. – С. 42–45.

5. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. – Москва: Высшая школа, 1985. – 352 с.

УДК 726

Туркменское озеро «Алтын Асыр» в Туркменистане – грандиозный гидротехнический проект

Мыратбердиев Я., Джумадурдыев Т.

*Туркменский государственный архитектурно-строительный институт,
Ашгабат, Туркменистан.*

Туркменское озеро «Алтын Асыр» – грандиозный эко гидротехнический проект, направленный на оздоровление окружающей среды, рациональное использование водных и земельных ресурсов. Суть проекта – создание единой системы коллекторов для целенаправленного сбора дренажных вод с орошаемых земель во всех регионах страны и отвода их в гигантскую естественную впадину Гарашир на северо-западе Туркменистана.

Туркменские ученые и специалисты в целях дальнейшего применения в сельском хозяйстве, тщательно изучат точные объемы и качество собираемой в туркменском озере «Алтын Асыр» воды, а также особенности выращиваемых в этом регионе сельскохозяйственных культур. Также специалисты подробно изучают вопрос, связанный с созданием вблизи туркменского озера «Алтын Асыр» дайханских объединений. Они уделяют основное внимание возможностям выращивания овощей и фруктов, налаживания рыбоводства и верблюдоводства около озера. Ученые и специалисты также подготовят научные предложения по эффективному использованию собранной в озере воды [1–2].

Проблема засоления орошаемых земель и отвода дренажных вод встречается во всех странах, расположенных в аридной зоне. Эта проблема решается по-разному в каждой стране. В одних странах сточные воды сбрасываются в естественные бассейны, в других – в реки и моря. Во многих странах Центральной Азии данная проблема также является одной из наиболее острых [3–4].

На территории Туркменистана эту функцию выполняли естественные бассейны различных уровней в пустыне Каракумы и река Амударья. Водоприемником сточных вод, переброшенных из Мары, Теджена и предгорий Копетдага, служили природные бассейны Центральных Каракумов.

В целях предотвращения негативных обстоятельств возникновения дренажных соленых вод был принят грандиозный проект по созданию Туркменского озера «Алтын Асыр».

Основной целью строительства этого масштабного уникального объекта является предотвращение неблагоприятных условий, вызванных большим количеством дренажных соленых вод, выбрасываемых с орошаемых сельскохозяйственных угодий страны путем разработки направлений и методов их переработки. Новый объект предназначен для сбора и отвода дренажных вод в определенное место за пределами территории велаятов Туркменистана. Территорией для скапливания воды выступает природный котлован Гарашор, расположенного на северо-западе страны [3–4].

Создание Туркменского озера «Алтын Асыр» позволит решить следующие задачи:

- предупредит выброс дренажных вод с левого побережья р. Амударья;
- улучшит водоснабжение для социально-хозяйственных нужд и санитарные условия населения, проживающего в низовьях реки Амударья;
- снизится уровень воды в соленых руслах Колли и Дерьялык, улучшится мелиоративное состояние орошаемых земель в Дашогузском велаяте;
- будет предотвращено затопление пастбищ в Каракумах и повторно введены в оборот 4000 км² пустынных пастбищ;

– поможет собрать воду с орошаемых земель Лебапского, Марыйского, Ахалского и Балканского велаятов в бассейн Баш-Шор Туркменского озера «Алтын Асыр» и направить ее в бассейн Гарашор;

– создаст запасы водных ресурсов и позволит ввести в сельскохозяйственный оборот новые земли.

Также Туркменское озеро сыграет важную роль в решении и совершенствовании важных экологических проблем, связанных с засолением почв, загрязнением водных богатств, подъемом уровня грунтовых вод и затоплением орошаемых земель и пустынных пастбищ [3].

Строительство рассчитано на три этапа. Строительство Туркменского озера началось в 2000 году. К 2008 году был построен Дашогузский ввод длиной 385 километров. Также были построены плотина протяженностью 600 метров и 22-километровая дамба. От места слияния двух коллекторов до впадины Карашор идет 74-километровое русло. Ведутся работы на подводящих коллекторах Мургабского, Тедженского и Джарского сбросах. Первая очередь была введена в эксплуатацию в 2009 году. По завершении строительства второй и третьей очереди в Туркмении будет создана единая дренажная система. Строительство этого озера предназначено только для отвода коллекторно-дренажных вод и ни в коем случае не построено для забора воды из реки Амударья и других источников орошения. Туркменское озеро «Алтын Асыр» – уникальное чудо, образовавшееся в Каракумах – в самой большой пустыне на азиатском континенте. О его важных особенностях наглядно свидетельствуют следующие данные: Туркменское озеро «Алтын Асыр» в природном бассейне Гарашор имеет длину 103 километра, ширину 18,6 километра, среднюю глубину 69 метров, объем 132 кубических километра или 132 миллиарда кубических метров, а общая площадь составляет 1915,8 квадратных километров [3].

Магистральный водоотвод соленой воды озера «Алтын-Асыр» общей протяженностью 720 километров собирает воду с орошаемых территорий Лебапского, Марыйского, Ахалского и Балканского велаятов и перебрасывает их в озеро, при котором объем воды составляет 30 м³/с. Длина Дашогузского ответвления водоотвода соленой воды, ведущего к озеру, составляет 381 километр, расход воды – 20 м³/с.

Бассейн Гарашор расположен на 28 метров ниже уровня моря. По национальным прогнозам, в настоящее время в бассейне Гарашор находится около 580 миллионов кубометров воды.

С созданием Туркменского озера 100 тысяч гектаров ранее неорошаемых пастбищ будут орошаться по ведущим к нему соленым каналам. Значительно улучшится мелиоративное состояние орошаемых земель, используемых в настоящее время в нашей стране, повысится урожайность сельско-

хозяйственных культур, что окажет большое влияние на экономическое положение хозяйств. Прозрачная вода искусственного озера, созданного в пустыне, станет комфортным приютом для птиц, пролетающих через нашу страну из дальних мест, некоторые из них перезимуют здесь. Флора и фауна вокруг озера кардинально изменятся. Возобновится жизнь населения, которое несколько веков назад в связи с изменением русла Амударьи, было переселено вследствие опустынивания древнего Узбоя. В древнем Узбое будут построены новые села и пастбища. Туркменское озеро «Алтын Асыр» станет местом посещения. В этих степях будут пастись миллионы животных [3]. Вокруг озера будут посажены тенистые фруктовые сады, посажены тысячи гектаров кормовой травы, придавая пустыне новый колорит и новый вид.

Пустыня Каракумы превратится в цветник, в сад. Не только нынешнее поколение туркмен, но и будущие поколения будут благодарны Глубокоуважаемому Президенту за эту огромную работу во благо народа. В ближайшее время рядом с озером будет построен новый поселок. Поселок будет занимать 68,8 гектаров площади. Строительство поселка будет осуществляться в два этапа: на первом этапе будут построены коттеджные дома на 104 семьи, школа на 320 мест, детский сад на 160 мест, Дом здоровья, торговый центр, Дом быта и парк. На втором этапе будет построено 108 жилых домов, предназначенных для семей. В новом поселке будут проведены 160-километровый электропровод и 125-километровый газопровод. В новом поселке будет установлено современное оборудование для телерадиосвязи и других систем связи. Новый крупномасштабный социально-промышленный комплекс и Туркменское озеро являются взаимодополняющими объектами в этом регионе, согласно разработанному плану, социально-промышленный комплекс будет построен в две очереди, первая очередь – в период с 2019 по 2022 год, вторая очередь будет построена и введена в эксплуатацию в период с 2022 по 2025 годы [3].

Значение Туркменского озера состоит главным образом в следующем:

- коренным образом улучшится мелиорация засоленных земель;
- повысится общая урожайность земель;
- будет реализована программа создания продовольственного изобилия и его экспорта;
- будет развиваться рыбное хозяйство;
- вокруг Туркменского озера и вдоль его соленых каналов будут построены села, поселки, города, предприятия, а вода будет использоваться для различных целей;
- вода озера при необходимости будет опресняться с помощью различного современного оборудования, и использоваться для полива сельскохозяйственных культур и в качестве питьевой воды;

– понизит уровень воды в бассейнах Колли и Дерьялык соответственно на 1–1,2 метра;

– улучшит водоснабжение и растительный покров на 1,3 миллионов гектаров пастбищ;

– Туркменское озеро благотворно повлияет на окружающую среду, температура воздуха вокруг озера летом несколько снизится, а зимой повысится, что уменьшит негативное влияние минусовых температур летом и сильных холодов зимой;

– состояние орошаемых земель при всех условиях на территории Туркменистана значительно улучшится;

– животноводство в стране резко возрастет, наша природа станет красивой, флора и фауна обогатятся.

Растительный мир. На обширном пространстве, примыкающем к Туркменскому озеру и руслу его главных коллекторов, проложивших свой маршрут по территории велаятов страны, произрастает около 400 видов высших растений. Многообразие травяного покрова Карашорской впадины и примыкающей к ней территории весной представлено более 150 видами [3; 5].

Пустынная флора в большинстве своем представлена древесно-кустарниковыми, кустарниковыми и с мелкокустарниковыми растениями. В зонах более благоприятными для роста растений условиями сформировались рощи саксаула, кандыма, эфедра, солянка Рихтера, гребенщик.

Уникальный растительный мир – настоящее украшение пустыни, ее подлинное богатство, особенно если учесть высокий уровень сезонной амплитуды температур. В летний зной столбик термометра обычно поднимается до отметки 45–47 °С, песок же раскаляется до опасной для живых организмов шкалы – 80 °С. Чаще всего саксаул произрастает вблизи русел коллекторных протоков. Ярким примером такого биологического симбиоза служат густые заросли карагача высотой до 4–5 м на участках Таримгая [3, 5].

Животный мир. В районе Туркменского озера и вдоль его коллекторов встречаются 250 видов птиц и 50 видов млекопитающих, а в водах водятся 15 видов рыб. Рядом располагается Капланкырский заповедник. Скопление у истока современных коллекторных протоков дренажных вод обусловило существенное увеличение зеркальной поверхности некоторых водных бассейнов, вобравших в себя новые обводненные низины и впадины. Образовавшаяся система больших и малых озер и прилегающие к ним территории стали местом обитания различных позвоночных животных (рыб, земноводных, птиц и млекопитающих).

Учеными Национального института пустынь, растительного и животного мира проведена работа по исследованию видового разнообразия и распространения позвоночных животных, обитающих в акватории Туркмен-

ского озера, Дашогузского и основных его коллекторных протоков и прилегающих к ним территориях. Результаты последних исследований показали, что в настоящее время биоразнообразии экосистемы Туркменского озера и его главных коллекторов представлено 264 видами птиц, 50 видами млекопитающих, 15 видами рыб.

Географически акватория впадины Карашор вместе с озерами, прилегающими к руслу основных коллекторных протоков, располагается на пересечении миграционных маршрутов многочисленных птичьих стай, совершающих сезонные перелеты в южные края на зимовку и обратно в Сибирь – места весеннего гнездовья. В период массовой миграции 77 видов водно-болотных птиц останавливаются на отдых в обводненных низинах Зенгибаба и Узыншора. Это позволяет утверждать, что уже в скором времени экосистема Туркменского озера «Алтын Асыр» и прилегающих к нему озер и протоков станет ареалом гусей, лебедей, уток, пеликанов, бакланов, чаек, крачек и других птиц [3; 5].

Таким образом, ввод в эксплуатацию Туркменского озера способствует распространению на прилегающей к нему территории водно-болотных птиц, десятков новых видов рыб, в том числе промысловых, земноводных, а также ярких представителей семейства млекопитающих – дикого кабана и волка. Местность, прилегающая к водным артериям, станет местом обитания для вновь формирующихся популяций джейранов и куланов, будет увеличиваться численность популяции устюртского барана. Дальнейшее успешное освоение региона будет также способствовать распространению синантропных видов позвоночных животных [3; 5].

В будущем предполагается, что создание озера позволит предотвратить затопление низин на площади 4060 км². Существует возможность извлекать соли из воды при ее очистке и опреснении, которые могут быть ценным сырьем. Также появляются возможности развития рыбного хозяйства.

Туркменистан уделяет особое внимание сотрудничеству с международными организациями в этой сфере. Ведь эффективное управление водными ресурсами является важной частью сотрудничества с Организацией Объединенных Наций в достижении Целей Устойчивого Развития, которые неотлагательно используются при разработке Национальных целей развития Туркменистана. Таким образом, с помощью чуда туркменского народа в центре Каракумов на опустошенных местах будет создан новый оазис.

Литература

1. Gurbanguly, Berdimuhamedow. Türkmenistan Durnukly ösüşin maksatlaryna ýetmegiň ýolunda / Gurbanguly Berdimuhamedow. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2018.

2. Gurbanguly, Berdimuhamedow. Garaşsyzlyk-bagtymyz / Berdimuhamedow Gurbanguly. – А.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2021.

3. Сапаров, У. Б. Туркменское озеро в пустыне Каракумы / У. Б. Сапаров, В. Г. Голубченко. – А.: Туркменгосиздат, 2020.

4. Hojamyradow, G. Suwarmaguy esaslary / G. Hojamyradow. A. Mämmedow. – А.: Magaryf, 2004.

5. Бабаев, А. Г. Преобразование пустынь и опустынивание / А. Г. Бабаев, – А.: Туркменгосиздат. 2012.

УДК 532.543

О гидродинамической аварии при прорыве плотины в условиях высокогорья

Стриганова М. Ю.¹, Дмитриченко А. С.², Шаталов И. М.³,
Щербакова М. К.³

¹ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси»,

²УО «Белорусский государственный технологический университет»,

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Предложено использование конечно-разностного метода интегрирования дифференциальных уравнений (метода характеристических уравнений С. А. Христиановича) для неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения в условиях высокогорья при прорыве плотины. Приводятся результаты предварительных гидравлических исследований волны перемещения, которые подтвердили ранее проведенные теоретические исследования

Причинами разрушения грунтовых плотин являются: сейсмические воздействия на сооружения; подпорный уровень воды, превышающий расчетную величину; аварийное состояние сооружения и др.

Сценарии развития гидродинамической аварии различны. Возможно нарушение целостности подпорного сооружения (образование прорана) в теле плотины, размеры которого существенно меньше общей длины напорного фронта и меньше или равны высоте сооружения, или полное его разрушение. В результате данной чрезвычайной ситуации возникают волны перемещения, определение основных параметров которых (скорости, глубины потока) является весьма актуальной задачей.

При развитии любого сценария аварии происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором расход воды при распространении потока по нижнему бьефу грунтовой плотины уменьшается в

начальном и увеличивается в конечном створе. Для определения основных параметров такого потока были проведены теоретические и лабораторные исследования в гидродинамическом лотке.

Тестовым объектом исследования было выбрано Тахтакорпюнское водохранилище на территории Азербайджана, созданное одной из наиболее высоких земляных плотин не только в регионе, но и в Европе. Располагается данное сооружение на высоте около 140 м над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 км (рис. 1).



Рис. 1. Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

Теоретическое решение задачи об определении основных параметров волны перемещения, как правило, заключается в интегрировании системы двух уравнений: уравнения баланса расхода (т. е. уравнения неразрывности плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле) и уравнения динамического равновесия (т. е. дифференциального уравнения плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле).

Эту систему уравнений можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \\ (i - A Q^2) g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (1)$$

где Q – объемный расход воды, м³/с; ω – площадь живого сечения, м²; v – средняя скорость, м/с; l – длина рассматриваемого участка, м; t – момент времени, с; i – уклон свободной поверхности воды; A – удельное сопротивление русла, с²/м²; AQ^2 – уклон трения $i_{тр}$; B – ширина русла по поверхности потока, м; α_0 – коэффициент Буссинеска; α – коэффициент Кориолиса.

Для решения системы уравнений (1) в практических задачах при определении основных параметров неустановившегося плавно изменяющегося движения воды в условиях высокогорья в виде волны перемещения прямой или обратной, положительной или отрицательной наиболее применим метод конечных приращений.

В результате решения системы уравнений (1) в конечных разностях уравнение динамического равновесия примет вид:

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \alpha_0 \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \alpha \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}, \quad (2)$$

при $\alpha = \alpha_0 = 1$

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta l} - \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \bar{v} \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta l}. \quad (3)$$

В свою очередь уравнение баланса расхода (или уравнение неразрывности) потока жидкости в открытом русле системы (1) в конечных приращениях принимает вид

$$-\frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta l} - \frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t} = 0. \quad (4)$$

Уравнения (2), (3) и (4) позволяют найти параметры h и v неустановившегося потока в любой отрезок времени Δt и в любых сечениях этого потока, а также построить кривую свободной поверхности волны перемещения (прямой и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения. Были выбраны критерии геометрического и динамического подобия, равенство которых для природы и модели обеспечивает возможность пересчета полученных экспериментальных значений исследуемых параметров потоков для натуральных условий.

Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямом точном гидравлическом лотке шириной 332

0,245 м с прозрачными стенками (рис. 2). Поток снимали неподвижной камерой.

Для определения основных параметров потока, движущегося в нижнем бьефе сооружения, была разработана методика проведения лабораторных исследований.

Эксперименты были проведены при различных временных интервалах подъема затвора 1 (от 2 до 15 с или мгновенно), что соответствовало различным сценариям разрушения плотины: от возникновения прорана вдоль основания плотины до полного ее исчезновения.

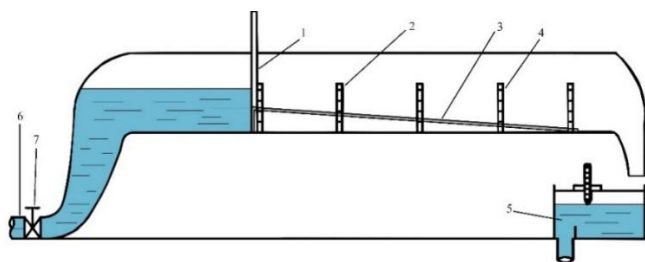


Рис. 2. Схема экспериментального лабораторного стенда:

- 1 – подвижный затвор; 2 – уровневые рейки (мерные линейки);
3 – модель сухого русла; 4 – гидравлический лоток; 5 – металлический лоток с водосливом Томсона; 6 – питающая труба; 7 – задвижка

Всего было проведено шесть серий экспериментов с пятикратным повторением каждой серии. Далее была проведена обработка результатов измерений и наблюдений, для того чтобы в дальнейшем провести сопоставление с результатами теоретических расчетов и уточнить количественные значения полученных параметров. По результатам были построены графики зависимостей $h = f(T)$, что соответствовало изменению глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени движения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора (рис. 3).

Видеонаблюдение и анализ построенных графиков показывает, что в начальный момент времени перемещения потока воды на участке, расположенном на некотором расстоянии от подвижного затвора, происходит довольно резкое увеличение глубины (и, соответственно, массы или расхода) вытекающего потока воды (рис. 3, *a–d*). Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины h и увеличением средней скорости v потока (рис. 4). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора 1 (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая

положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока (рис. 3, *e*).

При движении по наклонной поверхности (горному склону) поток всегда находится в бурном состоянии, а волна перемещения обладает максимальной скоростью и огромной разрушительной способностью (рис. 4). Далее, достигнув горизонтальной плоскости в гидродинамическом лотке, поток переходит в спокойное состояние; при этом появляется обратная положительная волна (рис. 6), у которой глубина увеличивается, что в натуральных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне (рис. 5).

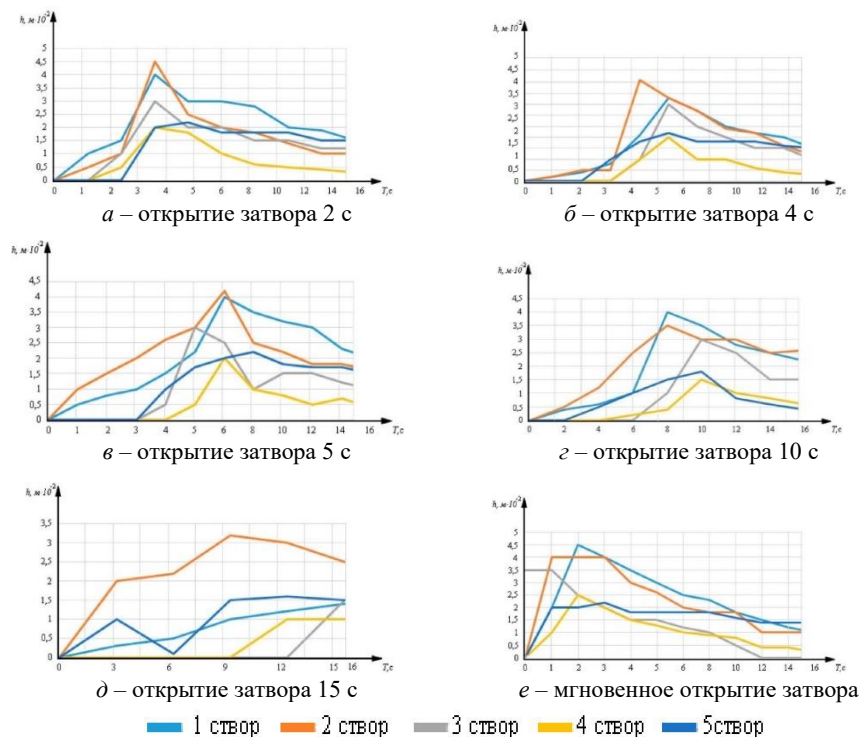


Рис. 3. График изменения глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

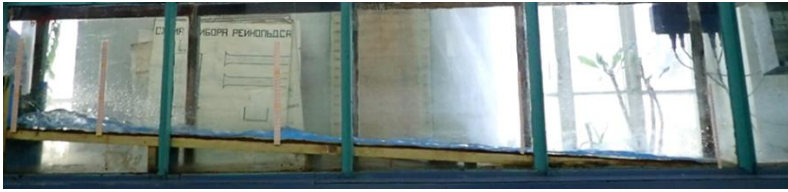


Рис. 4. Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора

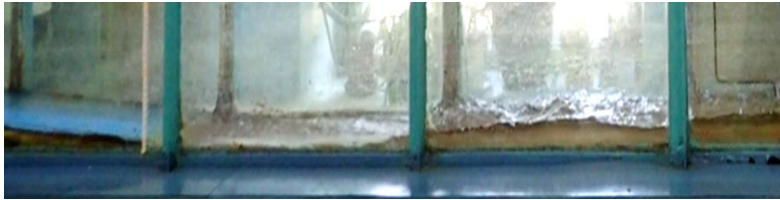


Рис. 5. Общий вид обратной волны

Экспериментальная модель движения волны перемещения визуально подтвердила рассмотренные ранее теоретические исследования [1] об имеющей место прямой отрицательной волне при протекании потока по наклонному склону вследствие опорожнения водохранилища и обратной положительной волне ниже склона вследствие торможения потока. Однако при мгновенном открытии подвижного затвора (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования и полученные результаты позволяют оценить изменения основных гидравлических параметров (скорость и глубина) волны перемещения в зависимости от времени развития прорана. Полученные данные будут использованы для оценки и расчета возможных зон разрушения и затопления прилегающей к водохранилищу территории.

Литература

1. Стриганова, М. Ю. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины / М. Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 328–334. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. – EDN: ВВННОВ.

О модернизации поворотного участка пульпопровода землесосного снаряда

Хвитько К. В., Качанов И. В., Шаталов И. М., Кособуцкий А. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье представлены результаты компьютерного моделирования поворотного участка нагнетательной трубы землесосного снаряда с различной формой поперечного сечения и выбрана оптимальная, овальная форма поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы.

В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется около 30 земснарядов, которые постоянно сталкиваются с проблемой низкой производительности и энергоэффективности из-за износа и существенного увеличения гидравлического сопротивления нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда, особенно его фасонных элементов. К фасонным элементам обычно относят: переходники, тройники и поворотные участки нагнетательной трубы (рис. 1) [1].



Рис. 1. Земснаряд для дноуглубительных работ и добычи речного песка с поворотным участком пульпопровода

На кафедре ГЭСВТГ БНТУ был разработан инновационный отечественный способ повышения производительности и энергоэффективности земснаряда путем улучшения гидродинамики перекачиваемой пульпы различного гранулометрического состава на поворотных участках пульпопровода, применяя на этих участках овальную форму поперечного сечения трубы пульпопровода (рис. 2).

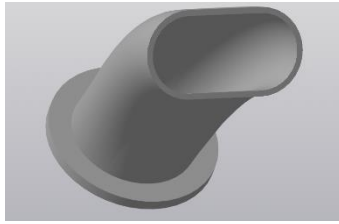


Рис. 2. 3D-модель предложенной (овальной) формы поперечного сечения поворотного участка

Использование овальной формы поперечного сечения трубы пульпопровода на поворотных участках позволит существенно (примерно в 1,5 раза) снизить гидравлическое сопротивление поворотного участка (колена) пульпопровода и потери механической энергии (напора) при перекачке пульпы, что в свою очередь приведет к увеличению производительности и энергоэффективности работы земснаряда в целом на 20–30 %, а также попутно и снижению абразивного износа.

Для проверки теоретических предположений о гидродинамике перекачиваемой жидкости на поворотных участках нагнетательной трубы земснаряда, на кафедре ГЭСВТГ БНТУ было проведено компьютерное моделирование этих участков (колена с углом поворота на 90°) с различными поперечными сечениями: круглой, прямоугольной и овальной.

Компьютерное моделирование поворотных участков и разработка их твердотельной модели проводились в прикладном программном пакете «Solid Works», а моделирование течения несжимаемой вязкой жидкости в поворотных участках нагнетательной трубы было проведено на базе математического пакета «Cosmos Fleo Works».

Для проведения компьютерного моделирования течения рабочей жидкости внутри проточной части с различной формой поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы, была создана обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса.

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p = \frac{d\vec{u}}{dt} - \nu \nabla^2 \vec{u}.$$

Совместно с уравнением Навье-Стокса рассматривалось уравнение неразрывности в виде

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0.$$

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 3–5.

Круглое поперечное сечение

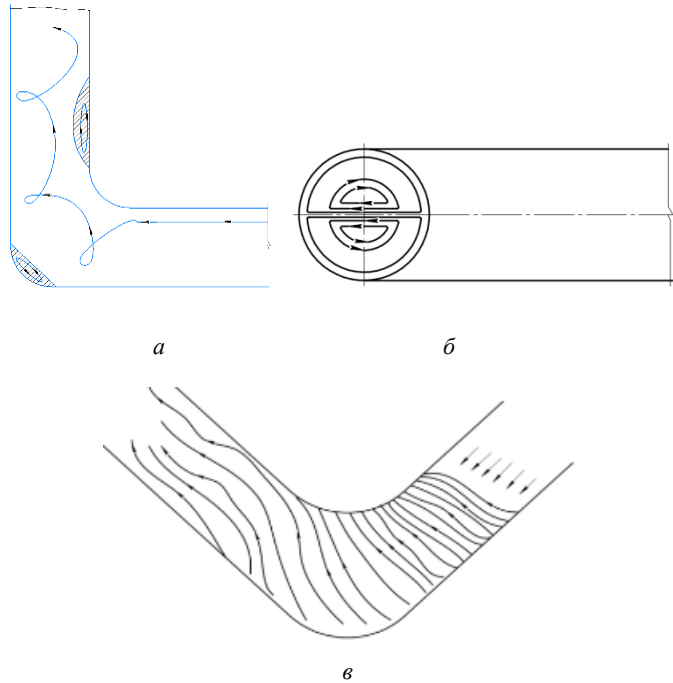


Рис. 3. Схема формирования «парного вихря» в круглом поперечном сечении трубы земснаряда:
a – образование продольного вихревого течения на поворотном участке круглого поперечного сечения; *б* – «парный вихрь» в колене круглого поперечного сечения;
в – абсолютные линии тока в колене круглого поперечного сечения

Прямоугольное поперечное сечение

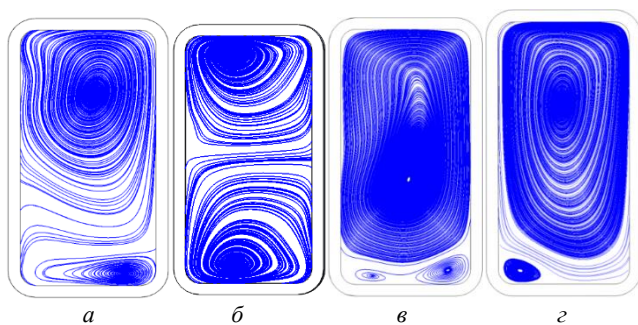


Рис. 4. Схема формирования «парного вихря» в прямоугольном поперечном сечении трубы земснаряда:
a – на входе в колено; *б* – в наивысшей точке;
в – на выходе из колена; *г* – в отводящей трубе

Овальное поперечное сечение

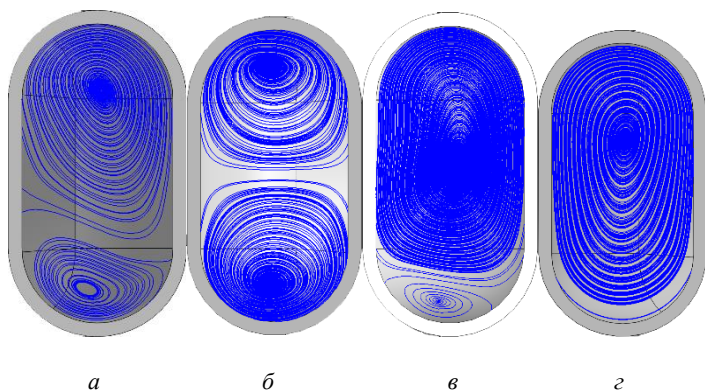


Рис. 5. Схема формирования «парного вихря» в овальном поперечном сечении трубы земснаряда:
a – на входе в колено; *б* – в наивысшей точке;
в – на выходе из колена; *г* – в отводящей трубе

Компьютерное моделирование показало, что на поворотном участке трубы (колена с углом поворота 90°) появляются продольное винтовое течение и поперечное винтовое течение в виде «парного вихря», которые существенно увеличивают гидравлическое сопротивление этого участка и, как следствие, его износ. Кроме этого на величину гидравлического сопротивления колена трубы серьезное влияние оказывает форма его поперечного сечения [2; 3].

В колене круглого поперечного сечения «парный вихрь», как показало компьютерное моделирование, имеет форму двух сплюснутых круговых поверхностей с большой площадью поверхности контакта (рис. 3, 4), что может привести к увеличению гидравлического сопротивления колена в целом. К тому же такой «парный вихрь» имеет значительный по величине момент инерции, который также оказывает существенное влияние на величину потерь механической энергии на поворотном участке нагнетательной трубы земснаряда.

В колене прямоугольного поперечного сечения с соотношением сторон меньшей к большей 1:2, причем большая сторона направлена по нормали к оси кривизны колена, как и в колене круглого сечения происходит постепенное формирование «парного вихря» от входа, к наивысшей точке и к выходу (рис. 4).

Но в этом случае две части «парного вихря» вытягиваются вдоль большей оси прямоугольного сечения и площадь поверхности их контакта значительно уменьшается (в 1,2–1,3 раза), что может привести к снижению гидравлического сопротивления.

Однако, компьютерное моделирование показало, что прямоугольная форма поперечного сечения не является оптимальной, так как у «парного вихря» сохраняется плоскость контакта вихрей и в углах прямоугольного сечения появляются локальные вихревые течения. К тому же сохраняется довольно большое значение момента инерции «парного вихря».

Анализ результатов компьютерного моделирования колен с круглым и прямоугольным поперечным сечением показал, что минимальным моментом инерции обладает круговое сечение вихря, к тому же круговое сечение имеет не плоскость, а линию контакта вихрей, что в свою очередь может привести к снижению гидравлического сопротивления колена в целом.

Обобщая вышеизложенное, можно прийти к выводу, что основной формой поперечного сечения может быть выбрана овальная форма с соотношением меньшей оси к большей 1:2 (как у прямоугольной), причем большая ось овала направлена по нормали к оси кривизны колена.

Компьютерное моделирование такого колена показало, что соотношение малой и большой осей 1:2 не является оптимальным, так как «парный

вихрь» сохраняет ярко выраженную сплюснутую форму (рис. 5). Это явление можно полностью или почти полностью устранить, увеличив соотношение осей овала до 1:3 или 1:4, сохраняя направление большей оси по нормали к оси кривизны колена. Следует отметить, что у овальной формы поперечного сечения отсутствуют угловые локальные вихревые течения, что является преимуществом по сравнению с прямоугольным сечением.

К тому же применение овальных сечений с соотношением малой к большей осей 1:3 или 1:4 позволит придать «парному вихрю» круговую форму с минимальным моментом инерции и линией (а не плоскостью) контакта «парного вихря», что позволит снизить гидравлическое сопротивление от 1,5 до 2 раз по нашему предположению.

Сравнительный анализ результатов проведенного компьютерного моделирования показал, что наиболее оптимальной формой поперечного сечения поворотного участка (колена) нагнетательной трубы земснаряда с углом поворота 90° является овальная форма с соотношением малой и большой осей 1:3 или 1:4, причем большая ось кривизны должна быть направлена по нормали вдоль оси кривизны колена.

Литература

1. Шкундин, Б. М. Землесосные снаряды: учебн. пособие / Б. М. Шкундин. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.
2. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И. В. Качанов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2. – С. 156–164.
3. Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах промышленного и гражданского назначения / И. В. Качанов [и др.] // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сборник докладов XIX Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17 марта 2017 г.: в 3 т. / Тюменский государственный университет; редкол.: А. Б. Храмцов (отв. ред.) [и др.]. – Тюмень, 2017. – Т. 1. – С. 59–64.

Расчет конструктивных размеров, текущий и капитальный ремонт ремонтпригодной водозаборной скважины с последовательным соединением фильтров

Ивашечкин В. В., Чиникайло А. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведен расчет конструктивных размеров фильтра скважины с последовательным соединением фильтров, описаны текущий и капитальный ремонт.

Как показывает практика водозаборные скважины типовых конструкций недостаточно ремонтпригодны при проведении капитальных ремонтов по извлечению фильтров и их замене. Необходимость в замене фильтра возникает не только при его разрушении, но и при сильном кольматаже, когда он не поддается регенерации. Эксплуатация такой скважины является экономически невыгодной, так как здесь происходит значительное снижение динамического уровня, рост геометрического напора насоса и повышение энергозатрат на подъем воды. В БНТУ предложена конструкция ремонтпригодной скважины с составным фильтром, устанавливаемым вместе с надфильтровой трубой в скважине «впотай» на гравийном сальнике. Составной фильтр состоит двух последовательно соединенных фильтров, нижний из которых имеет наружный диаметр меньше внутреннего диаметра верхнего фильтра, что позволяет извлекать при капитальном ремонте сначала нижний фильтр через верхний, затем надфильтровую трубу и потом верхний фильтр, что повышает успешность ремонтных работ [1].

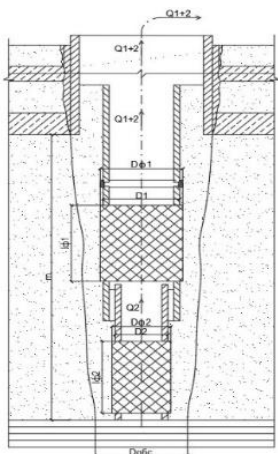


Рис. Расчетная схема ремонтпригодной скважины

Расчет конструктивных размеров фильтра водозаборной скважины. Фильтры принимаем с дополнительной водопримной поверхностью на трубчатых дырчатых каркасах с общей гравийной обсыпкой (рис.).

Пусть верхний фильтр имеет наружный диаметр $D_{\phi 1}$ и длину рабочей части $l_{\phi 1}$, соответственно нижний фильтр – $D_{\phi 2}$ и $l_{\phi 2}$. Обозначим наружный диаметр обсыпки $D_{\text{обс}}$. Так как составной фильтр имеет общую гравийную обсыпку, он относится к гравийным фильтрам, его длина $l_{\phi} = l_{\phi 1} + l_{\phi 2}$.

Длину фильтров ремонтпригодной водозаборной скважины определим из формулы

$$Q_c = F_{\text{обс}} \vartheta_{\phi}, \quad (1)$$

где Q_c – проектная производительность скважины, м³/сут; $F_{\text{обс}}$ – площадь поверхности гравийного фильтра по наружному диаметру гравийной обсыпки $F_{\text{обс}} = \pi D_{\text{обс}} l_{\text{обс}}$, м; ϑ_{ϕ} – допустимая скорость фильтрации, ограниченная явлением суффозии, м/сут.

Так как в скважине фильтры имеют рыхлую обсыпку для расчета допустимой скорости ϑ_{ϕ} используем формулу С. В. Избаша и Л. И. Козловой

$$\vartheta_{\phi} = 1000k \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2, \quad (2)$$

где k – коэффициент фильтрации пород пласта, м/сут; d_{50} и D_{50} – средние диаметры соответственно частиц пород пласта и гравийной обсыпки, вес которых обсыпке составляет 50 %.

Подбор материала для песчано-гравийной обсыпки производят из значения коэффициента межслойности [6]

$$D_{50}/d_{50} = 4-6. \quad (3)$$

Это соотношение рекомендуется для однородных пород с коэффициентом неоднородности пород $K_H = d_{60}/d_{10} < 6$, и обеспечивает задержание частиц породы пласта на контуре гравийной обсыпки. Для весьма неоднородных пород ($K_H > 10$) в работе [6] в выражении (3) верхний предел предложено увеличить до 8.

После подстановки (2) в (1), учитывая возможность интенсивного химического зарастания фильтров в процессе эксплуатации [6], получим формулу для расчета рабочей длины l_{ϕ} составного фильтра

$$l_{\phi} = \frac{\alpha Q_c}{1000\pi k \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2}, \quad (4)$$

где α – коэффициент, учитывающий кольтатацию фильтров в процессе эксплуатации.

При отсутствии данных о составе водовмещающих пород допустимую скорость фильтрации ϑ_{ϕ} (м/сут) можно определить по формуле С. К. Абрамова

$$\vartheta_{\phi} = 65\sqrt[3]{k}.$$

В этом случае формула (4) для расчета длины составного фильтра примет вид

$$l_{\phi} = \frac{\alpha Q_c}{65\pi D_{\text{обс}} \sqrt[3]{k}}.$$

Величину коэффициента фильтрации пород пласта при отсутствии фактических данных можно принимать ориентировочно по справочнику [2].

После определения общей длины составного фильтра необходимо привести к стандартным размерам длины верхнего и нижнего участков.

После этого следует предварительно принять диаметры верхнего и нижнего фильтров, которые должны отвечать определенным требованиям:

- при установке фильтра впотай для обеспечения достаточного кольцевого зазора при засыпке гравия внутренний диаметр эксплуатационной колонны должен быть примерно на 100 мм больше наружного диаметра надфильтровой трубы;

- минимальный диаметр каркаса фильтра должен быть не менее 100 мм исходя из удобства проведения ремонтных работ [3];

- оптимальная толщина гравийной обсыпки должна составлять 150–200 мм, минимальная толщина – 60 мм при размере зерен обсыпки до 4 мм [3].

Исходные данные: дебит скважины $Q = 40$ м³/ч, водоносный горизонт представлен мелкозернистыми песками в интервале 100–115 м, в кровле пласта находятся суглинки в интервале 95–100 м, в подошве пласта залегают глины в интервале 115–120 м. Требуется рассчитать размеры водозаборной скважины с составным фильтром.

Расчет. Принимаем эксплуатационную колонну $D273 \times 8$ мм длиной 98 м и внутренним $D257$ мм. Колонну цементируем, вскрываем водоносный горизонт трехшарошечным долотом $D245$ мм и затем расширяем ствол долотом $D394$ мм. Фильтровую колонну предварительно принимаем состоящей из надфильтровой трубы $D159 \times 7$ мм, верхнего фильтра, представляющего собой трубчатый каркас $D159 \times 7$ мм с проволочной обмоткой из нержавеющей стали ($D_{\phi 1} = 174$ мм), нижнего фильтра с трубчатым каркасом

$D_{102} \times 6$ мм и проволоочной обмоткой из нержавеющей стали ($D_{\phi 2} = 117$ мм), отстойника $D_{102} \times 6$ мм длиной 1 м.

Для создания в прифилтровой зоне скважин области минимальных гидравлических сопротивлений, производится песчано-гравийная обсыпка $D_{\text{обс}} = 394$ мм в интервале установки составного фильтра.

В проектируемых скважинах водоносный горизонт представлен песками мелкозернистыми. Преобладающий диаметр зерна $0,25\text{--}0,5$ мм, коэффициент фильтрации $k = 2\text{--}5$ м/сут [5].

Пусть средний диаметр частиц мелкозернистых песков в водоносном горизонте $d_{50} = 0,3$ мм, тогда из соотношения (3) получим

$$D_{50} = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ мм}; \quad D_{50} = 6 \cdot 0,3 = 1,8 \text{ мм}.$$

Следовательно, обсыпка должна быть представлена фракцией размером $1,2\text{--}1,8$ мм.

Тогда ширина щелей в проволоочной обмотке фильтра из условия задержания обсыпки должна быть равна $1,2$ мм.

При заданных параметрах минимальная толщина песчано-гравийной обсыпки должна составлять не менее 60 мм. Для проектируемой скважины минимальная толщина обсыпки составляет 110 мм на сторону $((394 \text{ мм} - 174 \text{ мм}) / 2)$, что обеспечит надежную работу скважины.

Для обсыпки применяются специальные песчано-гравийные смеси, которые должны быть однородными (отсортированными), отмытыми и перед засыпкой продезинфицированными.

Гранулометрический состав обсыпки должен подбираться в зависимости от фактического гранулометрического состава водовмещающих пород. Гранулометрический состав водовмещающих пород определяется с помощью отбора шлама при бурении разведочной скважины методом прямой промывки. Образец засыпаемой обсыпки в количестве 2 кг должен храниться до передачи скважин в эксплуатацию.

Обсыпка фильтровых колонн песчано-гравийной смесью производится через устье скважины в зазор, образованный между стенками эксплуатационных и фильтровых колонн. Для предотвращения расслоения песчано-гравийной обсыпки и образования пробок, загрузка гравия в скважины производится равномерно с двух сторон, интенсивность $10\text{--}20$ кг/сек.

Во всех случаях количество частиц максимального и минимального диаметра в составе обсыпки не должно превышать 10% .

Предварительно длину фильтров получим из выражения (4) при заданном дебите скважины $Q = 40,0 \text{ м}^3/\text{ч} = 960 \text{ м}^3/\text{сут}$, принимая $d_{50} = 0,3$ мм, $D_{50} = 1,5$ мм, $\alpha = 1,5$:

$$l_{\phi} = \frac{1,5 \cdot 960,0}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,394 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,3}{1,5}\right)^2} = 7,27 \text{ м,}$$

где k – коэффициент фильтрации пород пласта, принимаем для мелкозернистого песка – 4 м/сут [5].

С учетом типовых размеров секций фильтров, которые обычно составляют 4,5 м, принимаем две секции. Тогда полная длина составного фильтра будет равна 9,0 м, а длины верхнего и нижнего фильтров назначаем одинаковыми

$$l_{\phi 1} = l_{\phi 2} = l_{\phi} / 2 = 9 / 2 = 4,5 \text{ м.}$$

Технология текущего ремонта. Технология текущего ремонта двухфильтровых водозаборных скважин путем декольматации фильтров реагентным способом предусматривает обработку прифильтровой зоны кислотным реагентом с однократным его вытеснением из ствола в пласт.

Технология включает в себя следующие операции:

1. Спуск в скважину водоподъемных труб эрлифта диаметром 50 мм; установка водоподъемных труб в основании нижнего фильтра; монтаж герметичного оголовка на устье скважины; перекрытие задвижки на межтрубном пространстве.

2. Закачка реагентным насосом требуемого количества реагента с расходом 2–3 л/с в скважину через водоподъемную трубу; закачка в водоподъемную трубу порции воды для вытеснения из нее остаточного реагента; контроль за ходом процесса декольматации прифильтровой зоны путем замера электрического сопротивления жидкости на забое скважины датчиком сопротивлений до стабилизации величины сопротивления.

3. Спуск воздушной трубы эрлифта диаметром 20 мм, предназначенной для подачи сжатого воздуха, внутрь водоподъемной трубы; откачка продуктов реакции эрлифтом.

Технология капитального ремонта. Технология капитального ремонта скважины предусматривает следующие операции:

- удаление песка из отстойника из обеих фильтров эрлифтом;
- спуск многоярусной «груши» для извлечения фильтра;
- обсыпка ловильного инструмента крупным песком;
- захват нижнего фильтра и извлечение его домкратами на дневную поверхность;
- спуск ловильного инструмента на буровых штангах в надфильтровую трубу;

- захват надфильтровой трубы с верхним фильтром и извлечение домкратами их на поверхность;
- выбуривание закольматированной гравийной обсыпки долотом с расширителем;
- спуск в ствол на забой новой фильтровой колонны;
- обсыпка колонны гравием; прокачка скважины эрлифтом.

Литература

1. Ивашечкин, В. В. Ремонтпригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко. – Минск: БНТУ, 2016. – 228 с.
2. Башкатов, Д. Н. Справочник по бурению скважин на воду / Д. Н. Башкатов, С. С. Сулакшин, С. Л. Драхлис, Г. П. Квашнин. – М.: Недра, 1979. – 560 с.
3. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
4. Тесля, В. Г. Обоснование длины и диаметра фильтра при проектировании скважин на воду / В. Г. Тесля // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 10. – С. 32–36.
5. Малоян, А. В. Практические расчеты по бурению скважин на воду / А. В. Малоян, Э. А. Малоян. – М.: Недра, 1969.
6. Алексеев, В. С. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Г. Тесля // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 11. – С. 21–28.
7. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – М.: Недра, 1998. – 387 с.
8. Грикевич, Э. А. Гидравлика водозаборных скважин / Э. А. Грикевич. – М. Недра, 1986. – 231 с.

УДК 627.83

Результаты гидравлических исследований водобросного сооружения Малой ГЭС № 2 на канале Бозсу

Хусанходжаев У. И., Тошходжаев А. У., Галиева Д. Н.,
Холиков М. Б.

Ташкентский архитектурно-строительный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В данной статье рассмотрены проблемы местного размыва в нижнем бьефе гидротехнических сооружений, излагаются результаты экспериментальных исследований по определению глубины местного размывов за

консольным водосбросом на отводящем канале с выдачей рекомендаций по ее концевой конструкции

Опыт эксплуатации сооружений на реках и каналах Узбекистана показывает, что явление местных размывов в нижнем бьефе в той или иной степени наблюдается на подавляющем большинстве действующих сооружений, что требует значительных дополнительных затрат. В некоторых случаях местные размывы могут быть причиной полного разрушения сооружения [1–3]. Если учесть, что в Республике Узбекистан к настоящему времени эксплуатируется свыше 300 крупных и средних гидротехнических сооружений, то данная работа является актуальной на сегодняшний день.

Анализ современного состояния изученности рассматриваемого вопроса показал, что на данном этапе недостаточно полно проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению и формированию местных размывов консольными водосбросами для условий крепления нижнего бьефа. Также недостаточно изучено влияние различных конструктивных решений концевой части консольных водосбросных сооружений на местные размывы для широкого спектра сбрасываемых сооружением расходов воды, что в комплексе и предопределило выбор темы исследования.

Основной целью исследований было изучение местного размыва за консольным водосбросом с выдачей рекомендаций по ее концевой конструкции из условия недопущения размыва дна и откосов отводящего канала.

Решение поставленной задачи было выполнено на пространственной фрагментной гидравлической модели проводимых по правилам гравитационного подобия (по Фруду) в масштабе 1:50 [4; 5]. На модели участок отводящего канала ГЭС № 2 Чирчик-Боссуйского водного тракта в месте его сопряжения с консольным водосбросом был выполнен размываемым. Это было сделано потому, что бетонную облицовку мы условно заменили несвязным материалом. Применение этого способа моделирования базируется на том, что при разрушении бетонной облицовки под воздействием гидродинамических нагрузок, вызванных потоком воды, связь между отдельными частями бетона нарушается, и он превращается в несвязный материал. Учитывая, что толщина бетонной облицовки отводящего канала составляет 20 см (в пересчете на модельные размеры 4 мм), на модели дно и откосы канала выполнялись из несвязного материала крупностью 3–5 мм с удельным весом 2,6 г см³. Это позволило подбирать крепление из условия недопущения размыва облицовки отводящего канала.

Исследования показали, что размеры консольного водосброса обеспечивают пропуск максимального расхода.

Построенные по опытным данным кривые свободной поверхности потока указывают, что перелива воды через стенки не происходит (рис. 1).

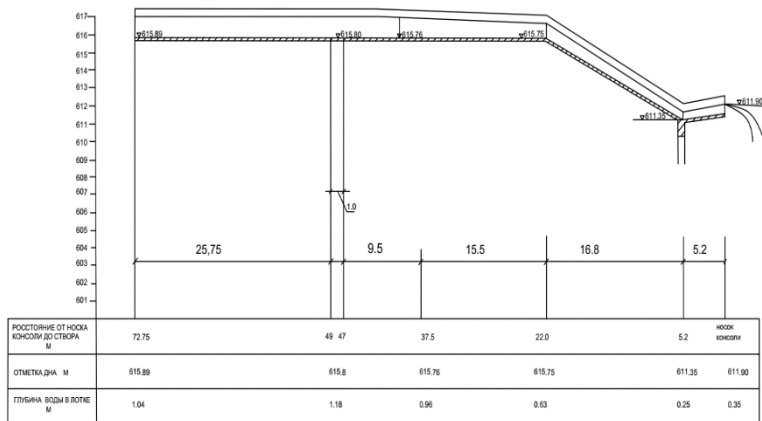


Рис. 1. Кривые свободной поверхности потока воды на отводящем участке канала и консольном водосбросе при расходе воды $Q_{мак} = 70 \text{ м}^3/\text{с}$

Однако, в нижнем бьефе (на участке сопряжения консольного водосброса с отводящим каналом) при пропуске через модель водосброса расходов воды $Q = 70, 50, 30 \text{ м}^3/\text{с}$ и отметке уровня воды нижнего бьефа-608,5 наблюдались размывы дна и откосы канала (рис. 2).

Так при расходе воды $Q_{мак} = 70 \text{ м}^3/\text{с}$ и УНБ-608,5 максимальная глубина ямы размыва составила $h_p = 2,32 \text{ м}$.

При пропуске воды $Q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубина ямы размыва составила $h_1 = 1,2 \text{ м}$, но при этом воронка ямы размыва распространилась на часть откоса канала.

С целью недопущения размыва дна и откоса отводящего канала на участке сопряжения его с консольным водосбросом было предложено два варианта его защиты:

а) крепить дно и откос отводящего канала на участке сопряжения его с водосбросом бетонитами (рекомендуемый вариант);

б) реконструировать выходную часть консольного водосброса.

Эти два варианта детально были исследованы на модели.

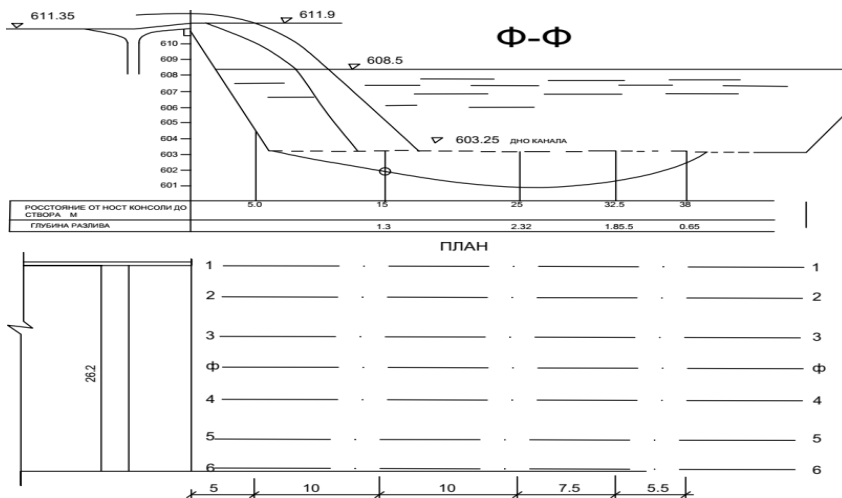


Рис. 2. Продольный разрез по Ф-Ф (по оси ямы размыва)

Вариант с креплением дна и откоса отводящего канала на участке сопряжения его с водосбросом бетонитами (рис. 3).

Исследования этого варианта проводились на модели водосброса с $5 \times 0,5$ м; $0,8 \times 0,8 \times 0,8$ м; $1,2 \times 1,2 \times 1,2$ м (в пересчете на натуру).

Далее, опыты проводились уже с окончательно подобранными размерами бетонитов (размерами сторон $0,8 \times 0,8 \times 0,8$ м).

Исследования показали, что при пропуске через консольный водосброс расходов воды $Q = 70, 50, 30 \text{ м}^3/\text{с}$ и отметки уровня воды в нижнем бьефе $608,5$ м разрушение откосов и дна канала не наблюдалось. Уложенные на дно и откосы бетониты не сдвигались потоком свободно падающей струей. Аналогичные опыты проводились при более сниженных уровнях воды в нижнем бьефе: УНБ $608,0$; $608,5$; $607,0$; $606,5$.

Как показали результаты серий этих опытов, при пропуске максимального расхода воды через консольный водосброс $Q_{\text{мак}} = 70 \text{ м}^3/\text{с}$ и при отметке УНБ = $607,0$ происходил разброс бетонитов потоком свободно падающей с консольного водосброса струи воды (рис. 3). Учитывая, что в натуре отметки уровня нижнего бьефа не могут быть ниже чем $608,5$ то размеры принятых бетонитов ($0,8 \times 0,8 \times 0,8$ м) на наш взгляд вполне приемлемые.

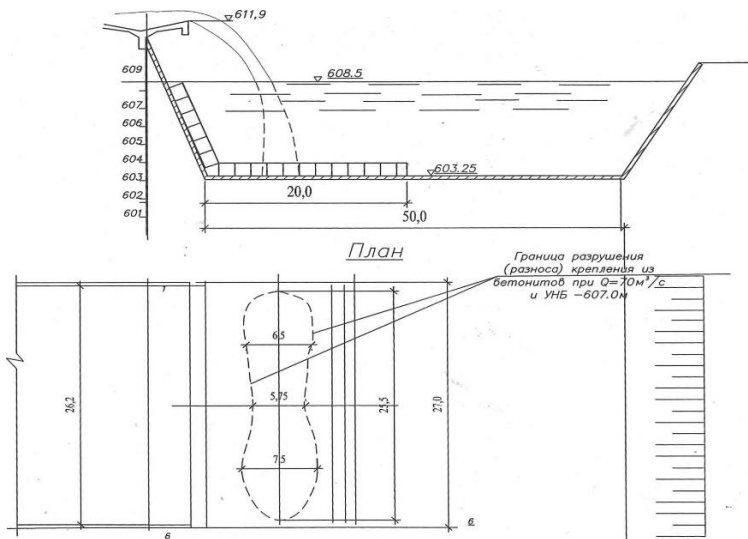


Рис. 3. Крепление дна и откосов канала бетонитами размерами сторон $0,8 \times 0,8 \times 0,8$ м на участке сопряжения водосброса с отводящим каналом

Вариант с реконструкцией выходной части консольного водосброса. Этот вариант был предложен, основываясь на принципе создания поверхностного режима сопряжения потока в нижнем бьефе. С этой целью в лотковой части водосброса, начиная с отметки 611,35 м консоль убирается. Далее лоток продолжается (дистраивается) вниз по течению с тем же уклоном $i = 0,26$ и тем же прямоугольным поперечным сечением до отметки 608,5. Результаты исследований на размываемой модели показали, что при всех возможных расходах воды, протекающих через водосброс ($Q = 70, 50, 30 \text{ м}^3/\text{с}$) и отметок уровня воды в нижнем бьефе УНБ = 608,0 м всегда наблюдается свободный затопленный гидравлический прыжок с поверхностным вальцом. Причем, размывов дна и откосов на всем протяжении участка канала не происходило. Однако этот вариант не был принят в виду того, что потребуются дополнительные затраты на реконструкцию консольного водосброса.

Таким образом выполненные экспериментальные гидравлические исследования консольного водосброса позволяют сделать следующее заключение:

1. Размеры консольного водосброса в настоящее время достаточны для пропуска максимального расхода $Q_{\text{мак}} = 70 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако, нормальная эксплуатация консольного водосброса невозможна без дополнительных мероприятий по защите дна и откосов отводящего канала от разрушения.

2. Из двух исследованных на модели вариантов наиболее приемлемым оказался вариант с креплением дна и откосов канала бетонитами (рис. 3).

Исследования показали, что при всех возможных расходах воды, протекающих через консольный водосброс ($Q = 70, 50, 30 \text{ м}^3/\text{с}$) и отметок уровня воды в нижнем бьефе УНБ = 608,5 м разрушений откосов и дна крепления не наблюдалось.

Литература

1. Рассказов, Л. Н. Гидротехнические сооружения / Л. Н. Рассказов [и др.]. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2010. – 576 с.

2. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. – М.: Эколит, 2011. – 310 с.

3. Вызго, М. С. Эксплуатационные мероприятия и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями / М. С. Вызго. – Ташкент: Наука, 1966. – 265 с.

4. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения / М. В. Нестеров. – М.: Инфарм, 2018. – 600 с.

5. Гиргидов, А. Д. Механика жидкости и газа. (гидравлика) / А. Д. Гиргидов. – М.: Инфарм, 2021. – 345 с.

УДК 627.514:628.543

Совершенствование конструкции водосбросных устройств шламонакопителей фосфогипса

Файзиев Х., Холиков М. Б.

Ташкентский архитектурно-строительный университет
Ташкент, Узбекистан

В данной статье приведены описание и принцип работы новых конструкций устройств для отвода воды с карт намыва.

При удалении фосфогипса часто применяют гидротранспорт. При этом отход пульпируется, нейтрализуется и перекачивается на обвалованные участки, где он осаждается, а избыточная вода собирается и отводится для повторного использования.

Конструкция и размеры водосбросных сооружений определяют расходом исходя из обеспечения требуемой пропускной способности при различных отметках поверхности воды в накопителе, изменяющихся в процессе эксплуатации. Расстояние от водосбросных колодцев до мест промышленных стоков (пульпы) определяется требуемой степенью осветления и принимается исходя из опыта эксплуатации шламонакопителей.

Для отвода осветленной воды с карты намыва наиболее часто принимается водосбросной колодец, включающий бетонное основание с выпускным трубопроводом, несущий каркас с шандорным ограждением по периметру. Колодец по мере замыва емкости обеспечивает постепенное поднятие сливного порога путем наращивания стоек и прикрепления к ним шандорных досок (рис. 1) [1].

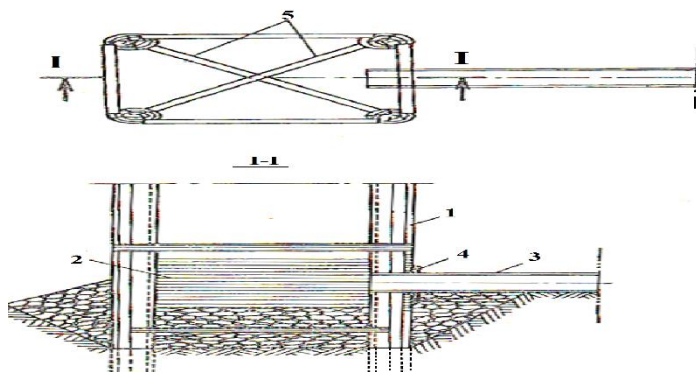


Рис. 1. Сбросной колодец:

1 – стойка; 2 – шандоры; 3 – водосбросная труба; 4 – эластичное соединение;
5 – диагональные распорки

Коллекторы водосбросных сооружений выполняют из сборного или монолитного железобетона и после прокладки покрывают гидроизоляцией, обеспечивающей водонепроницаемость стыковых соединений и предотвращающей попадание в коллектор шламов.

К недостаткам этого устройства относятся большой объем ручных работ, связанных с наращиванием каркаса и шандорного ограждения, повышенной опасностью их выполнения, так как они осуществляются в пределах отстойного прудка, возможность заиливания колодца и выпускного тракта трубопровода при увеличении объема сброса пульпы на карту намыва и уменьшении размеров площади прудка при завершающей стадии заполнения емкости, необходимость устройства переходного мостика от

дамбы к колодцу для безопасного осуществления работ по регулированию водосливного порога.

Нами разработана новая конструкция водосбросного колодца исключая заиливание водосбросного тракта и снижение эксплуатационных затрат [2].

Предлагаем конструкции поставленная задача достигается тем, что в известном водосбросном колодце намывного сооружения, включающем бетонное основание с выпускным трубопроводом, массивный колодец, выполненный в нижней части глухим в виде водоприемника, а верхней – имеющим водосливные проемы, водосливные проемы колодца перекрываются фильтрующим щитами равно-сеточной конструкции, обтянутыми с наружной стороны фильтрующей тканью из «Дорнита»[2].

На рис. 2 приведена конструктивная схема, фрагмент фильтрующего щита и разрез по сечению I-I устройство для отвода с карт намыва.

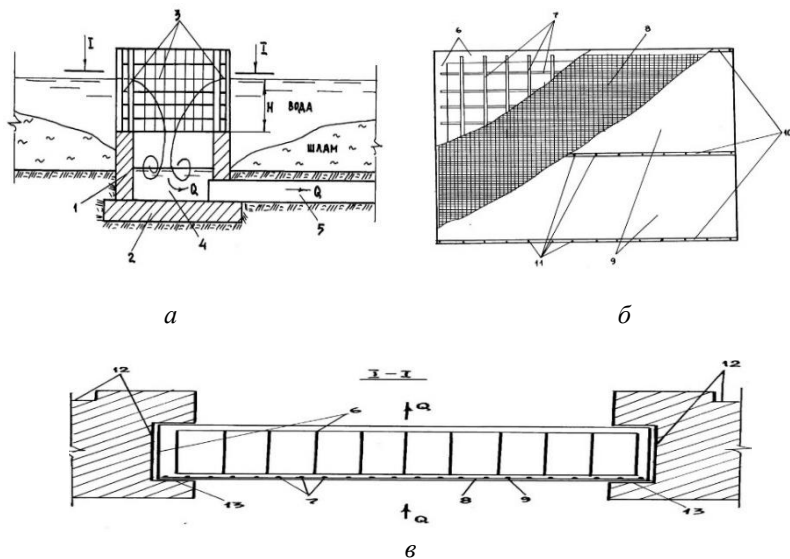


Рис. 2. Устройство для отвода воды с карт намыва:

- a* – фрагмент фильтрующего щита и разрез по сечению I-I устройство для отвода с карт намыва; *б* – равно-сеточная конструкция фильтрующего щита; *в* – фильтрующий щит с фильтрующей тканью; 1 – бетонный колодец; 2 – бетонное основание; 3 – фильтрующие щиты; 4 – нижняя часть; 5 – водовыпускная труба сбросного тракта; 6 – рама; 7 – металлические стержни; 8 – металлическая мелкая сетка; 9 – фильтрующий материал типа «Дорнит»; 10 – металлические пластинки; 11 – болты; 12 – впазы; 13 – световой пролет колодца с уплотнением

Предлагаемая конструкция представляет собой бетонный колодец (1) с бетонным основанием (2) в верхней части колодца водосливные проемы перекрываются фильтрующими щитами (3), в нижней части (4), в который зачеканена водовыпускная труба (5) сбросного тракта.

Фильтрующий щит представляет собой рамно-сеточную конструкцию, обтянутую фильтрующей тканью (рис. 2, б). Рама (6) выполняется из металлических уголков, с одной стороны с которыми привариваются металлические стержни (7), образуя крупные ячейки. К ним крепится металлическая мелкая сетка (8), на которую накладывается фильтрующий материал типа «Дорнит» (9), закрепляемый металлическими пластинками (10) с помощью болтов (11).

Фильтрующий щит вставляется (рис. 1, в) фильтрующей тканью наружу в пазы (12), перекрывая световой пролет колодца с уплотнением (13). Количество пролетов, перекрываемых фильтрующими щитами, и их размеры устанавливаются гидравлическими расчетами при условии соблюдения пропуска расхода Q .

Отвод осветленных промстоков из шламонакопителя осуществляется через водосбросной колодец следующим образом.

После частичного осветленная вода при входе к бетонному колодцу (1), расположенном на основании (2), пропускается расходом Q через фильтрующий щит (3) под напором H . На наружной стенке фильтрующего щита осаждаются взвешенные частицы шлама с последующим их выпадением на дно водоема вблизи колодца. Профильтровавшаяся внутрь колодца вода попадает в водоприемник (4), расположенный у его основания, и далее водовыпускной трубе, (5) отводится за пределы шламонакопителя в водосбросной тракт водооборотной системы.

Предлагаемая конструкция исключает заиливание водосбросного тракта устройства за счет перекрытия водоприемных отверстий колодца фильтрующими щитами, а также исключает ручные работы по перекрытию этих отверстий шандорами и освобождает от работ по очистке сбросного тракта от шлама, что обеспечивает снижение эксплуатационных затрат в 2–3 раза на одном шламонакопителе.

Литература

1. Шкундин, Б. М Землесосные работы в гидротехническом строительстве / Б. М. Шкундин. – М.: Высшая школа, 1977. – 165 с.
2. Файзиев, Х. Устройство для отвода воды с карт намыва / Х. Файзиев, С. Сайфиддинов // Патент РУз № IAP04512. Опул. БИ. – 2012. – № 6.
3. Файзиев, Х. Вопросы проектирования, строительства и эксплуатации накопителей фосфогипса / Х. Файзиев, С. Сайфиддинов Монография. – Ташкент: ТАСИ, 2009. – 220 с.

Моделирование турбулентного течения смеси вязких жидкостейЧулпонов О. Г.¹, Худайкулов С. И.², Хакимов Ш.¹¹ Наманганский инженерно-строительный институт

Наманган, Республика Узбекистан

² Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем

Ташкент, Республика Узбекистан

Статья позволяет раскрыть сущность взаимодействия между фазами при исследовании реактивных потоков смеси вязких жидкостей. Помимо теоретического значения решения задач, имеет ряд практических применений в машиностроении, промышленности и гидротехнике.

Многофазные потоки весьма разнообразны: кровь в сосудах, топливные смеси в ракетах, цементные и бетонные растворы, речные потоки в деформируемых рулах, пароводяные смеси в энергетических установках, селевые потоки на горных склонах и другие.

Часто можно выделить компоненты потока, резко отличающиеся по свойствам: газ, жидкость, твердое вещество. Каждая из этих фаз может быть в двух качественно различных формах: несущей среды или несомой среды (дисперсной фазы).

Несущая среда может предполагаться абсолютно непрерывной (или просто непрерывной). В любой точке этой среды может быть размещен шар, состоящий из частиц рассматриваемой среды, который можно переместить в любую другую точку области, занятой средой. Напротив, несомая среда этим свойством не обладает. Например, частицы грунта в русловом потоке полностью окружены водой. От одной частицы грунта к другой нельзя перейти, минуя воду. Такую среду при малых размерах частиц предложено называть непрерывно диспергированной (или равномерно разрывной), условно сплошной средой [1; 2].

Для дисперсной фазы не обязательно вводить гипотезу условной сплошности. В некоторых задачах, например, при выводе критериев подобия, полезно сохранить дискретное рассмотрение.

Исследования струйных течений смеси вязких жидкостей позволяют раскрыть характер взаимодействия между фазами.

Рассмотрим задачу о свободной турбулентной смеси двух вязких жидкостей в модели взаимопроникающих сред Х. А. Рахматулина [3]. В работах [1; 2; 4] даются решения ряда автомодельных задач о ламинарных струях смеси вязких жидкостей, в [3; 5; 6] приводится анализ струйного течения вязкой жидкости, распространяющейся над подстилающей поверхностью,

где особо отмечаются возможности слоистого ламинарного и турбулентного течения для однофазной жидкости.

Пусть некоторая область, ограниченная твердыми поверхностями, занята жидкостью, переносящей N твердых частиц. Движение каждой частицы описывается шестью уравнениями: тремя скалярными уравнениями сохранения количества движения частицы и тремя уравнениями сохранения момента количества движения.

Исследования струйных течений смеси вязких жидкостей позволяют раскрыть характер взаимодействия между фазами. Динамический коэффициент вязкости имеет следующий вид

$$\gamma_{HT} = \hat{C}_n - x^I y^r U_n^q,$$

где $\hat{C}_n = \gamma_{III} H^{I+r} V_{n\infty}^{-q}$;

при $I = q = r = 0$ – получим ламинарное течение;

при $I = 1, q = 1, r = 0$ – течение турбулентного пристеночного слоя;

при $I = 0, q = 1, r = 1$ – свободную турбулентную струю.

Уравнение движения, неразрывности и изменения температуры для осесимметричной при $K = 1$ и плоской при $K = 0$ закрученной струе смеси вязкой жидкости будет имеет вид [1]

$$\begin{aligned} LU_n &= \frac{K_1}{\rho_n} (U_p - U_n), \\ Lw_n + K \frac{W_n V_n}{y^k} + K \frac{\gamma_{HT} W_n}{y^{k+1}} &= \frac{K_2}{\rho_n} (W_p - W_n), \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= K \frac{\rho_1 W_1^2 + \rho_2 W_2^2}{y^{k+1}}, \\ L_1 T_n &= \frac{K_3}{\rho_n} (T_p - T_n), \\ \frac{\partial(\rho_n y^k U_n)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_n y^k V_n)}{\partial y} &= 0, \quad f_1 + f_2 = 1, \\ L_1 f_n &= U_n \frac{\partial f_n}{\partial x} + V_n \frac{\partial f_n}{\partial y} - \frac{1}{y^k} \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma_{HT} y^k \frac{\partial f_n}{\partial y} \right), \\ L_2 T_n &= U_n \frac{\partial T_n}{\partial x} + V_n \frac{\partial T_n}{\partial y} - \frac{1}{y^k} \frac{\partial}{\partial y} \left(a_{HT} y^k \frac{\partial T_n}{\partial y} \right), \end{aligned}$$

где $\rho_n = f_n \rho_{ni}$, $a_n = \frac{\gamma_{HT}}{Pr_n}$.

Здесь U_n, V_n, W_n – компоненты вектора скорости в цилиндрической координате; ρ_n, ρ_{ni}, f_n – соответственно истинная, приведенная плотность и объемная концентрация n -ой фазы смеси; Pr_n – число Прандтля.

С граничными условиями при $y = 0$

$$\frac{\partial U_n}{\partial y} = 0, V_n = 0, W_n = 0, \frac{\partial W_n}{\partial y} = 0, \frac{\partial T_n}{\partial y} = 0,$$

при $y \rightarrow \infty$

$$U_n(x, \infty) = W_n(x, \infty) = 0; T_n(x, \infty) = T_{\infty}; P(x, \infty) = P_{\infty} = \text{const.}$$

Рассмотрим автомодельную задачу о течении смеси жидкостей, вытекающих из канала конечной ширины в свободное пространство. Решения для слоя строим путем введения ряда автомодельных преобразований и функций в виде:

$$\phi = Bx^\beta y,$$

$$U_n = U_{nm} \frac{F_n(\phi)}{\phi^k}, V_n = \frac{U_{nm}}{B} x^{-\beta-1} [(\alpha - \beta k - \beta) F_n(\phi) + \beta \phi F_n'(\phi)],$$

$$W_n = W_{nm} \Phi_n(\phi), \frac{P - P_{\infty}}{P_m - P_{\infty}} = P(\phi), \frac{T_n - T_{\infty}}{T_{nm} - T_{\infty}} = \theta_n(\phi).$$

Коэффициент взаимодействия запишем в виде [1–3]:

$$K_1 = K_2 = K_{p0} x^m y^z H^{m+z},$$

где

$$K_{p0} = f_1 f_2 \frac{\rho_1 V_{1\infty}^2 + \rho_2 V_{2\infty}^2}{\rho_1 \gamma_1 + \rho_2 \gamma_2},$$

Для введенных неизвестных функций получим следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} & \alpha \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right)^2 - (\alpha - \beta k - \beta) \frac{F_n(\phi)}{\phi k} \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right) = \\ & = \frac{a_n}{\phi k} \left[\phi^{k+r} \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right)^q \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right) \right] + \frac{K_p^* \phi^z}{\rho_n} \phi^z \left[\frac{P_p}{A_n} \frac{F_n^1(\phi)^n}{\phi n} - \frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right], \end{aligned}$$

$$P_{(\phi)}^1 = \Phi_1^z(\phi) + \frac{\rho_n f_z}{\rho_{1i} f_1} C_2^z \Phi_2^z(\phi),$$

$$\begin{aligned} & \gamma \theta_n(\phi) \frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} - (\alpha - \beta k - \beta) \theta_n^1 \frac{F_n(\phi)}{\phi k} = \\ & = \frac{a_n}{\rho_m} \frac{1}{\phi k} \left[\phi^{k+r} \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right)^q \theta_n^1(\phi) \right]^1 + \frac{K_p^* \phi^z}{\xi} \phi^z \left[\frac{\Gamma_p}{\Gamma_n} \theta_p(\phi) - \theta_p(\phi) \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \varepsilon \Phi_n(\phi) \frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} - (\alpha - \beta k - \beta) \Phi_n^1 \frac{F_n(\phi)}{\phi k} - \\ & - k B^{k-1} (\alpha - \beta k - \beta) \frac{\Phi_n(\phi)}{\phi k} \frac{F_n(\phi)}{\phi k} - k B^{k-1} \beta \phi \frac{\Phi_n(\phi) F_n(\phi)}{\phi k} = \\ & = \frac{a_n}{\rho_m} \frac{1}{\phi k} \left[\phi^{k+r} \left(\frac{F_n^1(\phi)}{\phi k} \right)^q \Phi_n^1(\phi) \right]^1 - k \hat{C}_n B^{k+1-r} A_n^{q-1} \frac{\Phi_n(\phi)}{\phi^{k+1}} + \\ & + K_p^* \phi^z \left[\frac{C_p}{C_n} \Phi_p(\phi) - \Phi_p(\phi) \right], \end{aligned}$$

где $A_n = A_n^{q-1} \hat{C}_n B^{2-r}$; $K_p^* = \frac{K_z}{\rho_n A_n B^z}$.

Условие автомодельности дает [4; 6]

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\alpha - I - \alpha q}{z - r}, m = \alpha + \beta z - \alpha q, \\ \delta &= (k-1)\beta + 2\varepsilon, I = \varepsilon(k-1) - \varepsilon q, \end{aligned}$$

а также

$$D = k \frac{C_1^2 B^{k-1}}{1 + \frac{\rho_{1i} f_2}{\rho_{1i} f_1}}.$$

Выводы

1. Результаты показывают, что компоненты вектора скорости, коэффициент взаимодействия и закон изменения (убывания) кинетической энергии потока через поперечное сечение быстрее убывают в осесимметричном течении, чем в плоском.
2. Можно указать ряд струйных турбулентных течений вязкой смеси жидкостей, входящих в класс автомодельных задач.

Литература

1. Хамидов, А. А. Решение задач о двумерной свободной струе смеси вязких жидкостей / А. А. Хамидов // Проблемы механики. – 1993. – № 3. – С. 121–125.
2. Худайкулов, С. И. Вибрация при повороте бурного потока Каркидонского водохранилища / С. И. Худайкулов, О. А. Муминов, Ш. Р. Утбосаров // Инновационная техника в технологиях кишлоқ ҳўжалиги озик-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари: мавзусидаги II-халқаро илмий ва илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами. 2-қисм., Ташкент, 22–23 апр. 2022. – Ташкент, 2022. – С. 212–213.
3. Рахматулин, Х. А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред / Х. А. Рахматулин // Прикладная математика и механика. – 1956. – Т. 20, вып. 2. – С. 184–195.
4. Чулпонов, О. Г. Автомодельное решение турбулентного течения смеси вязких жидкостей / О. Г. Чулпонов, С. И. Худайкулов // Матрица научного познания. – 2022. – Т. 5, № 6. – С. 149–154.
5. Вулис, А. А. Теория струи вязкой жидкости / А. А. Вулис, В. П. Кашкарев. – М.: Наука, 1965. – 431 с.
6. Худайкулов, С. И. Модели двухслойных течений разнотенных потоков / С. И. Худайкулов, Ш. Р. Утбосаров // Илмий – техника журнали. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 63–66.

**Технологические особенности применения комплексных систем
капельного орошения при создании лесопарковых зон
Туркменистана с целью охраны окружающей среды
и воздушного бассейна**

Тегелеков Я. К., Гандымов М. Ы., Рахманбердыев Ш. Б.
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

На основе проведенных исследований были изучены технологические особенности и составляющие комплексной системы капельного орошения, показана целесообразность их использования для создания лесопарковых зон в городе Ашхабаде и в ее окрестностях, ее природа сохранность, как фактор значительной экономии воды, снижению потерь на фильтрацию, испарение, поверхностный сток, что в итоге приводит к оздоровлению окружающей среды и улучшения климата в регионе.

В период возрождения новой эры суверенного государства у нас в стране планомерно претворяются в жизнь в больших масштабах задачи, обозначенные в национальной программе Туркменистана по охране окружающей среды и воздушного бассейна, принятой после обретения Независимости нашего государства. С целью претворения в жизнь этой программы приняты постановления Президента Туркменистана «О превращении Туркменистана в цветущий сад», «О создании в предгорьях Копетдага лесопарковой зоны», «О создании "Зеленого пояса"» вокруг нашей столицы – города Ашхабада.

Глава государства неизменно подчеркивает огромное значение реализуемой в стране общенациональной озеленительной программы, прежде всего с точки зрения экологического благополучия, создания благоприятных условий для жизни туркменского народа [1].

Последовательно претворяя в жизнь комплексную природоохранную стратегию, Туркменистан также вносит действенный вклад в обеспечение экологического благополучия в региональном и глобальном измерении, в решение таких актуальных проблем современности, как изменение климата. Регулярно выдвигая в этом направлении конструктивные инициативы, которые получают широкую поддержку мирового сообщества, наша страна демонстрирует приверженность выполнению взятых на себя международных обязательств.

Определив экологическую дипломатию в числе приоритетных векторов своего внешнеполитического курса, нейтральный Туркменистан неизменно

занимает активную и ответственную позицию в вопросах сотрудничества в данной сфере в двустороннем и многостороннем форматах, в рамках авторитетных международных организаций, в том числе ООН и ее специализированных структур.

Очередным признанием достижений нашей страны в этой области стало присуждение городу Ашхабаду Международного сертификата за вклад в инициативу Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций «Деревья в городах» посредством озеленительных акций. Важной составляющей этой многоплановой и комплексной деятельности выступает превращение городской и сельской местности в зеленые зоны. В соответствии с Национальной лесной программой Туркменистана в стране проводится системная работа в данной области.

Сегодня исконные национальные традиции в области охраны окружающей среды получают новое содержание. Ежегодно проводимые озеленительные акции способствуют превращению нашей страны в цветущий оазис, приумножают любовь народа к родной земле.

В последние годы Туркменистан восхищает своих многочисленных гостей обширными молодыми лесопосадками, цветущими буквально круглый год парками, оригинальными фонтанными комплексами. Экологическая «зеленая» концепция нацелена в конечном итоге на повышение качества жизни людей в гармонии с живописной туркменской природой, оздоровление окружающей среды и процветание страны.

Учитывая суровые природно – климатические условия, особенности почв местности, были разработаны специальные рекомендации по посадке лесов и садов на территории республики Национальным институтом пустынь, растительного и животного мира Министерства сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана.

За последние годы учитывая инновационные технологии при создании комплексных систем капельного орошения деревьев, а также современные материалы – полимерные трубы и изделия, электротехнические приборы и насосное оборудование, ведется успешная эксплуатация ранее существующих и создание систем полива на новых участках.

Результативное осуществление мероприятий по посадке деревьев и их выращивание в современных условиях целесообразно без создания комплексных систем капельного орошения по ряду следующих причин:

- удаленность источника воды и ее постоянная нехватка;
- проблема доставки воды из-за особенностей рельефа местности;
- перерасход и нерациональное использование воды.

Как показывают наблюдения (летом) при поливе обычным способом около 25 % испаряется; около 45 % просачиваются в землю мимо корней и лишь около 30 % воды питает саженец.

При этом резко увеличивается количество сорняков и травы, которые мешают росту деревьев, а также представляют при высыхании опасность возникновения пожара.

Расчет параметров комплексных систем капельного орошения производится исходя из следующих условий:

- удаленность источника воды (скважины) от участка полива деревьев, мощность скважины (дебит), рельеф местности;
- количество и виды деревьев на участке, характер грунтов.

Исходя из рекомендации по посадке лесов и садов на территории Туркменистана [2], при посадке саженцев расстояние между деревьями составляет 5 м, при первоначальной посадке зеленых насаждений учитывается состав почвы: в песчаных грунтах – норма полива 40 л на 1 саженец в первый раз 1 раз; в глинистых грунтах – 50 л на 1 саженец в первый раз 1 раз.

Система капельного орошения должна быть установлена так, чтобы подача воды составляла – для саженцев 5–10 л воды в час. В первый год посадки саженца глубина увлажнения почвы должна составлять не менее 1 м, объем увлажнения корневой системы саженца должен составлять 1,5 м³ почвы. В первый год норма полива составляет:

- в песчаных грунтах – 272 литра в год на 1 саженец;
- в глинистых грунтах – 340 литров в год на 1 саженец.

В период роста саженцев повторный полив производится при норме влажности почвы менее 60 %.

Норма полива при повторном поливе составляет:

- в песчаных грунтах – 16 л на 1 саженец за один полив;
- в глинистых грунтах – 20 л на 1 саженец за один полив.

Капельницы располагаются на расстоянии 20–25 см от саженца. В период роста саженца подача воды через капельницы составляет:

- весной – 4 раза;
- летом – 9 раз;
- осенью – 4 раза, таким образом в период вегетации полив зеленых насаждений производится 17 раз.

На 1 гектар норма подачи воды за 1 полив составляет:

- в песчаных грунтах – 110 м³ воды в год;
- в глинистых грунтах – 140 м³ воды в год.

Технологические особенности и составляющие комплексной системы капельного орошения. Основные технические решения для создания капельного орошения.

Оросительная система капельного орошения состоит из следующих основных элементов: источник орошения, напорный водовод, узел очистки воды, магистральные, распределительные, участковые и поливные трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой и капельницами.

Принцип капельного орошения – постоянное обеспечение растений водой и удобрениями в требуемом количестве.

Особенностью применения системы капельного орошения является то, что проектирование и строительство других способов орошения на данных участках неприемлемы, так как участки находятся на больших уклонах и на участках с изрезанным рельефом.

Режим капельного орошения. При определении поливных и элементарных поливных норм, сроков и количества поливов систем капельного орошения использованы «Временные рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации систем капельного орошения в условиях ТССР» и Пособие к СНиП 2.06.03-85 (Капельное орошение). Расчетные параметры приведены в табл. [3; 4].

Таблица 1

Расчетные параметры системы капельного орошения

Наименование	Единица измерения	Показатели	Обозначение
Количество вод выпусков у растения	шт	1	п
Схема посадки	мхм	4×4	–
Расход капельницы, тип капельницы	л/ч	8	q
Количество капельниц у растения	шт	1	
Площадь орошения участка, нетто	га		$F_{нт}$
Глубина расчетного слоя	м	1,2	h
Объемная масса почвы	г/см ³	1,83	γ
Наибольшая влагоемкость	%	27,78	β_{max}
Наименьшая влагоемкость	%	22,22	β_{min}
Площадь очага увлажнения	м ²	1,4	f
Начало вегетационного периода	–	1. III	–
Конец вегетационного периода	–	30. IX	–
Гидромодульный район	–	I	Ю-II-B

Основными элементами технологии полива являются:

- а) элементарная поливная норма;
- б) продолжительность подачи поливной нормы;
- в) расход капельницы;

г) поливная норма на 1 га.

Величина элементарной поливной нормы на 1 растение определяется по формуле

$$m_0 = \gamma f h k \frac{B_{\max} - B_{\min}}{100} = 0,137 \text{ м}^3/\text{растение},$$

где $\gamma = 1,83 \text{ г/см}^3$ – объемная масса почвы; $\beta_{\max} = k^*/\gamma^* \cdot 100$ – предельная поливная влагоемкость от веса сухой почвы, %; $k^* = 0,75$ – коэффициент пористости; $\gamma^* = 2,7 \text{ т/м}^3$ – плотность частиц грунта; $\beta_{\min} = 0,8$ $\beta_{\max} = 22,22$ % – наименьшая влагоемкость; $f = 1,4 \text{ м}^2$ – площадь очага увлажнения; $k = 0,8$ – поправочный коэффициент на форму расположения корневой системы; $h = 1,2 \text{ м}$ – глубина расчетного слоя для лесопосадок, принимается.

Общее количество деревьев на 1 га при схеме посадки 4×4 составит $N = 625$ шт.

Тогда поливная норма на 1 га определится по формуле

$$m = m_0 N = 0,137 \cdot 625 = 85,44 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Продолжительность полива определяется по формуле

$$t = \frac{1000m}{q_k N} = \frac{85440}{8 \cdot 625} = 17,0 \text{ ч}.$$

Удельный потребный расход на 1 га рассчитываем по формуле

$$q_{\text{уд}} = \frac{q_k N}{3600} = \frac{8 \cdot 625}{3600} = 1,39 \text{ л/с на 1 га}.$$

Вся площадь полива разбита на равные участки.

Принимаем межполивной период $T = 10$ суток. Площадь суточного полива определяется по формуле

$$W = \frac{F_{\text{нет}}}{10}.$$

Потребный расход воды определяется как

$$Q_{\text{п}} = q_{\text{уд}} W.$$

Суточный расход воды равен

$$Q_{\text{сут}} = TQ_{\text{п}} + Q_{\text{сн}},$$

где $Q_{\text{сн}}$ – расход воды на собственные нужды очистных сооружений.

$$\begin{aligned} Q_{\text{сн}} &= k T Q_{\text{п}}, \\ Q_{\text{сн}} &= 0,01 \cdot 17,0 \cdot 23,67 = 4,02 \text{ м}^3/\text{сут или } 0,17 \text{ м}^3/\text{ч}, \\ Q_{\text{сут}} &= 17,0 \cdot 23,67 + 4,02 = 406,41 \text{ м}^3/\text{сут}. \end{aligned}$$

Производительность насосной станции равна

$$23,67 + 0,17 = 23,84 \text{ м}^3/\text{ч} = 6,62 \text{ л/с}.$$

Оросительная сеть и техника полива. Принципы работы капельного орошения заключается в подаче малым непрерывным расходом 8 л/ч, при котором достигается локальное увлажнение корнеобитаемого слоя почвы.

Используется капельница КР, которая предназначена для полива лесопосадок в условиях сильно пересеченной местности горных и предгорных районов. В оросительной сети используются материалы из полиэтиленовых труб, состоящие из магистральных, распределительных, участковых и поливных трубопроводов. В основу гидравлического расчета трубопроводов (диаметры, расходы) положено сохранения напора на капельнице 2,0 м вод. ст., согласно характеристике капельницы. Расход участкового трубопровода складывается из суммы расходов поливных трубопроводов, а расходы распределительных трубопроводов из суммы одновременно работающих участковых трубопроводов. Диаметры трубопроводов выбраны с учетом рельефа местности и оптимальных потерь напора. Магистральные, распределительные и участковые трубопроводы укладываются в траншею на глубине 0,7 от поверхности земли до верха трубы на естественное основание. Обратная засыпка производится местным грунтом. Поливные трубопроводы укладываются на поверхности земли.

Для регулирования работы распределительных и участковых трубопроводов проектом предусмотрены задвижки.

В конечных точках трубопроводов предусмотрены концевые заглушки. Поливные трубопроводы присоединяются к участковым при помощи ниппелей. Отключение поливных трубопроводов осуществляется шаровым краном.

Мероприятия по охране природы и окружающей среды. Одной из важнейших проблем в настоящее время является охрана окружающей

среды. Уровень грунтовых вод находится сравнительно глубоко, и при поливе капельным орошением исключается подъем уровня грунтовых вод, т. к. нормы полива небольшие, а вода глубоко не просачивается.

Локальное орошение капельницами под каждое дерево совершенно предотвращает возможность поверхностного стока и тем самым исключает почвенную эрозию. Системы капельного орошения являются, по сути, природоохранными мероприятиями, как фактор значительной экономии воды за счет – снижения потерь на фильтрацию, испарение, поверхностный сток. Негативные процессы при капельном орошении отсутствуют, и какие-либо меры по устранению нежелательного последствия орошения не назначаются. Возможные утечки при аварии оросительной сети будут предотвращаться путем отключения нужного трубопровода или всей сети запорной арматурой.

Используемые сооружения не имеют по своим технологическим процессам отходов производства.

Литература

1. Газета «Нейтральный Туркменистан» № 70-71 (30441-30442) от 20 марта 2023 г.
2. Национальная Лесная программа Туркменистана на 2021–2025 гг.
3. Временные рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации систем капельного орошения в условиях Туркменистана.
4. Пособие к СНиП 2.06.03.85 (капельное орошение).

УДК 628.1

Экономическая эффективность восстановительных мероприятий на скважинном водозаборе «Петровщина»

Крицкая В. И.¹, Ивашечкин В. В.¹, Шейко А. М.²,
Кондратович А. Н.¹, Стасевич Е. Г.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²ОАО «Белгорхимпром»,

³УП «Минскводоканал»

Минск, Республика Беларусь

Установлено, что на скважинных водозаборах подземных вод основную долю стоимости жизненного цикла составляет стоимость электроэнергии водоподъемников: у скважины с регенерацией стоимость электроэнергии составит чуть более 50 % всех затрат, а у скважины без регенерации – почти на 20 % больше и составит почти 70 %, что обусловлено избыточным напором водоподъемников ДНГ.

Для длительно эксплуатирующихся скважин актуальными являются комбинированные обработки, представляющие собой сочетание импульсных, механических и реагентных методов восстановления их дебита.

Период стабильной работы скважин после таких обработок может достигать 3–4 года. Стоимость обработки несколько возрастает за счет дополнительного использования реагентов, однако она на порядок меньше стоимости новой скважины. Это позволяет считать эти методы ресурсосберегающими. Применение же правильно подобранных на стадии лабораторных исследований реагентов, не наносящих ущерба окружающей среде, позволяет считать эти методы экологически безопасными. Экономический эффект после регенерации достигается не только от дополнительного количества добытой воды, но и от снижения удельных затрат электроэнергии из-за повышения отметки динамического уровня, так как удаляются загрязнения из фильтра и его прифильтровой зоны, снижаются потери напора на нем, увеличивается пропускная способность фильтра и при этом наблюдается рост столба воды в скважине над насосом. Таким образом, уменьшается геометрический напор насоса H_{Γ} относительно устья скважины. Снижение геометрического напора ΔH_{Γ} в результате регенерации скважины можно определить по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = H_{\Gamma 1} - H_{\Gamma 2} = (H_{\text{ст}} + S_1) - (H_{\text{ст}} + S_2),$$

где $H_{\Gamma 1}$, $H_{\Gamma 2}$ – геометрические напоры насоса, соответственно, до и после регенерации, м; $H_{\text{ст}}$ – величина статического уровня воды в скважине, м; S_1 , S_2 – понижения уровня воды в скважине относительно статического до и после регенерации: $S_1 = Q/q_1$; $S_2 = Q/q_2$ (Q – дебит скважины, м³/ч; q_1 , q_2 – удельные дебиты скважины, соответственно, до и после регенерации, м²/ч).

Окончательно снижение геометрического напора насоса ΔH_{Γ} в результате регенерации скважины можно найти по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = Q \left(\frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_2} \right).$$

Экономия электроэнергии на водозаборе также может быть достигнута за счет снижения гидравлического сопротивления трубопроводов путем удаления отложений с их внутренней поверхности или их замены на новые. Снижение геометрического напора насоса $\Delta H_{\Gamma}'$ в результате перекладки трубопровода от скважины к сборному водоводу можно определить как

368

$$\Delta H_{\Gamma}' = h_{\text{тр}1} - h_{\text{тр}2} = A_1 l Q^2 - A_2 l Q^2,$$

где $h_{\text{тр}1}, h_{\text{тр}2}$ – потери напора по длине до и после замены трубопровода соответственно, м; A_1, A_2 – удельное сопротивление участка трубопровода до и после замены трубопровода соответственно, $\text{с}^2/\text{м}^6$; l – длина участка трубопровода, м; Q – производительность скважины, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Тогда снижение гидравлической энергии, передаваемой насосом жидкости, рассчитывается по формуле [1]

$$\Delta P_W = \frac{Q \cdot \sum \Delta H_{\Gamma} \cdot \rho}{367000},$$

где ΔP_W – снижение гидравлической мощности, передаваемой насосом, кВт; ρ – плотность перекачиваемой жидкости, $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\sum \Delta H_{\Gamma} = \Delta H_{\Gamma} + \Delta H_{\Gamma}'$.

Снижение электрической мощности насоса рассчитывается по формуле

$$\Delta P_e = \frac{\Delta P_W}{\eta_p \cdot \eta_M},$$

где η_p – КПД насоса; η_M – КПД двигателя; η_D – КПД привода (если привод не установлен, параметру присваивается значение 1).

Для определения величины годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{пг}}$ используем формулу

$$\mathcal{E}_{\text{пг}} = \Delta P_e \cdot C \cdot t,$$

где ΔP_e – электрическая мощность насоса, кВт; C – среднесуточная стоимость 1 кВт электроэнергии, руб/кВт (для УП «Минскводоканал», $C = 0,3296$ руб/кВт); t – количество отработанных часов скважиной за определяемый промежуток времени, ч.

Чистую экономическую эффективность рассчитаем по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{эфф}} = \mathcal{E}_{\text{пг}} - \mathcal{Z}_M - \mathcal{Z}_{\text{раб}},$$

где \mathcal{Z}_M – затраты на материалы, руб; $\mathcal{Z}_{\text{раб}}$ – затраты на производство ремонтных работ, руб.

С целью выявления участков трубопроводов со значительными сопротивлениями и скважин с существенным снижением удельного дебита было проведено обследование скважинного водозабора «Петровщина».

В результате проведения манометрии на трубопроводах установлено: внутристанционные трубопроводы (трубопроводы, находящиеся в павильоне скважины) с установленной на них запорной арматурой (обратным клапаном) и водомером создают дополнительные потери напора порядка 2-х метров при диаметре 150 мм и более трех метров при диаметре 100 мм, которые необходимо учитывать при гидравлическом расчете водозабора; линия подключения скважины № 10б к сборному водоводу имеет фактическое удельное сопротивление $A_{\text{факт}} = 1436 \text{ с}^2/\text{м}^6$ (при справочном значении $A_{\text{табл}} = 37,11 \text{ с}^2/\text{м}^6$ [2]), т. е. удельное сопротивление линии возросло в 38 раз; линия подключения скважины № 4в к сборному водоводу имеет фактическое удельное сопротивление $A_{\text{факт}} = 1968 \text{ с}^2/\text{м}^6$ (при справочном значении – $A_{\text{табл}} = 37,11 \text{ с}^2/\text{м}^6$), т. е. ее удельное сопротивление возросло в 53 раза, что требует промывки линий или их замены на новые.

Для восстановления пропускной способности существующих трубопроводов, проводились работы по промывке сети гидродинамической машиной. Положительного результата достигнуто не было. В 2020–2021 гг. на водозаборе «Петровщина» на линиях подключений на скважинах 3б, 4в и 10б были произведены работы по замене старых чугунных труб Ду150 мм на новые полиэтиленовые трубы Ду160 мм, соответственно следующих длин: 13 м, 40 м, 12,5 м. Фотографии с отложениями на внутренней поверхности демонтированных старых чугунных труб представлены ниже (рис. 1).



Рис. 1. Демонтированные трубы с отложениями на внутренней поверхности

Результаты измерения потерь напора по длине h_{mp} на трубах до и после замены представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения потерь напора в линиях подключения скважин

№ скв.	Потери напора по длине $h_{тр1}$, м	Потери напора по длине $h_{тр2}$, м	$\Delta H'_г$, м
3б	1,21	0,18	1,03
4в	2,22	0,36	1,86
10б	1,27	0,19	1,08

На скважинах 3б, 4в, 10в, 13б проводились следующие виды ремонтных работ: чистка обсадных труб и фильтра ершом, прокачка компрессором с обратной промывкой. Кроме этого, на скважинах 10в и 13б производилась регенерация фильтров электрогидравлической установкой, которая не дала положительного эффекта.

В табл. 2 представлены результаты ремонтных работ на скважинах.

Таблица 2

Результаты замеров по скважинам до и после интенсификации скважин подземных вод

скважина № 3б (октябрь 2021 г.)							
1	2	3	4	5	6	7	8
	Глубина скв., м	Стат., м	Динам., м	Пониж., м	Q , м ³ /ч	q , м ³ /ч/м	Прирост удельного дебита, %
До ремонта	78,5	6	17	11	58	5,27	
После ремонта	78,5	6	16	10	72	7,20	37
скважина № 4в (май 2021 г.)							
Доре-монта	83	12	19,8	7,8	48	6,15	
После ремонта	83,1	10,5	17,9	7,4	62	8,38	36,1
скважина № 10в (октябрь 2021 г.)							
До \ ремонта	66,2	10,5	35,5	25	60	2,40	
После про-стрелки	66,2	9,5	35,5	26	68	2,62	9
скважина № 10б (май 2020 г.)							
До ре-монта	73,1	5,5	22,8	17,3	65	3,76	
После ремонта	74,6	7	26,5	19,5	83	4,26	13,3

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
скважина № 13б (ноябрь 2020 г.)							
До ремонта	69,2	3	25,1	22,1	59	2,67	
После ремонта	69,2	3	21,1	18,1	63	3,48	30

Результаты расчетов снижения энергопотребления на водозаборе «Петровщина» в результате регенерации скважин и замены старых трубопроводов на новые представлены в табл. 3.

Литература

1. ГОСТ 33969 – 2016 (ISO/ASME 14414:2015) Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем.
2. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие/ Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М.: Издательский Дом «Бастет», 2016. – 428 с.
3. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин: монография / В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 270 с.

Таблица 3

Расчет снижения энергопотребления на водозаборе «Петровщина» в результате регенерации скважин и замены старых трубопроводов на новые

№ скв.	КПД насосн. агрегата	Кол-во отработ. часов скв-ой, t, час	Затраты на матер. при замене тр-да Z_m , руб	Затраты на выполн. работ $Z_{раб}$, руб	ΔH_r , м	$\Delta H_r'$, м	$\Sigma \Delta H_r$, м	P_w , кВт	ΔP_e , кВт	Эпг, руб.	Ээфф, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3б	62	8640	390,31	99,43	3,66	1,03	4,69	0,92	1,48	4215	3724
4в	57	8640	1410,48	91,52	2,68	1,86	4,54	0,77	1,35	3844	2342
10б	63	8640	762,48	64,85	2,59	1,08	3,67	0,83	1,32	3759	2931
10в	61	8640	–	–	2,38	–	2,38	0,44	0,72	2050	2050
13б	62	8640	–	–	5,50	–	5,50	0,94	1,52	4329	4329
											$\Sigma 15376$

Вывод

В результате выполненных работ был получен экономический эффект в размере 15378 рублей.

Для регенерации скважин 10в и 13б предлагается выбрать комбинированный метод регенерации. Вначале следует разрушить отложившийся слой окислов железа газоимпульсным методом [3], а затем реагентным методом растворить кольматант. Если положительный эффект не будет достигнут, то скважины следует перебурить.

Исследование теплофизических характеристик супесчаной почвы

Линкевич Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Приведена методика определения теплофизических характеристик почвы с помощью цилиндрического зонда. Представлена зависимость коэффициентов объемной теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности от объемной влажности для супесчаной почвы. Показано, что зависимость теплопроводности и объемной теплоемкости почвы от объемной влажности изменяется по линейному закону. При этом характерно, что теплопроводность с увеличением влажности быстрее растет, чем теплоемкость, а температуропроводность остается практически постоянной.

Тепло и влага определяют интенсивность питательного режима, жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, отвечают за рост и развитие корневой системы растений, тем самым, определяя урожайность возделываемых культур. В свою очередь, тепловые потоки и движение влаги зависят от совокупности теплофизических свойств в почвенном профиле.

Для расчета, оценки и прогноза тепломелиоративных эффектов тепломелиорации почв необходимо знание теплофизических характеристик почвы.

К теплофизическим свойствам относятся теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность.

Теплофизические свойства почвы определяли в полевых условиях с помощью цилиндрического зонда, предложенного В. П. Панфиловым, С. В. Макарычевым, А. И. Луниным и др. [1].

Зонд представляет собой стальной стержень длиной 100 мм и диаметром 2 мм. На стержень вплотную наматывается изолированная константановая проволока диаметром 0,1 мм, выполняющая роль нагревателя. Поверх источника тепла накладываются витки медной проволоки диаметром 0,05 мм, являющейся датчиком температуры. Зонд покрывается смолой для предохранения его от механических повреждений. Источником тока при использовании микроамперметра М316 служит аккумулятор на 6 или 12 В. Сопротивление датчика температуры в полевых условиях измеряется мостом постоянного тока.

Этот зонд практически не нарушает естественного сложения почвы,

позволяет провести эксперимент в течении 2–3 минут. Перегрев примыкающих слоев почвы не превышает 3 °С, что значительно уменьшает массоперенос и теплофизические коэффициенты получаются ближе к истинным, чем при определении шаровым зондом.

Для измерения теплофизических характеристик верхних слоев почвы зонд помещали перпендикулярно поверхности почвы. При определении теплофизических характеристик по профилю почвы зонд помещали в почву горизонтально поверхности, сделав предварительно разрез. Для построения термограммы по истечению 30 с после включения тока записывали показания микроамперметра в течение 2–3 мин через каждые 5 с.

Расчет теплопроводности λ производили с использованием термограммы по формуле [1]

$$\lambda = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta t} \cdot l_{\text{п}} \cdot \frac{t_2}{t_1}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)},$$

где P – мощность нагревателя, Вт; l – длина зонда, м; Δt – разность температур в момент времени t_2 и t_1 , °С.

Повторность опыта 4-кратная. Параллельно с определением коэффициента теплопроводности λ определяли плотность почвы и ее влажность.

Объемную теплоемкость C_v рассчитывали по формуле [2]

$$C_v = (C_p + C_B \cdot \frac{W}{100}) \cdot \rho, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°С)},$$

где C_p – удельная теплоемкость абсолютно сухой почвы, равная для супеси 0,84 кДж/(кг·°С); C_B – удельная теплоемкость воды, 4,190 кДж/(кг·°С); W – влажность почвы в процентах от веса сухой; ρ – плотность почвы, кг/м³.

Коэффициент температуропроводности a определяли по формуле [2]

$$a = \frac{\lambda}{C_v}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

На рис. представлена зависимость коэффициентов объемной теплоемкости C_v , теплопроводности λ и температуропроводности a от объемной влажности $W_{об}$ для супесчаной почвы исследуемого участка. Анализ полученных зависимостей показывает, что в исследованных пределах влажности зависимость теплопроводности и объемной теплоемкости почвы от объемной влажности изменяется по линейному закону. При этом характерно, что теплопроводность с увеличением влажности быстрее растет,

чем теплоемкость, а температуропроводность с изменением влажности остается практически постоянной.

Литература

1. Теплофизические свойства и режимы черноземов Приобья / В. П. Панфилов [и др.]; Отв. ред. П. С. Панин. – Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1981. – 120 с.
2. Куртнер, Д. А. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте / Д. А. Куртнер, А. Ф. Чудновский. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 299 с.

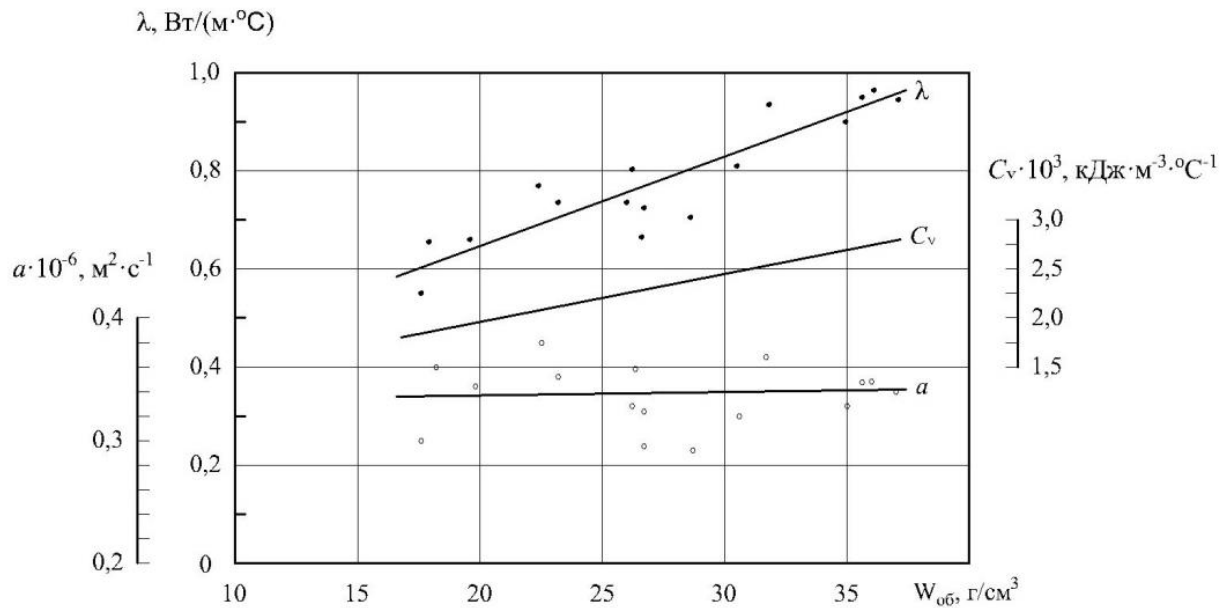


Рис. Зависимость коэффициентов объемной теплоемкости C_v , теплопроводности λ и температуропроводности a от объемной влажности $W_{об}$ для супесчаной почвы

**Инновационные технологии
в развитии естественных наук
и современного образования**

Автономный солнечный опреснитель воды

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Работа относится к области обработки минерализованной или загрязненной воды и может быть использована для разработки энергоэффективных средств дистилляции воды в быту, походных условиях, а также при чрезвычайных ситуациях. Предложенная конструкция автономного солнечного опреснителя воды позволит увеличить производительность дистилляции и энергетическую эффективность опреснения воды.

Известно, что на Земле запасы (объем) пресной воды составляют 35 млн км³, из них 60 % составляют ледники, айсберги и постоянный снег и порядка 30 % находится глубоко под землей. При этом следует отметить, что на пресные озера и реки приходится всего 93 тыс км³, а качество воды из поверхностных источников с каждым годом становится все ниже.

Миллионы людей испытывают дефицит пресной воды, многие умирают от болезней, связанных с отсутствием надлежащих водоснабжения, санитарии и гигиены. Запасы пресной воды стремительно сокращаются, а спрос на нее растет. Одним из способов преодоления дефицита пресной воды является опреснение морской и других соленых вод.

Системы по очистке воды постепенно занимают свое место в различных сферах жизнедеятельности человека. Большинство из этих систем работает на электричестве. Естественной и экологически чистой альтернативой использования электроэнергии является солнечная энергия, которая может использоваться для дистилляции – преобразования солоноватой или морской воды в качественную питьевую воду [1; 2]. Автономные солнечные опреснители воды отличаются простой конструкцией, требуют сравнительно небольших капитальных вложений и не нуждаются в квалифицированном уходе.

Нами предлагается автономный солнечный опреснитель воды, конструкция которого приведена на рис.

В автономном солнечном опреснителе воды герметичная зачерненная снаружи емкость для опресняемой воды 1 через первый теплоизолирующий патрубок 2 герметично соединена с отверстием 8 в днище емкости 3, а через второй теплоизолирующий патрубок 6 и трубу 7 – с емкостью для чистой воды 4. Емкость для чистой воды 4 закреплена к внешней поверхности одной из зеркальных стенок емкости 3 и соединена с наружным патрубком 5.

Место соединения наружного патрубка 5 с емкостью для чистой воды 4 находится выше уровня расположения первого теплоизолирующего патрубка 2. В емкости 3 как минимум три стенки выполнены зеркальными и оптически связаны с емкостью для опресняемой воды 1. Верхняя и нижняя стенки емкости для опресняемой воды 1 и зеркальные стенки емкости 3 выполнены наклонными к горизонту, что дает более эффективно использовать отраженное солнечное излучение для нагревания воды.

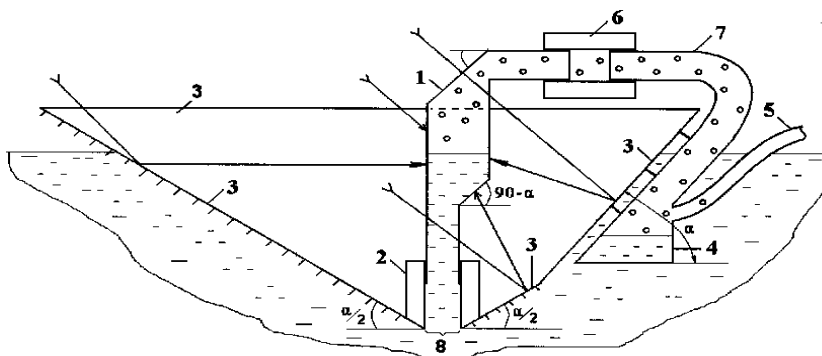


Рис. Автономный солнечный опреснитель воды:

1 – емкость для опресняемой воды; 2 – первый теплоизолирующий патрубок;
3 – емкость; 4 – емкость для чистой воды; 5 – наружный патрубок; 6 – второй
теплоизолирующий патрубок; 7 – труба; 8 – отверстие

Для эффективного решения поставленной технической задачи угол наклона к горизонту верхней и нижней стенок емкости для опресняемой воды равен $90^\circ - \alpha$, где α – угол максимального солнцестояния, а одна из зеркальных стенок емкости расположена под углом α к горизонту, равным углу максимального солнцестояния, а остальные – под углом $\alpha/2$ к горизонту. Емкость для чистой воды в рабочем режиме имеет тепловой контакт с опресняемой водой.

Совокупность указанных признаков позволяет решить техническую задачу за счет исключения потребления электрической энергии и увеличения сбора солнечной энергии для процессов нагревания, кипения и испарения опресняемой воды, а также обеспечения оптимального процесса конденсации пара.

В конкретном исполнении емкость для опресняемой воды 1 выполнена из сплава Д16Т, гальванически покрытого светопоглощающей пленкой. Верхняя и нижняя стенки емкости для опресняемой воды 1 расположены

под углом к горизонту, равным $90^\circ - \alpha$. Первый 2 и второй 6 теплоизолирующие патрубки выполнены из изопрофлекса 135А диаметром 50 мм. Зеркальные стенки емкости 3 выполнены из полированного сплава Д16Т и покрыты зеркальной пленкой, например, алюминиевой, толщиной 1 мкм. Емкость для чистой воды 4, наружный патрубок 5, труба 7 и емкость 3 выполнены из сплава Д16Т.

Емкость 3 располагают на поверхности водного объекта опресняемой воды, которая через отверстие 8 в днище и первый теплоизолирующий патрубок 2 поступает по закону сообщающихся сосудов в емкость для опресняемой воды 1. Под действием прямого солнечного излучения и отраженного от зеркальных стенок емкости 3 емкость для опресняемой воды 1 нагревается, и за счет теплопередачи осуществляется процесс нагревания содержащейся в ней опресняемой воды. Так как емкость для опресняемой воды 1 теплоизолирована от элементов устройства первым 2 и вторым 6 теплоизолирующими патрубками, то процесс нагревания осуществляется эффективно. При достижении температуры кипения опресняемой воды, находящейся внутри емкости для опресняемой воды 1, начинается процесс парообразования. Большая часть пара, выходящего из емкости для опресняемой воды 1, проходит по второму теплоизолирующему патрубку 6 и трубе 7, где конденсируется и затем накапливается в емкости для чистой воды 4. Несконденсированная часть пара и опресненная вода через наружный патрубок 5 поступают для нужд потребления (питья и обогрева).

Предложенная конструкция автономного солнечного опреснителя воды позволит увеличить производительность дистилляции и энергетическую эффективность опреснения воды за счет исключения потребления электрической энергии и увеличения сбора солнечной энергии для процессов нагревания, кипения и испарения опресняемой воды, а также обеспечения оптимального процесса конденсации пара.

Литература

1. Кирпичникова, И. М. Опреснение воды с использованием энергии ветра и солнца / И. М. Кирпичникова // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 5. – С. 22–25.
2. Петров, А. Г. Современные решения по опреснению морской и подземной воды: сокращение энергозатрат и утилизация концентратов / А. Г. Петров, А. П. Андронов, В. А. Головесов // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 15. – С. 169–182.

Тонкопленочный преобразователь солнечной энергии

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Работа относится к области полимерных электронных технологий. В рассмотренном тонкопленочном преобразователе энергия всего спектрального диапазона входного солнечного излучения (за исключением ультрафиолетового) преобразуется в энергию постоянного электрического тока. КПД такого устройства может достигать величины 40–60 %. Более того, в тонкопленочный преобразователь также эффективно поглощает и отражает солнечное излучение ИК-диапазона, что позволяет использовать его для ослабления интенсивного теплового потока.

Среди альтернативных источников энергии солнечное излучение является наиболее перспективным. Энергия Солнца является самым мощным, экологически чистым, естественным и общедоступным источником. Использование этого источника энергии возможно во многих регионах мира, в том числе и в Беларуси. Главным фактором, обуславливающим развитие фотовольтаики (использование энергии солнца) в Беларуси, – это наличие достаточного количества световой энергии, падающей на единицу поверхности. По количеству световой энергии, падающей на единицу поверхности (инсоляции), Беларусь находится примерно на одном уровне с такими странами, как Германия, Япония, Канада, где солнечная энергетика развивается очень активно.

В последние годы на рынок солнечной энергетики активно выходят именно тонкопленочные преобразователи солнечной энергии [1–3]. Их доля в общем объеме солнечных модулей составляет уже более 3 %, причем происходит дальнейшее увеличение этой доли. Одним из путей увеличения эффективности этих устройств является повышение КПД преобразования солнечной радиации в электричество при одновременном расширении функциональных возможностей устройства за счет эффективного поглощения и отражения части ИК-излучения солнечного спектра, что и предполагает рассмотренная конструкция тонкопленочного преобразователя (рис.).

Падающее солнечное излучение видимого λ_1 и инфракрасного (ИК) λ_2 диапазонов электромагнитных волн оптически связано с проводящими областями внешнего активного слоя 2 диэлектрической подложки 1 непосредственно. Это же излучение, но преломленное и отраженное, как указано на

рис. 1, также оптически связано с проводящими областями внешнего активного слоя 2 диэлектрической подложки 1 через нее и внутренний активный слой 3. Проводящие области выходные 4 электрически связаны как непосредственно, так и туннельно через наноразмерные зазоры 5, с проводящими приемными областями 6.

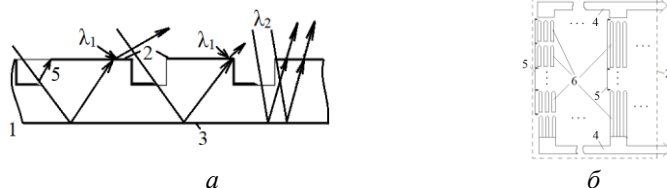


Рис. Схема расположения элементов:

a – устройства; *б* – топология внешнего активного слоя; 1 – диэлектрическая подложка; 2 – проводящие области внешнего активного слоя; 3 – внутренний активный слой; 4 – проводящие области выходные; 5 – наноразмерные зазоры; 6 – проводящие приемные области

Солнечное излучение с длиной волны λ_1 видимого диапазона электромагнитных волн, попадая на внешнюю сторону диэлектрической подложки 1 под углом, близким к нормальному падению, практически полностью поглощается проводящими приемными областями 6 – несимметричными полуволновыми вибраторами соответствующих размеров. Под действием электрического поля указанного электромагнитного излучения свободные электроны никеля последовательно туннелируют через заостренные концы проводящих приемных областей 6 и наноразмерные зазоры 5. Таким образом осуществляется преобразование энергии видимого диапазона солнечного электромагнитного излучения в энергию электрического тока высокой частоты, соответствующей падающему излучению, с последующим его детектированием в постоянный электрический ток в наноразмерных зазорах 5.

При падении солнечного излучения с длиной волны λ_1 под углом к поверхности диэлектрической подложки 1, отличающимся от нормального падения, часть мощности этого излучения, попадающая на проводящие приемные области 6, будет отражаться наружу, а поглощенная часть излучения преобразуется в энергию постоянного электрического тока выше описанным образом. В тоже время часть мощности этого солнечного излучения, поступающая на участки, не занятые проводящими областями внешнего активного слоя 2 диэлектрической подложки 1 преломляется и проходит через нее. Затем оно отклоняется от зеркально отражающего солнечное излучение

внутреннего активного слоя 3 и поступает на внутреннюю сторону проводящих областей внешнего активного слоя 2. Дальше это излучение аналогичным образом преобразуется в энергию постоянного электрического тока. Так как в данном случае перепад коэффициентов преломления на границе перехода диэлектрик – металл будет меньше, чем на границе перехода воздух – металл, то создаются условия для поглощения солнечного излучения рассматриваемого диапазона длин волн.

Для входного солнечного излучения ИК-диапазона с длиной волны λ_2 проводящие области внешнего активного слоя 2 диэлектрической подложки 1 будут полупрозрачными при любых углах падения. Поэтому часть солнечного излучения рассматриваемого диапазона, поглощенная проводящими приемными областями б диэлектрической подложки 1, преобразуется в энергию постоянного электрического тока аналогично. Прошедшая часть этого солнечного излучения через проводящие приемные области б и диэлектрическую подложку 1, отклоняется от зеркально отражающего солнечное излучение внутреннего активного слоя 3. Затем поступает на внутреннюю сторону проводящих областей внешнего активного слоя 2, где точно также преобразуется в энергию постоянного электрического тока. Часть солнечного излучения ИК-диапазона, поступающая на участки, не занятые проводящими областями внешнего активного слоя 2 диэлектрической подложки 1 преломляется и проходит через нее. После зеркального отражения от внутреннего активного слоя 3 поглощается в проводящих приемных областях б и аналогичным образом преобразуется в электричество.

В рассмотренном электронном тонкопленочном элементе энергия всего спектрального диапазона входного солнечного излучения (за исключением ультрафиолетового) преобразуется в энергию постоянного электрического тока. КПД такого широкоспектрального устройства может достигать порядка 40–60 %. Более того, в электронном тонкопленочном элементе также эффективно поглощается и отражается ИК-диапазон солнечного излучения, что позволяет использовать его для ослабления интенсивного теплового потока.

Литература

1. Marangi, F. New strategies for solar cells beyond the visible spectral range / F. Marangi, M. Lombardo, A. Villa, Scotognella // *Optical Materials: X*. – 2021. Vol. 11. – P. 100083-1–26.
2. Esman, A. K. Simulation of tandem thin-film solar cell on the basis of CuInSe_2 / A. K. Esman, V. K. Kuleshov, V. A. Potachits, G. L. Zykov // *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. And Power Eng. Assoc.* – Vol. 63, No. 1. – P. 5–13.

3. Есман, А. К. Многопереходные солнечные элементы на основе GaInN / GaN / GaInP / GaAs / Si / InGaAsP / А. К. Есман, Г. Л. Зыков, В. А. Потачиц // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – Т. 52, № 3. – С. 18–21.

УДК 538.54.16

Условия получения сверхпроводящих керамик на основе ртути

Савчук Г. К.¹, Летко А. К.², Юркевич Н. П.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»

Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты исследований условий синтеза сверхпроводящего соединения $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ и их влияния на температуру перехода в сверхпроводящее состояние. Установлено, что синтезированные образцы Hg-1201 имеют узкую область гомогенности по кислороду. Получено, что от отношения массы навески к реакционному объему ширину и температуру сверхпроводящего перехода не зависят.

Изучение физики сверхпроводящих материалов непрерывно продолжается с момента открытия явления сверхпроводимости. Идея технического прорыва в этой области остается важной по настоящий день. До сих пор непонятен механизм сверхпроводимости. Не исключено, что он является фононным, или спиновым, или экситонным и т. д. [1].

Целью данной работы является изучение условий получения и их влияния на температуру перехода в сверхпроводящее состояние в сверхпроводниках на основе $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$.

Синтез соединения $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ (Hg-1201) производился из высокочистых оксидов BaO_2 , HgO и CuO [2; 3]. Гомогенизированная в спирте смесь исходных компонентов прессовалась в таблетки диаметром 0,008 м и толщиной 0,004 м при давлении $500 \cdot 10^6$ Па. Таблетки в алуидовых тиглях помещали в вакуумированные до 10^{-2} Па кварцевые ампулы. Ампулы в стальном контейнере нагревались в печи в течение 1 ч до температуры 700 К, при которой начинается интенсивное разложение оксида ртути HgO . Затем нагрев продолжали со скоростью 30 К/ч до температур 1070–1100 К, при которых ампулы выдерживались от 1 ч до 50 ч. Температуру в печи контролировали с точностью ± 2 К

Рентгенографические исследования, проведенные на синтезированных образцах после предварительной шлифовки поверхности таблеток, показали, что образцы содержат дифракционные максимумы различных фаз. Во избежание влияния возможного текстурирования синтезированных материалов на результаты рентгенофазового анализа он проводился на порошках.

Полученные данные исследований, представленные в табл., показали, что фазовый состав образцов зависит от отношения массы навески к свободному объему ампулы, максимальной температуры синтеза и скорости охлаждения. Соединение $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ синтезировалось при температурах (1070–1080) К при отношениях массы навески к свободному объему, находящихся в пределах (10–30) мг/см^3 . Количество фазы $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ в образцах не зависело от длительности синтеза и возрастало при увеличении отношения массы навески к свободному объему ампулы

Таблица

Скорость охл. К/ч	$T_{\text{синт}}$, К	$t_{\text{синтеза}}$, ч	$m/V_{\text{амп}}$, мг/см^3	Фазовый состав	T_c , К	ΔT , К
30	1070	1	10	HgO, Hg-1201	91	11
30	1070	1	20	HgO, Hg-1201	92	10
30	1070	50	20	HgO, Hg-1201	97	4
30	1070	24	8	HgO, Ba_2CuO_3	–	–
30	1070	24	32	HgO, BaO_2	–	–
30	1100	24	20	HgO, Ba_2CuO_3 ,	–	–
15	1070	24	20	HgO, Ba_2CuO_3	–	–
20	1070	24	20	HgO, 120,	96	
400	1070	24	20	HgO, Hg-1201	91	8
50	1100	24	35	HgO, Hg-1201	97	4

При температурах синтеза 1150 К и выше фаза $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ не обнаруживалась в образцах для всех исследованных интервалов концентраций компонентов, в независимости от скоростей охлаждения. Отсутствовала фаза $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ в продуктах синтеза и при большом содержании вещества в ампуле ($> 35 \text{ мг/см}^3$), что связано с превышением парциального давления кислорода критического значения, изменяющего характер фазовых равновесий. Этот вывод подтверждается тем фактом, что в этом случае после синтеза образцы содержат фазы BaO_2 и BaCuO_3 , которые в сочетании с фазой Hg-1201 в многофазной системе не встречаются.

Выявленное изменение характера фазообразования в многокомпонентной системе Hg-Ba-Cu-O в зависимости от парциального давления кислорода позволяет сделать вывод о том, что одним из факторов, влияющих на

образование сверхпроводящей фазы $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$, является скорость охлаждения. Все эксперименты по исследованию этого влияния проводились при фиксированной концентрации вещества в ампуле 20 мг/см^3 . Температура на последнем этапе синтеза составляла $1070 \pm 3 \text{ К}$, время выдержки при этой температуре – 24 ч. Установлено, что воспроизводимое образование фазы Hg-1201 происходит при скоростях охлаждения более 15 К/ч , в том числе в режиме выключенной печи ($\approx 400 \text{ К/ч}$). При медленном охлаждении ампулы фаза Hg-1201 не образуется. В этом случае в состав таблеток входят Ba_2CuO_3 , HgO , BaO_2 и другие фазы.

Микроструктурные исследования образцов $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$ показали, что соединение кристаллизуется в виде тонких пластинок, пустоты между которыми заполняют частицы других фаз.

Из представленной на рис. температурной зависимости диамагнитного отклика фазы Hg-1201 видно, что образцы имеют узкий переход, при чем начало сверхпроводящего перехода и его ширина, как свидетельствуют данные табл., не зависят от отношения массы навески к реакционному объему. Это говорит об узкой области гомогенности по кислороду полученной сверхпроводящей фазы. Следовательно, фаза Hg-1201 при стандартных условиях является метастабильной и имеет верхнюю и нижнюю температуру устойчивости. Заметной зависимости температуры сверхпроводящего перехода T_c фазы Hg-1201 от скорости охлаждения (табл.) не наблюдалось, кроме незначительного изменения ширины ΔT сверхпроводящего перехода при закалке образцов.

Наиболее совершенные сверхпроводящие образцы фазы Hg-1201 имели температуру перехода $T_c = 97 \text{ К}$ при ширине перехода $\Delta T = 4 \text{ К}$.

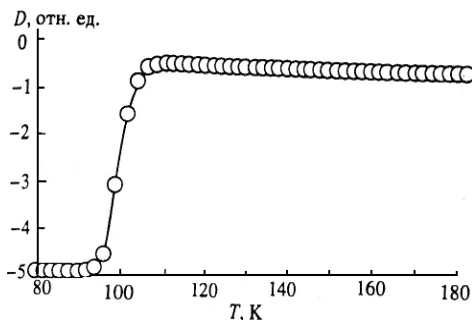


Рис. Температурная зависимость эффекта Мейснера фазы Hg-1201

Литература

1. Чу, С. W. Дырочно-легированные купратные высокотемпературные сверхпроводники / С. W. Чу, L. Z. Дэн, В. Ур. // Physica C: Superconductivity – 2015. – V. 514 – P. 290–313.

2. 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.

3. Akhmedov, A. The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications / A. Akhmedov, G. Sauchuk, N. Yurkevich, S. Khudoyberganov, M. Bazarov // E3S Web of Conferences 264, 04020.

УДК 37.01:378.4 (476)

Проектирование и разработка электронного учебно-методического комплекса «Физика атомов и молекул. Радиоактивность»

Юркевич Н. П.¹, Савчук Г. К.¹, Ахмедов А. П.²,
Худойберганов С. Б.², Махмудова Д. Х.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Ташкентский транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В работе рассмотрены основные этапы проектирования и разработки электронного учебно-методического комплекса (ЭУМК) по дисциплине «Физика» для студентов-атомщиков технического университета. Определены основные цели и задачи, на решение которых направлена разработка ЭУМК. Разработана компьютерная программа, позволяющая использовать ЭУМК как в on-line, так и в off-line режимах обучения. Представлена структура и организация материалов лекционных и практических занятий, а также методическое обеспечение лабораторного физического практикума по разделу «Физика атомов и молекул. Радиоактивность».

Целью данной работы является проектирование и разработка электронного учебно-методического комплекса по разделу «Физика атомов и молекул. Радиоактивность» для подготовки специалистов, занимающихся инженерным и техническим обслуживанием атомных станций.

Использование компьютерных технологий при подготовке специалистов технического профиля – основной тренд настоящего времени [1–3]. Это касается не только создания методического сопровождения [4–6], но и учебно-методических комплексов в электронном виде. При проектировании и разработке электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК) по курсу физики следует учитывать ряд факторов. Среди них особое внимание должно быть уделено интегрированности учебно-образовательных, методо-

логических, дидактических и компьютерных технологий в единую, органичную систему. Такая система должна позволять проводить занятия как в on-line, так и в off-line режимах обучения, быть достаточно компактной по текстовому содержанию, максимально автономной и достаточной для выполнения учебной программы. Немаловажным аспектом является дизайн и красочность исполнения, удобство навигации, наличие графического материала.

На этапе проектирования ЭУМК была изучена вся нормативная документация, а также проанализирован опыт разработки подобных комплексов в различных ВУЗах, рассмотрен ряд работ теоретического характера по современным образовательным технологиям [7; 8], определены цели ЭУМК по дисциплине «Физика», к которым относятся:

- изучение основных понятий, законов, принципов физики;
- приблизить курс физики к особенностям и содержанию инженерной деятельности и показать место физики в современной технике и современных технологиях;
- создание у студентов широкой теоретической подготовки в области физики;
- обеспечение методологической подготовки, позволяющей понимать процесс познания и структуру научного знания, использовать различные физические понятия, определять границы применимости принципов, законов и теорий;
- ознакомление с современной научной аппаратурой, формирование навыков проведения физического эксперимента;
- овладение методами решения конкретных задач;
- формирование умения оценивать степень достоверности и точность результатов, полученных в экспериментальных или теоретических исследованиях.

Этап разработки ЭУМК включал в себя создание компьютерного приложения – своеобразной оболочки (рис. 1), наполнением которой являются файлы с содержанием рассматриваемого курса.

В данной работе разработка ЭУМК проводилась по разделу «Физика атомов и молекул. Радиоактивность» курса физики, который читается в техническом вузе для ряда специальностей, в частности, при подготовке инженеров-атомщиков. Поэтому данный раздел физики требует более углубленного изучения, что и является причиной вынесения его в отдельный учебно-методический комплекс.

По требованиям документов, регламентирующих разработку и создание ЭУМК, в структуре комплекса выделяются разделы: теоретический раздел (рис. 1–2), практический раздел (рис. 3), раздел физического лабораторного

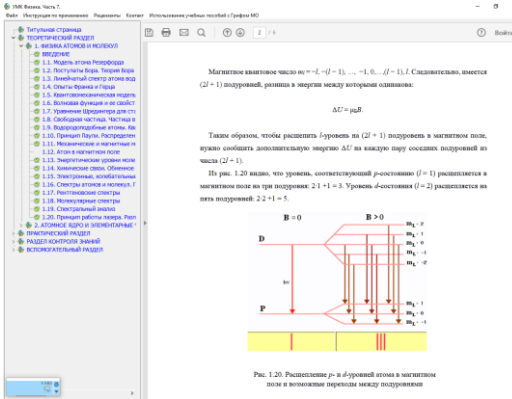


Рис. 1. Структура ЭУМК с элементом лекционного материала по теме «Атом в магнитном поле» по расщеплению уровней атома в магнитном поле

практикума (рис. 4), раздел контроля знаний (рис. 5), а так же вспомогательный раздел.

Теоретический раздел представлен оригинальными лекциями, разработанными в соответствии с типовой учебной программой по физике. На рис. 1–2 показаны элементы организации лекционного материала по вопросу «Атом в магнитном поле» с переходами по темам занятий.

Практический раздел (рис. 3) содержит оригинальные авторские материалы сборника задач курса физики [9].

Физический лабораторный практикум (рис. 4) представлен авторскими учебно-методическими материалами, а также разработками по проведению

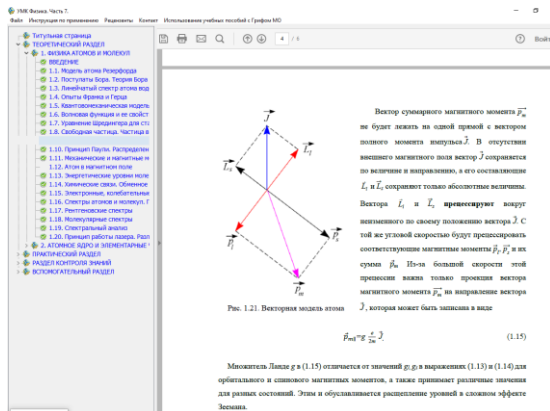


Рис. 2. Элемент лекционного материала по изучению векторной модели атома в магнитном поле

экспериментальных исследований физических процессов при обучении студентов.

Задача 4. Частица находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l . Найдите вероятность обнаружения частицы в областях: $0 \leq x \leq l/3$ и $l/3 < x \leq 2l/3$.

Дано:
 $0 \leq x \leq l/3$;
 $l/3 < x \leq 2l/3$;
 $n = 1$

Найти: w_1, w_2

Решение. Элементарная вероятность обнаружения частицы в интервале dx равна

$$dw = |\psi(x)|^2 dx.$$

Тогда вероятность w_1 найти частицу в области $0 \leq x \leq l/3$ определяется следующим образом

$$w_1 = \int_0^{l/3} |\psi(x)|^2 dx. \quad (37.2)$$

Собственная волновая функция частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме, имеет вид

$$\psi_n(x) = \sqrt{2/l} \sin \frac{\pi n}{l} x. \quad (37.3)$$

Рис. 3. Элемент материала для проведения практических занятий

Лабораторная работа № 73
РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомиться с одной из составляющих естественного радиационного фона Земли – излучением естественных радионуклидов; экспериментально определить удельную активность радионуклидов, содержащихся в некоторых строительных материалах. Оценить степень загрязнения строительных материалов и сделать заключение о возможности их использования при возведении жилых и производственных сооружений.

Оборудование и материалы:
 радиометр РКТ-АТ1520, набор проб.

Рис. 4. Элемент материала для проведения лабораторного физического практикума

Раздел контроля знаний (рис. 5) представлен порядка ста контрольными вопросами и задачами для самостоятельного решения по темам дисциплины.

Во вспомогательный раздел включены: типовая программа по физике, перечни учебников, учебных пособий, электронных изданий, рекомендуемых к использованию при изучении дисциплины, справочные таблицы, методические рекомендации по решению задач.

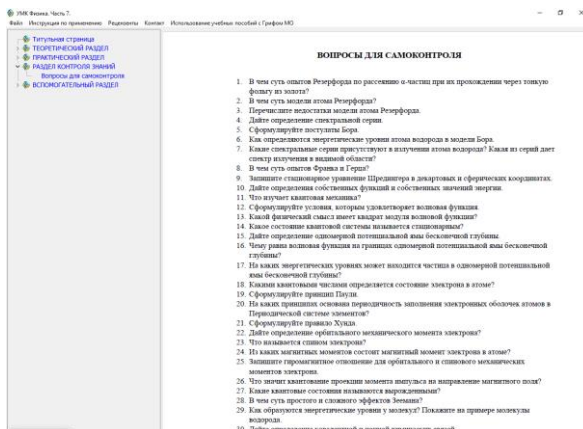


Рис. 5. Элемент раздела контроля знаний

Встроенный браузер для просмотра информационных страниц, размеры которого можно регулировать для более удобного просмотра, позволяет динамично использовать ЭУМК, показывать любую страницу «в один клик».

Работа с данным ЭУМК показала его эффективность как при проведении аудиторных занятий при наличии компьютерного и мультимедийного оборудования, так и при выполнении студентами самостоятельной работы.

Литература

1. Yurkevich, N. P. Digital technologies in the educational space / N. P. Yurkevich, H. K. Sauchuk, A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II Респ. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апреля 2022. – Минск, 2022. – С. 389–393.

2. Юркевич, Н. П. Использование компьютерных технологий для контроля знаний студентов при выполнении физического практикума в рамках работы совместного факультета ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов, Р. М. Мирсаатов, М. А. Темирова, С. Б. Худойберганов // ВОДА. ГАЗ. ТЕПЛО 2020: материалы Междун. науч.-техн.

конф., посвящ. 100-летию Белор. нац. техн. ун-та, 100-лет. каф. «Гидротехнич. и энергетич. строит., водный транспорт и гидравлика», 90-лет. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 окт. 2020. – Минск, 2020. – С. 324–328.

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. Юркевич, Н. П. Исследование упругих свойств древесины при выполнении лабораторного физического практикума в курсе общей физики / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук // Физическое образование в вузах. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 96–101.

5. Юркевич, Н. П. Исследование распределения магнитного поля в многослойном соленоиде конечной длины / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, П. Г. Кужир // Физическое образование в вузах. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 49–60.

6. Sauchuk, G. K. The teaching of students of the construction engineering specializations using the modern computational structural crystallography / G. K. Sauchuk, N. P. Yurkevich // Scientific Light. – 2018. – Vol. 1, No 19. – P. 15–20.

7. Янушкевич Ф. Технологии обучения в системе высшего образования / Ф. Янушкевич. – М.: Высшая школа, 1986. – 215 с.

8. Бабко, Г. И. Учебно-методический комплекс: теория и практика проектирования. Методические рекомендации для преподавателей вузов / Г. И. Бабко. – Минск: РИВШ, 2003.

9. Кужир, П. Г. Общая физика: Оптика. Квантовая физика. Физика атомного ядра и элементарных частиц: сборник задач // П. Г. Кужир, Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук. – Минск: БНТУ, 2018. – 197 с.

УДК 53.09

Практическое изучение процесса переработки бытовых и промышленных отходов студентами инженерных специальностей

Бибик А. И.¹, Попко С. В.¹, Петренко С. И.², Кондаков В. Д.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

Современное поколение уже убедилось в том, что окружающая нас природная среда обладает ограниченным эксплуатационным ресурсом. И

хотя сегодня еще не редки случаи безответственного обращения с природой, люди уже начали понимать и по-новому оценивать катастрофические последствия этого.

К каким же последствиям приводит загрязнение, например, земли? В первую очередь к прямому сокращению естественной среды обитания живых существ. Во-вторых, загрязнение какого-то района создает опасность для соседних с ним территорий из-за миграции загрязнений, например, через подпочвенные водоносные горизонты. В-третьих, загрязнение воздуха вредными газами, выделяющимися из отходов, включая метан и двуокись углерода, создающую парниковый эффект, может привести к глобальным изменениям окружающей среды. В настоящее время также возникают проблемы охраны окружающей среды в связи с производством и применением полимеров [1]. Масштабы данной проблемы можно представить, если принять во внимание, что мировое производство одного из наиболее распространенных и доступных полимеров – полиэтилена достигает сегодня десятков миллионов тонн в год. При указанных масштабах годового производства такого объема полиэтилена достаточно чтобы за 10 лет покрыть пленкой толщиной 50 мкм всю Европу.

Наиболее перспективным и разумным способом снижения загрязнения окружающей среды является переработка всех видов как бытовых, так и промышленных отходов [2].

К бытовым отходам относятся: пищевые отходы, стекло, бумага, пластик и другие полимеры, различные металлы, бытовая техника. К промышленным отходам относятся: различные металлы, различные полимеры, стекла, строительные отходы, изношенное дорожное покрытие, неисправное электрооборудование.

Студентам первого и второго курсов предлагается практическое исследование применения бытовых отходов в виде устаревших компьютеров, сотовых телефонов, ноутбуков, планшетов и другой электронной техники. Перед непосредственной работой над темой студенты знакомятся с последними достижениями робототехники, программным обеспечением, применяющимся в процессе переработки отходов, материаловедением, устройством датчиков, распознающих материалы при помощи лазерных, магнитных, индукционных и высокочастотных излучений.

Затем студенты получают задание:

- 1) измельчить механическим способом материалы (для этого использовать перемалывающие шнековые, прессовые и другие машины);
- 2) при помощи магнитов или электромагнитов отделить магнитные материалы в распределительные отсеки;

- 3) отделить мелкие материалы и пластмассы с помощью аэродинамических устройств;
- 4) очистить металлы от пластика, картона, бумаги;
- 5) повысить степень измельчения отдельно металлических и пластиковых частиц;
- 6) менее измельченные частицы поместить в плавильные агрегаты (муфельная печь, электрический конвертер).

На основе своих наблюдений студенты должны создать наиболее оптимальные модели [3] переработки отходов. Одна из таких моделей представлена в виде блок-схемы на рис.

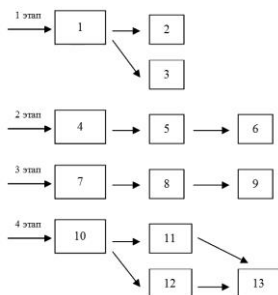


Рис. Блок-схема переработки отходов:

1 – дробилка, измельчение до размеров не более 2 см; 2 – отделение более тяжелых частиц; 3 – отделение более легких частиц; 4 – дробление до размеров менее 2 см; 5 – магнитно-электростатическая установка; 6 – отделение пластика и бумаги от металла; 7 – термическая обработка; 8 – отделение сгораемых остатков от спекшихся металлических частиц; 9 – нейтрализация сгораемых остатков; 10 – сортировка металлических частиц на мелкие (11) и крупные (12); 13 – отправка на плавильный завод

На первом этапе все вышеуказанные отходы поступают в дробилку, где измельчаются до размеров не более 2 см. Кроме этого далее происходит отделение более легких частиц от более тяжелых с использованием ветродувной установки. На втором этапе более тяжелые частицы еще раз измельчаются и проходят через магнитную и электростатическую установки, где отделяются магнитные и цветные металлы от пластика и бумаги. На третьем этапе отделенный металл проходит термическую обработку, при которой сгорают оставшиеся соединенными с металлом пластик и бумага. При этом частички металла спекаются в более крупные кусочки. На четвертом этапе получившиеся кусочки сортируются по размеру и отправляются на металлоплавильный завод, где в плавильных и

муфельных печах происходит плавление и разделение металлов по типам. В результате переработки получается несколько видов металлов, которые в дальнейшем используются по назначению, не загрязняя окружающую среду.

В ходе таких занятий студенты охотно занимаются творчеством, поиском новых решений, применяют их к ситуации. Результаты научных исследований студентов составляют основу докладов на студенческих конференциях, дипломных и конкурсных работ.

Литература

1. Зезин, А. Б. Полимеры и окружающая среда / А. Б. Зезин // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 2. – С. 57–64.

2. О превышении нормативов выбросов/сбросов загрязняющих веществ предприятиями Республики Беларусь // Информационный бюллетень РУП «Бел НИЦ Экология». – Минск, 2006. – № 23. – 96 с.

3. Докурно, Г. С. Проблема обращения с отходами производства в Республике Беларусь / Г. С. Докурно, А. В. Малащенко // Экологический вестник. – 2015. – Т. 33, № 3. – С. 45–53.

УДК 537.311.31

Изучение влияния квантовых поправок к проводимости в области низких температур для неупорядоченных материалов

Борисов В. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Во многих материалах присутствуют неоднородности. Они приводят к тому, что классическая теория Друде не выполняется. Таким образом, необходимо рассматривать квантовые поправки, которые влияют на электропроводность. Использование этих особенностей для разработки приборов и датчиков требует необходимости понимания процессов, подбор параметров и изучение зависимости электропроводности от температуры и макроскопических параметров.

Цель исследования: рассмотреть условия наблюдения слабой локализации, которая возникает в неупорядоченных материалах, подбор параметров металла, при которых может наблюдаться антилокализация.

Для чистых металлов при низкой температуре зависимость сопротивления от температуры выходит на насыщения при исчезновении рассеяния на фононах. Рассеяние происходит только на дефектах структуры (рис. 1).

Однако для некоторых образцов наблюдается аномальное поведение сопротивления. Это объясняется двумя эффектами: 1) электро-электронное взаимодействие и 2) слабая локализация.

Слабой локализацией называется квантовая поправка к металлической проводимости, обусловленная волновыми свойствами электрона, проявляющимися на фоне диффузионного движения при большом количестве упругих рассеивателей.

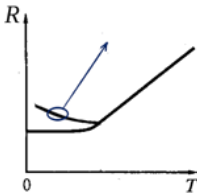


Рис. 1. Зависимость сопротивления от температуры для типичных металлов и отклонение зависимости за счет поправки к классической электронной теории Друде

Эффект слабой локализации возникает за счет интерференции волновых функций электрона, описавшего замкнутую траекторию и вернувшегося в исходную точку за счет упруго рассеяния на примесях для двух противоположных направлений движения. В этом случае электрон имеет фиксированную проекцию спина $+1/2$ или $-1/2$. Однако все меняется при наличии спин-орбитального взаимодействия, когда спин электрона может переворачиваться при упругом рассеянии. Тогда движения по двум траекториям в одном направлении переме-

шиваются. Спин-орбитальное взаимодействие – в квантовой физике взаимодействие между движущейся частицей и ее собственным магнитным моментом, обусловленным спином частицы [3].

Антилокализация – эффект подавления слабой локализации при повороте спина за счет спин-орбитального взаимодействия.

Зависимость проводимости σ от магнитного поля B с учетом эффекта слабой локализации для неупорядоченных металлов задается следующим выражением:

$$\sigma(B) = \frac{e^2}{\pi h} \frac{3}{2} \left[\Psi \left(\frac{1}{2} + \frac{h}{4e} \cdot \frac{1}{L_1^2 B} \right) - \ln \left(\frac{h}{4e} \cdot \frac{1}{L_1^2 B} \right) \right] - \frac{e^2}{\pi h} \frac{1}{2} \left[\Psi \left(\frac{1}{2} + \frac{h}{4e} \cdot \frac{1}{L_1^2 B} \right) - \ln \left(\frac{h}{4e} \cdot \frac{1}{L_1^2 B} \right) \right],$$

где Ψ – дигамма-функция; h – постоянная Планка; e – заряд электрона; L_1 , L_0 – длины, характеризующие процессы потери фазы волновой функции

электронов в процессе неупругого рассеяния на примесях и в результате спин-орбитального взаимодействия.

Они, в свою очередь, представляют собой комбинации параметров

$$\frac{1}{\sqrt{L_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_I}} + \frac{4}{3} \frac{1}{\sqrt{L_{SO}}} + \frac{2}{3} \frac{1}{\sqrt{L_f}},$$

$$\frac{1}{\sqrt{L_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_I}} + 2 \frac{1}{\sqrt{L_{Sf}}},$$

где L_X – длина рассеяния ($X = O, \Phi, SO, Sf$): L_O – упругого, L_Φ – неупругого, L_{SO} – за счет спин-орбитального взаимодействия, L_{Sf} – на магнитной примеси [2].

Длина рассеяния связана со временем рассеяния выражением

$$L_x = \sqrt{D \cdot \tau_x},$$

где D – коэффициент диффузии.

Были взяты типичные условия параметра $L_0 = 0.5$ мкм. И варьировалось значение параметра L_1 от 0,03 до 0,5 мкм. Результаты предоставлены на рис. 2.

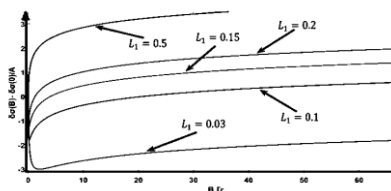


Рис. 2. Зависимость проводимости от магнитного поля при фиксированном L_0

По мере увеличения параметра L_1 эффект антилокализации становился все меньше и после какого-то значения параметра $L_1 \approx 0,15$ мкм совсем исчезает. Это объясняется тем, что при малых полях доминирует спин-орбитальное взаимодействие, которое напрямую зависит от величины приложенного магнитного поля. Если время, за которое электрон описывает замкнутую траекторию меньше времени спин-орбитального рассеяния τ_{SO} , тогда в этом случае поворота спина не происходит, и, как следствие, спин-орбитальное взаимодействие отсутствует [3].

Когда время, за которое электрон описывает замкнутую траекторию, лежит между временем спин-орбитального рассеяния τ_{SO} и временем упругого рассеяния τ_0 , тогда оставшаяся после переворотов спина интерференционная добавка не уменьшает, а увеличивает проводимость.

Варьируя значения L_0 , фиксировались значения параметра L_1 , при котором наблюдался эффект антилокализации. На рис. 3 изображена кривая в логарифмическом масштабе, которая показывает, что при выборе параметров таких, что они попадают ниже кривой, будет наблюдаться эффект антилокализации, в противном случае нет.

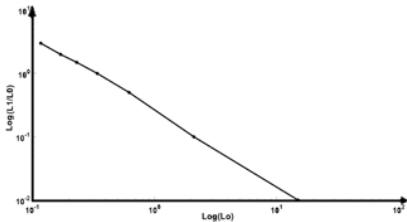


Рис. 3. Кривая для наблюдения эффекта антилокализации

Из литературных источников взяты типичные значения параметров. Длина потери фазы за счет спин-орбитального взаимодействия $L_{SO} = 0,3$ мкм. Строились кривые магнитосопротивления для двух случаев. Длина, определяющая вращение спина в результате взаимодействия с рассеивающим центром $L_{sf} = \infty$ для графиков, что означает отсутствие магнитных примесей.

И диффузная длина потери фазы (равная при текущих условиях L_0) $L_\phi = 1$ мк $(1 \cdot K/T)^2$. Из рис. 4 видно, что эффект антилокализации ярко выражен при 1 К и по мере увеличения температуры исчезает вовсе.

При 4 К эффект становится слабее, при 15 К – едва заметен и при 30 К уже не наблюдается.

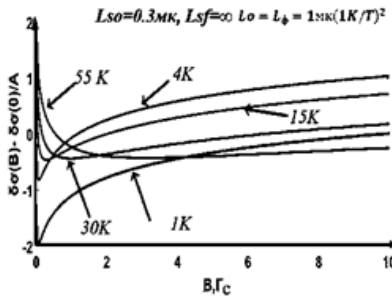


Рис. 4. Зависимость проводимости от внешнего магнитного поля при разных температурах

При 4 К эффект становится слабее, при 15 К – едва заметен и при 30 К уже не наблюдается.

В результате работы были обнаружены условия, при которых наблюдается эффект слабой локализации, найдены соотношения между параметрами для наблюдения антилокализации при разной температуре.

Литература

1. Rosenbaum, R. Superconducting fluctuations and magnetoconductance measurements of thin films in parallel magnetic fields/ R. Rosenbaum // Physical Review B. – 1985. – Vol. 32, № 4. – P. 2190–2199. DOI: 10.1103/physrevb.32.2190.

2. Hikami, S. Spin-Orbit Interaction and Magnetoresistance in the Two Dimensional Random System / S. Hikami, A. I. Larkin, Y. Nagaoka // Prog. Theor. Phys. – 1980. – Vol. 63, № 2. – P. 707–710.

3. Гантмахер, В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В. Ф. Гантмахер. – М.: Физматлит, 2013. – 288 С.

УДК 620.130

Контроль объектов в импульсных магнитных полях

Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Представлены распределения суммарных магнитных полей на поверхности объектов, содержащих внутренние дефекты сплошности. Расчеты проведены для объектов, магнитные свойства которых описаны найденными авторами арктангенсными характеристиками. Полученные распределения используются для построения картин гистерезисной интерференции, позволяющих повысить точность контроля свойств объектов.

Контролю качества объектов с использованием магнитных и электромагнитных методов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Особо следует отметить такой тип контроля, как вихревой контроль [1–2].

Несмотря на значительные успехи указанных методов, они обладают рядом серьезных недостатков. Так, использование точечных датчиков не позволяет получать мгновенные распределения магнитных полей одновременно на больших площадях поверхности объекта, а применение макроскопических датчиков значительных размеров ухудшает пространственное разрешение поступающей информации.

Устранить указанные недостатки позволяют разрабатываемые авторами методы гистерезисной интерференции (HI) [3–7], позволяющие записывать

мгновенные распределения магнитных полей, а при использовании пленочных визуализаторов производить контроль свойств объектов на больших площадях с высоким разрешением в режиме, близком к режиму реального времени.

Таким образом, целью настоящей работы является повышение качества контроля объектов. Поставленная цель достигается путем разработки методов *НИ* для контроля дефектов сплошности объектов.

Теоретическим расчетам полей дефектов в объектах из ферромагнитных материалов и экспериментальным исследованием этих полей посвящены многие работы [8–11]. Отметим, что контроль дефектов с помощью магнитной ленты [8–9] не позволяет получать мгновенные распределения полей дефектов.

Авторы разрабатывают методы *НИ*, в которых могут быть использованы любые теоретические и экспериментальные модели полей дефектов.

Пусть моделью поля дефекта является поле линейного индуктора, соответствующее полю протяженного дефекта, залегающего на заданной глубине. Напряженность суммарного магнитного поля на поверхности объекта состоит из напряженности приложенного поля и поля дефекта. Естественно положить, что напряженность поля дефекта пропорциональна намагниченности материала объекта. Согласно нашим исследованиям [3] зависимость величины сигнала U_1 на выходе магнитной головки (МГ), сканирующей магнитный носитель (МН) от напряженности приложенного магнитного поля для начальной ветви намагничивания используемого МН описывается формулой:

$$U_1 = 23,5 + 24,3 \arctg(0,011H_1 - 1,45), \quad (1)$$

где H_1 – напряженность магнитного поля первого импульса.

Пусть начальная ветвь остаточного намагничивания используемого материала описывается (1). Полагая, что величина U_1 прямо пропорциональна величине остаточной намагниченности материала объекта, получаем величину суммарной напряженности поля первого воздействующего на объект импульса:

$$H_{11} = H_1 + k_1 \cdot U_1 / (x^2 + b^2),$$

где x – расстояние до проекции оси дефекта на поверхности объекта; b – расстояние от источника поля до поверхности объекта; k_1 – постоянный коэффициент.

Находим зависимость величины сигнала U_2 от напряженности магнитного поля второго импульса H_2 для нисходящей гистерезисной ветви [3] материала объекта:

$$U_2 = -23,5 + 0,61 U_{11} + (24,5 + 0,40 U_1) \operatorname{arctg} ((0,011 + 0,000087 U_1) \times H_2 + 1,45 - 0,0016 U_1). \quad (2)$$

Тогда суммарная напряженность магнитного поля второго импульса равна

$$H_{22} = H_2 + k_2 \cdot U_2 / (x^2 + b^2),$$

где k_2 – постоянный коэффициент.

Аналогичным образом находим суммарную напряженность приложенного поля и поля дефекта на поверхности объекта в результате действия третьего импульса магнитного поля.

При этом движение осуществляют по восходящей гистерезисной ветви характеристики материала объекта.

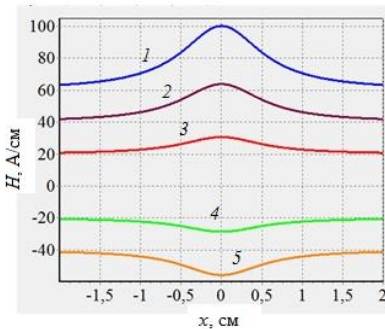


Рис. 1. Суммарное поле на поверхности объекта для напряженности поля:
 1 – 60 А/см; 2 – 40 А/см; 3 – 20 А/см;
 4 – –20 А/см; 5 – –40 А/см;
 один импульс

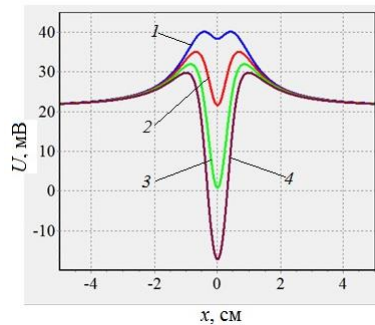


Рис. 2. Расчетные зависимости $U(x)$:
 1 – 4 для коэффициента k_2 :
 1 – 0,2; 2 – 0,4; 3 – 0,6; 4 – 0,8

Результаты расчетов магнитных полей для $b = 0,6$ см представлены на рис. 1–2. На рис. 1 показаны распределения суммарного магнитного

поля на поверхности объекта в результате воздействия на него одним импульсом магнитного поля с $k_1 = 2$ и напряженностью воздействующего поля H_1 : 1 (60 А/см), 2 (40 А/см), 3 (20 А/см), 4 (–20 А/см), 5 (–40 А/см).

На рис. 2 показаны зависимости I – 4 сигнала $U(x)$, рассчитанные по (2), в которой значения H_2 заменены на значения H_{22} из (4) для коэффициента k_2 : 1 – 0,2; 2 – 0,4; 3 – 0,6; 4 – 0,8 при коэффициенте $k_1 = 4$ и величинах напряженности магнитного поля первого и второго импульсов $H_1 = 130$ А/см и $H_2 = -10$ А/см. Величина $U(x)$ пропорциональна остаточной намагниченности материала объекта. На основании графиков распределений на рис. 1–2 формируют оптические изображения гистерезисной интерференции, по которым определяют параметры дефектов сплошности в объекте. При этом находят оптимальные параметры первого и последующих импульсов магнитного поля, как для одинаковых, так и для разных величин коэффициентов k_1 и k_2 .

Полученные результаты позволяют повысить качество контроля объектов за счет использования гистерезисной интерференции полей дефектов при разных состояниях намагничивания объектов.

Литература

1. 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.
2. Астахов, В. И. К вопросу о диагностике пластины с трещиной вихревым методом / В. И. Астахов, Э. М. Данилина, Ю. К. Ершов // Дефектоскопия. – 2018. – № 3. – С. 39–49.
3. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 12. – P. 949–956.
4. Pavlyuchenko V. V. Differential Background of Electric Signal Read from an Induction Magnetic Head / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2021. – Vol. 57, No. 8. – P. 706–716.
5. Pavlyuchenko, V. V. Pulsed Magnetic Field near Metal Surface / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – Vol. 58, No. 11. – P. 983–991.
6. 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, No. 1. – P. 48–58.
7. Pavlyuchenko, V. V. Nondestructive control of objects made of electroconductive materials in pulsed magnetic fields / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2010. – Vol. 46, No. 1. – P. 810–818.
8. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.

9. Грузинцев, А. А. Самосогласованный расчет магнитного поля для задач магнитной дефектоскопии. I. Исходная модель для расчета поля магнитной ленты, намагниченной от проводника с током. / А. А. Грузинцев, С. П. Михайлов // Дефектоскопия. – 2011. – № 2. – С. 22–30.

10. Головин, Ю. И. Магнитное поле в трещине, обтекаемой током / Ю. И. Головин, В. М. Иванов, В. П. Иванов, В. М. Финкель // Дефектоскопия. – 1982. – № 3. – С. 43–45.

11. Михайлов, С. П. Физические основы магнитографической дефектоскопии / С. П. Михайлов, В. Е. Щербинин. – М.: Наука, 1992. – 238 с.

УДК 620.130

Расчеты распределений импульсных магнитных полей

Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Представлены расчетные распределения величины электрического напряжения U на выходе магнитной головки (МГ), сканирующей магнитный носитель (МН), по координате x . На МН воздействовали импульсами магнитного поля линейного индуктора. Предложены расчеты с многократным использованием начальной и гистерезисных ветвей остаточного намагничивания МН при построении гистерезисной интерференции. Использование полученных результатов позволяет повысить качество контроля свойств материалов и объектов.

Для контроля свойств объектов из электропроводящих материалов используют вихретоковый метод [1–5], обладающий высокой чувствительностью и разрешающей способностью. Там описаны способы обработки сигналов, контроль внутренних диаметров труб, поля шаровых включений, способы контроля толщины покрытий и дефектов сплошности в объектах. Однако этот метод не позволяет производить контроль объектов на больших площадях одновременно и обладает рядом других недостатков. Отметим также фундаментальную работу по магнитографической дефектоскопии [6].

Использование полученной авторами гистерезисной интерференции (НИ) позволяет производить контроль объектов с записью мгновенных распределений магнитных полей на значительных площадях одновременно с высоким пространственным разрешением и тем самым повышать точность контроля толщины металлических объектов, их удельной электропроводности и дефектов сплошности в них [7–15].

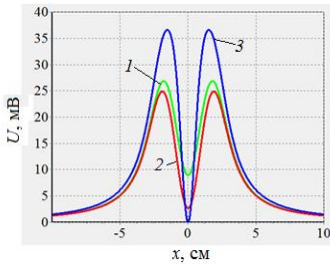


Рис. 1. Расчетные зависимости $U(x)$ для напряженности первого и второго импульсов:

1 – H_{11}, H_{21} ; 2 – H_{13}, H_{23} ; 3 – H_{14}, H_{24}

и второго импульсов:

$$\begin{aligned} H_{11} &= 1600 / (x^2 + 4), \\ H_{21} &= -350 / (x^2 + 4). \end{aligned}$$

Тогда для МН с найденной нами [9] арктангенсной характеристикой имеем

$$U_{11} = 23,5 + 24,3 \arctg(0,011 H_{11} - 1,45), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{21} &= -23,5 + 0,61 U_{11} + (24,5 + 0,40 U_{11}) \times \\ &\times \arctg((0,011 + 0,000087 U_{11}) H_{21} + 1,45 - 0,0016 U_{11}). \end{aligned}$$

Зависимости U_{21} , полученной при воздействии на МН двумя импульсами магнитного поля, соответствует кривая 1 на рис. 1. Для величин полей

$$\begin{aligned} H_{13} &= 1600 / (x^2 + 4), \\ H_{23} &= -350 / (x^2 + 4) \end{aligned} \quad (2)$$

получаем кривую 2 на рис. 1, а для полей

$$\begin{aligned} H_{14} &= 1600 / (x^2 + 4), \\ H_{24} &= -100 / (x^2 + 1) \end{aligned}$$

находим зависимость 3 на рис. 1.

Воздействуем на МН двумя импульсами магнитного поля линейного индуктора и рассчитаем распределение сигнала, снимаемого с магнитной головки, которая сканирует магнитный носитель. Согласно полученным нами ранее правилам расчета картины HI используем начальную и гистерезисные ветви характеристики МН. На рис. 1 показаны такие распределения, для которых зависимости $U(x)$ второго импульса имеют только положительные значения.

Обозначим через H_{1i} и H_{2i} напряженности магнитного поля первого

На рис. 2 показаны распределения $U(x)$ 1 и 2, соответствующие распределениям 1 и 2 на рис. 1, а также зависимости 3 и 4, полученные в результате воздействия на МН третьим импульсом магнитного поля с параметрами соответственно

$$\begin{aligned} H_{31} &= 400 / (x^2 + 4), \\ H_{32} &= 440 / (x^2 + 4), \end{aligned} \quad (3)$$

рассчитанными по (1).

Здесь же отмечены точки пересечения кривых 5–8.

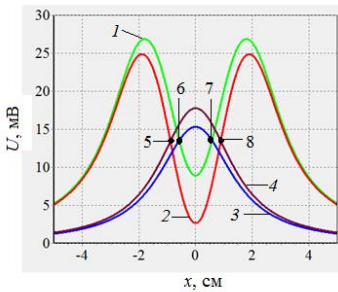


Рис. 2. Расчетные зависимости $U(x)$ для полей импульсов:

1 – H_{11}, H_{21} ; 2 – H_{13}, H_{23} ; 3 – H_{11}, H_{21}, H_{31} , 4 – H_{13}, H_{23}, H_{32} и точки сопряжения 5–8 зависимостей

Увеличение напряженности импульсного магнитного поля на 10 % в (6) и (3) получено на поверхности металлического объекта при уменьшении времени нарастания импульсов и определено на основании наших результатов в [15].

На основании установленных нами ранее правил построения картины гистерезисной интерференции находим результирующие распределения $U(x)$. Отсюда следует, что продолжением цикла третьего (прямого) импульса для положительных значений сигнала второго (обратного) импульса является прямая начальная ветвь.

Находим общие точки распределений второго (обратного) импульса и распределения третьего (прямого) импульса, построенного для начальной ветви, и строим распределение третьего импульса в интервале между этими точками. После этого достраиваем результирующее распределение, оставляя неизменными участки распределения второго (обратного) импульса в областях за общими точками.

Таким образом, первое результирующее распределение, рассчитанное для МН, состоит из участка кривой 3 в интервале x между точками 6 и 7 и из двух участков кривой 1 в остальном диапазоне x . Вторым результирующим распределением, полученным для МН при меньшем времени нарастания импульса магнитного поля, является участок кривой 4 между точками 5 и 8 и участки $U(x)$ 2 вне этого интервала. Аналогично могут быть построены результирующие гистерезисные картины для объектов разной толщины

на основании полученных нами зависимостей в [15]. Чувствительность контроля может быть повышена разными способами, в том числе выбором оптимальных расстояний источников полей до МН, как, например, показано на рис. 1, кривая 3, полученная для двух источников на разной высоте.

Метод *НИ* может быть применен для создания гистерезисных картин различных источников магнитного поля, отстоящих на разных расстояниях от контролируемых объектов. Этот метод применим также для расчетов распределений электрических, упругих и других полей, а также для систем измерения разного рода. Рассчитанные картины *НИ* позволяют повысить точность контроля толщины, удельной электропроводности и других свойств материалов и объектов.

Литература

1. Жданов, А. Г. Алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС / А. Г. Жданов, Е. Г. Щукис, В. П. Лунин, А. А. Столяров // Дефектоскопия. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
2. Киселев, Е. К. Вихретоковая система контроля внутреннего диаметра труб / Е. К. Киселев, А. Е. Гольдштейн // Дефектоскопия. – 2019. – № 3. – С. 25–30.
3. 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.
4. Атавин, В. Г. Отстройка от электропроводности основания при измерении толщины токопроводящих покрытий методом вихревых токов / В. Г. Атавин, А. А. Узких, Р. Р. Исхужин // Дефектоскопия. – 2018. – № 1. – С. 58–64.
5. 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.
6. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии. / В. С. Козлов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.
7. Pavlyuchenko, V. V. Using Film Flux Detectors to Determine Properties of Conducting and Magnetic Objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2018. – Vol. 54, No. 1. – P. 70–76.
8. 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, No. 11. – P. 907–914.

9. Pavlyuchenko, V. V. Hysteretic Interference of Time-Overlapping Magnetic Field Pulses. / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55, No. 12. – P. 949–956.

10. 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, No. 8. – P. 706–716.

11. 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, No. 1. – P. 48–58.

12. 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.

13. Pavlyuchenko, V. V. Computer-assisted methods for finding pulsed magnetic-field distributions near current-conducting objects / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich, and V. L. Pivovarov. // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 166–174.

14. Павлюченко, В. В. Гистерезисная интерференция магнитного поля перемещаемого линейного индуктора / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 51–60.

15. Pavlyuchenko, V. V. Pulsed Magnetic Field near Metal Surface / V. V. Pavlyuchenko, E. S. Doroshevich // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – Vol. 58, No. 11. – P. 983–991.

УДК 629.424.16

Electric drive efficiency criterion for specific energy consumption

Kolesnikov I. K., Akhmedov A. P., Hakimov S. H.

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

The article considers the choice of a generalized criterion for the efficiency of an electric drive according to the spent energy of a railway rolling stock. The quality indicators of the automated electric drive of railway rolling stock are analyzed and a conclusion is made on the use of a generalized efficiency criterion for the operation of railway transport in an optimal mode.

Energy efficiency is the basis for the performance of technical systems. Energy efficiency has always been closely related to the energy crisis in the world. In the past it was a temporary event, but these days it has become a permanent and global problem due to pollution. The name has ranged from energy conservation in the early 80's, through energy efficiency in the 90's, to energy efficiency

today. Electric drives account for about 65 % of electricity. Therefore, electric drives have great potential for energy savings, technically and economically. Electric drive efficiency depends on many factors including: motor efficiency, motor speed control, proper calibration, power quality, distribution losses, mechanical transmission, maintenance practices, mechanical end-use efficiency (pump, compressor, fan, etc.) [1].

Generalized criterion of traction electric drive efficiency, should provide all quality indicators. Since extreme values of indicators are not realized simultaneously, it is necessary to find such solution, which would satisfy average values of efficiency criterion. This condition can be realized using not only the electric drive, but also the control system with vector optimization. At present, there is no detailed analysis of quality indicators of the automated electric drive, and there is no methodology for selecting the optimality criterion [2].

While the unregulated electric drive was and still is dominated by the asynchronous motor, the regulated drive has, until recently, almost exclusively used the direct current motor. In recent years, with the advent of reliable and affordable frequency converters, the situation has changed dramatically. In Europe by 2000, only 15 % of adjustable frequency drives are equipped with DC motors. Therefore, it is relevant to consider the problem of energy saving mainly in relation to asynchronous electric drive, including frequency – controlled drive.

In the world practice there are several main directions of solution of the mentioned problem [3].

Power efficient motors (PM) are asynchronous motors with squirrel-cage rotor in which it is possible to increase the rated efficiency by 1–2 % (powerful motors) or by 4–5 % (small motors) at some increase of motor price by increasing the active materials mass, their quality as well as by means of special methods.

This approach can be beneficial if the load varies little, speed control is not required, and the motor is properly selected.

Correct selection of a motor in terms of power for a particular process. It is known, that the average load of the electric motor (relation of power consumed by the working body of the machine to the rated power of the electric motor) in the domestic industry makes 0,3–0,4 (in the European practice this value is 0,6). This means that the motor operates with an efficiency much lower than the nominal. Excessive «just in case» capacity of the motor often leads to imperceptible at first sight, but very significant negative consequences in the technological sphere serviced by the electric drive, for example, to the excessive head in hydraulic networks, associated with the growth of losses, reduction of reliability [4].

Application of filter-compensating devices in electric drive power supply circuit in order to increase power factor and filter higher current harmonics. In an unregulated electric drive with an induction motor running idle for a part of a cycle – voltage reduction with load reduction. The above-mentioned directions

concern energy saving in the drive itself and have the purpose to reduce losses for transformation of electric energy into mechanical one and to increase energy parameters of electric drive. Automated electric drive gives wider opportunities for energy saving up to creation of new energy saving technologies.

Therefore, the main way of energy saving by means of electric drive is to supply at each moment of time to the final consumer the required power exactly at that moment. This can be achieved by controlling the coordinates (i. e., speed and torque) of the drive in a regulated electric drive. This process has become central to the development of electric drives in recent years, and the transition from unregulated to regulated drives in technologies where it is required is expected to reduce up to 30 % of the electrical energy.

Specific power consumption, designated w_d and measured in kilowatt-hours per unit of production, the value w_d is an integral indicator of power consumption per unit of production, for example, kWh per 1 ton of soil (kWh/t); this value usually includes power consumption for all auxiliary needs, such as electric lighting of the face. This value plays a major role in calculations related to determining electrical loads and power consumption, and is equal to:

$$W_{sp} = \frac{W}{M},$$

where W – energy consumption, kWh; M – production in kind, for example, T.

Reducing losses in supply networks. The problem of power losses arises due to the low, especially at low loads, power factor, due to which the current flowing in the supply lines, transformers, is higher than the current associated with active power, hence, the losses in the lines are higher.

The problem of reactive power compensation traditionally enjoys great attention in domestic practice. Various technical solutions have been found and applied (switched capacitor banks, synchronous compensators, filter-compensating devices, etc.).

However, most of these techniques are oriented on unregulated and sometimes strongly unloaded electric drive with squirrel cage induction motors. The achieved effect can be incommensurably less than the losses from the use of unregulated electric drive.

Other ways to save energy in the unregulated electric drive include: reducing the no-load time; switching the windings by Δ -Y schemes for no-load or low-load times; changing the type of braking in electric drives with frequent starts and

brakes [5]. Specific power consumption $F_7 = \frac{|W(S)|}{\varphi}$ (J/Rad).

References

1. Stević, Z. Supercapacitors as a Power Source in Electrical Vehicles / Z. Stević, M. Rajčić-Vujanović // Rijeka: Seref Soylu, Intech. – 2011.

2. Нос, О. В. Оптимальное векторное управление асинхронным двигателем по критерию минимума токов статора / О. В. Нос // Электротехника, электромеханика и электротехнология ЭЭЭ – 2007: материалы третьей международной. науч.-тех. конф., Новосибирск, 2007 г. / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2007. – С. 79–85.

3. Краснов, И. Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях / И. Ю. Краснов. – Томск: Томского политехнический университет, 2012. – 186 с.

4. 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. – Минск, 2022. – С. 291–297.

5. Хакимов, С. Х. Оценка эффективности асинхронного двигателя по поступающей от источника энергии / С. Х. Хакимов // Материалы 66 Международ. научн. конф. Астраханского гос-го техн. ун-та, Астрахань, 2022. – Астрахань, 2022. – С. 684–686.

УДК 811.11(03):725.1.033.5:378.4(410)

Английская архитектурная терминология в описании стиля барокко кампусов Оксфордского университета

Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описаны основные характеристики терминологических единиц, используемых при описании кампусов Оксфордского университета, выполненных в стиле барокко. Даны основные характеристики используемых терминологических единиц, таких как этимология, компонентность и количество их значений в научно-популярных текстах по данной тематике.

Целью данной работы является изучение архитектурной терминологии при описании стиля барокко кампусов Оксфордского университета на основе анализа структурных и понятийных единиц, используемых в текстах научно-популярного стиля, www.british-history.com.

Кампусы оксфордского университета представлены различными архитектурными стилями. К данному архитектурному стилю принадлежат три

кампуса оксфордского университета. Элементы, характерные для этого архитектурного стиля, можно увидеть в Hertford college, St. John's College, Trinity College.

Здания кампусов были построены в период с 13 по 16 вв. Два корпуса из трех были построены в 16 веке. Архитектурный стиль барокко достиг своего расцвета в период 16–18 вв. и отличается монументальностью, динамичностью, оригинальностью решений. Для создания характерного образа данного архитектурного стиля [1], зодчие нередко пренебрегали устоявшимися правилами построений планов сооружений, внедряя нарочитое несоответствие между разными частями зданий, создавая необычные пластичные фасады, используя крупный декор, игру света и тени. Глядя на образцы данного архитектурного стиля создается ощущение, что конструкция является вторичной по отношению к внешнему оформлению. Это достигается декоративными объемными фасадами, которые вуалируют конструкцию строения. Барокко – стиль, для которого характерны сложные формы, переплетения, плавный переход из одной плоскости в другую, преобладание криволинейных поверхностей и линий. Чередование выпуклых и вогнутых поверхностей создают ощущение более глубоких объемов, создают пространственные иллюзии. Важной составляющей стиля барокко является архитектурный ордер. Ордер в классической архитектуре является базовым модулем, который может многократно повторяться, отделяя друг от друга этажи, пролеты, определяя структуру здания. Изменения какой-либо из частей или нарушение пропорций может разрушить целостность восприятия сооружения. Но именно это явление стимулировало зодчих стиля барокко вмешиваться в пропорции и вносить изменения в элементы ордера. Архитекторы, работавшие в стиле барокко использовали разные ордера: от строгого дорического до пышного коринфского. Элементы ордера растягивали, скручивали, накладывали друг на друга. Пропорции и ритм расположения элементов тоже претерпевал изменения по отношению к традиционным классическим. В декоре активно участвуют фронтоны, волюты, колонны, объемный крупный рельеф. Большое значение в архитектуре стиля барокко приобретает монументальная скульптура, которую широко используют в декоре зданий. Многоплановые скульптурные композиции обычно имеют выраженную динамику: скульптуры, изображающие людей, выражают состояние напряжения, драматизма, экзальтации.

Как видно из описания архитектурного стиля, он сформирован большим количеством элементов, и, следовательно, соответствующими терминологическими единицами, используемыми для их номинации.

Исследование этимологии, компонентности и семантики терминов играет важную роль при составлении тезаурусов и глоссариев, а также понятийного аппарата в учебных пособиях по английскому языку для студентов

архитектурных специальностей. Основываясь на вышесказанном, можно говорить о высокой степени актуальности данного исследования.

В исследовании было проанализировано одиннадцать текстов суммарным объемом 7 страниц и 7536 слова, из которых на термины приходится 164. Такая насыщенность терминами требует четкого понимания их смысловой нагрузки, а также выявления их происхождения, практики применения, а также анализа структуры данных терминов.

На рис. 1 представлена диаграмма, на которой показано происхождение терминов в исследованных текстах в процентном отношении к общему количеству терминов в текстах. В изученных текстах встречаются термины французского, английского, немецкого, латинского, итальянского, турецкого и арабского происхождения.



Рис. 1. Происхождение терминов

Из рис. 1 видно, что большинство терминов имеют французское происхождение 34 %. Например, an arch – is a vertical curved structure that spans an elevated space and may or may not support the weight above it, or in case of a horizontal arch like an arch dam, the hydrostatic pressure against it – арка. На втором месте по частоте использования находятся термины латинского происхождения (30 %). Термины английского происхождения занимают третью позицию (18 %). Меньше всего в английской архитектуре кампусов присутствуют термины итальянского (11 %) и немецкого происхождения (7 %). Таким образом, можно говорить о том, что французские по происхождению термины во многом определили английскую терминологию в описании архитектуры готических кампусов.

На рис. 2 показана диаграмма распределения терминов по составу. В английской терминологии архитектурных терминов, описывающих стиль барокко, основу составляют однословные термины (82 %). Двухсловные термины встречаются значительно реже (18 %).



Рис. 2. Состав терминов

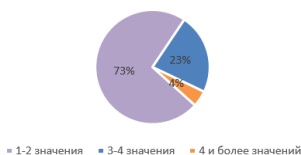


Рис. 3. Количество значений терминов

Данный факт говорит о том, что архитектуру барокко можно описать однословными терминами, так как такие термины охватывают всю полноту смыслов, вкладываемых в элементы архитектурных строений. Это может быть связано и с практикой применения английского языка в данной области знаний. Можно также предположить, что в научно-популярном стиле текстов легче воспринимаются однословные термины, чем многословные. Поэтому частота использования однословных терминов в подобной литературе гораздо выше.

Многозначность терминов также играет большую роль в текстах научно-популярного стиля по кампусам архитектуры барокко. На рис. 3 представлена диаграмма использования многозначных терминов в изученных текстах.

Термины с одним-двумя значениями используются гораздо чаще (73 %), чем термины с большим количеством значений. Термины с тремя или терминами, которые имеют четыре значения, в текстах встречаются намного реже (23 %). Четыре и более значений терминов в научно-популярных текстах по готической архитектуре встречаются наиболее редко (4 %).

Таким образом, в результате анализа текстов по архитектуре барокко кампусов Оксфордского университета было установлено:

1. На основании полученных данных, были установлены основные характеристики терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета, выполненных в стиле барокко.

2. Большинство терминов имеют французское происхождение (34 %). Например, a pilaster – ‘is an architectural element used to give the appearance of a supporting column and to articulate an extent of wall, with only an ornamental function. It consists of a flat surface raised from the main wall surface, usually treated as though it were a column, with a capital at the top, plinth (base) at the bottom, and the various other column elements’ – пилястр.

3. Большинство терминов однословные (82 %). Например, a gable – ‘is the generally triangular portion of a wall between the edges of intersecting roof pitches’ – фронтон.

4. Для большей части терминов (73 %) характерно наличие 1–2 значений и только для 7 % – четыре и более значения. Например, a baluster – ‘is an upright support, often a vertical moulded shaft, square, or lathe-turned form found in stairways, parapets, and other architectural features’ – балясина.

Литература

1. Калабухова, М. Стиль барокко в архитектуре [Электронный ресурс] / М. Калабухова // Фасад Эксперт. – Режим доступа: http://www.facade-project.ru/spravochniki/razdel_statej/fasadnyj_dekor_v_stilyah_arhitektury/arhitekturnyjstil_barokko. – Дата доступа: 03.03.2023.

УКД 811.11(03):725.1.033.5:378.4(410)

Английская архитектурная терминология в описании викторианского стиля кампусов Оксфордского университета

Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В статье описаны основные характеристики терминологических единиц, используемых при описании кампусов Оксфордского университета, выполненных в викторианском стиле. Даны основные характеристики терминологических единиц (этимология, компонентность, количество значений), используемых в научно-популярных текстах по данной тематике.

Целью данной работы является изучение архитектурной терминологии при описании викторианского стиля кампусов Оксфордского университета на основе анализа структурных и понятийных единиц, используемых в текстах научно-популярного стиля.

Все кампусы оксфордского университета представлены в различных архитектурных стилях. Пять колледжей выполнены в викторианском стиле. Элементы, характерные викторианскому стилю, можно увидеть в Keble College, Lady Margaret Hall, Somerville College, St Hugh' College, St. Edmund Hall.

Здания корпусов были построены в период с 17 по начало 20 века. Первым корпусом был St. Edmund Hall (1635 г.), а самым поздним был Somerville College (1967 г.).Самое большое количество корпусов, сделанных в

викторианском стиле, было построено в 19 веке (Keble College, Lady Margaret Hall, St Hugh's College). Викторианский стиль [1] возник как результат смеси английских традиций и буржуазных реформ в стране. Его характеризует прагматический подход, типичный для английского общества. Викторианская архитектура (Victorian architecture) охватывает все разнообразие модной эклектики направления ретроспективизма, устремленного в прошлое. Одним из течений стиля стала неоготика. Так же встречаются сочетания местного зодчества с неоклассикой.

Как видно из описания архитектурного стиля, он сформирован большим количеством элементов, и, следовательно, соответствующими терминологическими единицами, используемыми для их номинации.

Исследование этимологии, компонентности и семантики терминов играет важную роль при составлении тезаурусов и глоссариев, а также понятийного аппарата в учебных пособиях по английскому языку для студентов архитектурных специальностей. Основываясь на вышесказанном, можно говорить о высокой степени актуальности данного исследования.

В исследовании было проанализировано пять текстов суммарным объемом 34 страницы и 27886 слова, из которых на термины приходится 6503, что составляет 42 % от общего количества слов в тексте. Такая насыщенность терминами требует четкого понимания их смысловой нагрузки, а также выявления их происхождения, практики применения, а также анализа структуры данных терминов.

Было определено происхождение терминов в исследованных текстах в процентном отношении к общему количеству терминов в текстах. В изученных текстах встречаются термины французского, латинского и английского происхождения.

Наибольшее количество терминов латинского и французского происхождения (38 %). Например, латинские слова *panel* – ‘a thin usually rectangular board set in a frame’ – панель; *jamb* – ‘in architecture, is a side-post or lining of a doorway or other aperture’ – косяк двери; *bay* – ‘the spaces between posts, columns, or buttresses in the length of a building, the division in the widths being called aisles’ – пролет. Также слова французского происхождения, такие как *buttresses* – ‘is exterior support, usually of masonry, projecting from the face of a wall and serving either to strengthen it or to resist the side thrust created by the load on an arch or a roof’- контрфорс; *corbel* – ‘is a structural piece of stone, wood or metal jutting from a wall to carry a superincumbent weight, a type of bracket’ – кронштейн; *mullion* – ‘a slender vertical division between adjacent lights or subdivisions in a window or between windows in a group’ – средник. На втором месте чаще всего используются слова английского происхождения (24 %). Таким образом, можно говорить о том, что

термины французского и латинского происхождения стоят на равне и опережают термины английского происхождения в описании архитектуры викторианских корпусов.

Изучение распределения терминов по составу показало следующие результаты. В английской терминологии викторианского стиля кампусов основу составляют однословные термины (66 %). Двухсловные термины встречаются реже (34 %). Данный факт свидетельствует о том, что викторианскую архитектуру можно описать однословными терминами, так как такие термины охватывают всю полноту вкладываемых в элементы архитектурных строений смыслов. Можно предположить, что в научно-популярном стиле текстов легче воспринимаются однословные термины, чем многословные. Поэтому частота использования однословных терминов в подобной литературе гораздо выше.

Также немаловажную роль играет многозначность терминов в текстах по викторианской архитектуре кампусов. Изучение распределения терминов по многозначности показало, что термины с одним-двумя значениями используются гораздо чаще (66 %), чем термины с большим количеством значений. Пять и более значений терминов в научно-популярных текстах по викторианской архитектуре встречаются редко (3 %).

Таким образом, в результате анализа текстов по викторианской архитектуре кампусов Оксфордского университета было установлено:

1. На основании полученных данных, были установлены основные характеристики терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета, выполненных в викторианском стиле.

2. Большинство терминов имеют французское и латинское происхождение (38 %). Например, латинские слова *panel* – ‘a thin usually rectangular board set in a frame’ – панель; Также слова французского происхождения, такие как *buttresses* – ‘is exterior support, usually of masonry, projecting from the face of a wall and serving either to strengthen it or to resist the side thrust created by the load on an arch or a roof’ – контрфорс.

3. Большинство терминов однословные (66 %). Например, a *niche* – ‘decorative recess set into a wall for the purpose of displaying a statue, vase, font, or other object’ – ниша

4. Для большей части терминов (66 %) характерно наличие 1–2 значений и только для 3 % – пять и более значения. Например, *lime mortar* – ‘is a mix of lime and an aggregate such as sand and water’ – факельный раствор.

Литература

1. Гришук, О. Викторианский стиль в архитектуре [Электронный ресурс] / О. Гришук // Фасад Эксперт. – Режим доступа: <https://fasad->

exp.ru/dizayn-i-dekor/viktorskiy-stil-v-arkhitekture.html. – Дата доступа: 03.03.2023.

УДК 811.11(03):725.1.033.5:378.4(410)

**Английская архитектурная терминология в описании
стиля модерн кампусов Оксфордского университета**

Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описаны основные характеристики терминологических единиц, используемых при описании кампусов Оксфордского университета, выполненных в модерн стиле. Даны основные характеристики используемых терминологических единиц, таких как этимология, компонентность и количество их значений в научно-популярных текстах по данной тематике.

Целью данной работы является изучение архитектурной терминологии при описании стиля модерн кампусов Оксфордского университета на основе анализа структурных и понятийных единиц, используемых в текстах научно-популярного стиля, www.british-history.com.

Кампусы Оксфордского университета представлены различными архитектурными стилями. Три кампуса выполнены в стиле модерн [1]. Элементы, характерные для архитектурного стиля, можно увидеть в St Catherine's College, St Hilda's College, St. Anne's college. Здания кампусов были построены в период с 18 по 19 вв. Модерн зародился на рубеже XIX и XX веков и просуществовал около тридцати лет. Условными временными границами считаются 1890–1910-е годы, однако многие здания позднего стиля были построены и в 1920-х годах. Стиль модерн прочно ассоциируется с фирменными для стиля элементами: арочными окнами, натуральным камнем и большим вниманием к интерьеру, где использовались мозаичные полы, витиеватые решетки лестниц и орнаменты на природные мотивы. Уход от канонов и значительное изменение стиля со временем принесли стилю характерные особенности. Обычно к ним относят асимметрию, декоративные элементы на растительную и животную тематику, красочные витражи, мозаики и майолики, использование натуральных природных материалов, текучие и динамичные линии из железобетона и кованого металла. Часто происходит синтез архитектуры, скульптуры, живописи и прикладных искусств.

Как видно из описания архитектурного стиля, он сформирован большим количеством элементов, и, следовательно, соответствующими терминологическими единицами, используемыми для их номинации.

Исследование этимологии, компонентности и семантики терминов играет важную роль при составлении тезаурусов и глоссариев, а также понятийного аппарата в учебных пособиях по английскому языку для студентов архитектурных специальностей. Основываясь на вышесказанном, можно говорить о высокой степени актуальности данного исследования.

В исследовании было проанализировано одиннадцать текстов суммарным объемом 28 страниц и 15663 слова, из которых на термины приходится 6503, что составляет 42 % от общего количества слов в тексте. Такая насыщенность терминами требует четкого понимания их смысловой нагрузки, а также выявления их происхождения, практики применения, а также анализа структуры данных терминов.

Исследование происхождения терминов в процентном отношении к общему количеству терминов в текстах показало, что наиболее часто встречаются термины французского, английского и бразильского происхождения. Большинство терминов имеют французское происхождение 50 %. Например, *Façade* – ‘front part or exterior of a building’ – фасад. Меньше использовались термины английского – 25 % и бразильского 25 % языков. Таким образом, можно говорить о том, что французские по происхождению термины во многом определили английскую терминологию в описании архитектуры модерн.

На основе анализа распределения терминов по составу в текстах по стилю модерн в описании кампусов Оксфордского университета было установлено, что в английской терминологии архитектурных терминов, описывающих стиль модерн, однословные термины встречаются наравне с двухсловными 50 %. Данный факт говорит о том, что архитектуру стиля модерн можно описать как однословными терминами, так и двухсловными. Это может быть связано и с практикой применения английского языка в данной области знаний. Можно также предположить, что в научно-популярном стиле текстов легче воспринимаются однословные и двухсловные термины, чем термины, содержащие три или четыре слова. Поэтому частота использования однословных и двухсловных терминов в подобной литературе гораздо выше.

Многозначность терминов также играет большую роль в текстах научно-популярного стиля по архитектуре модерн. Изучение использования многозначных терминов в текстах показало, что термины с одним-двумя значениями встречаются в текстах гораздо чаще (75 %), чем термины с большим количеством значений. Три или четыре значений терминов в

научно-популярных текстах по архитектуре стиля модерн встречаются намного реже (25 %).

Таким образом, в результате анализа текстов по архитектуре модерн кампусов Оксфордского университета было установлено:

1. На основании полученных данных, были установлены основные характеристики терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета, выполненных в стиле модерн.

2. Большинство терминов имеют французское происхождение (50 %). Например, *Façade* – ‘front part or exterior of a building’ – фасад;

3. Все термины однословные или двухсловные (50 %). Например, *Lancet window* – ‘is a tall, narrow window with a pointed arch at its top’ – ланцетовидное окно;

4. Для большей части терминов (75 %) характерно наличие 1–2 значений и только для 25 % – три или четыре значения. Например, *shuttering* – ‘is temporary support as a mould for fresh concrete, in which concrete is poured and cast in the desired shape and gain initial strength, hardened and matured’ – опалубка.

Литература

1. Костин, М. Стиль модерн в архитектуре [Электронный ресурс] / М. Костин // Фасад Эксперт. – Режим доступа: http://www.facade-project.ru/spravochniki/razdel_statej/fasadnyj_dekor_v_stilyah_arhitektury/arhitekturnyjstil_modern/ – Дата доступа: 03.03.2023.

УДК 629.424.16

Изучение технология получения порошковых композиционных материалов и исследование их характеристики

Бердиев У. Т., Хасанов Ф. Ф., Сулаймонов У. Б., Бердиев У. Н.
Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В данной статье рассмотрен вопрос одним из приоритетных направлений научных исследований и технических разработок и проведение технических и организационных мероприятий, связанных с энергосбережением и рациональным потреблением энергии, а также широкое внедрение с высоким удельным расходом магнитных материалов при производстве весьма перспективным направлением является разработка безотходной технологии изготовления элементов электродвигателя методами порошковой металлургии. Использование композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии, позволяет снизить потери электротехни-

ческой стали и исключить многие трудоемкие операции. Изучен технология получения композиционных материалов и сравнен характеристик. Максимальная индукция композиционного материала на основе порошков Micrometals с диэлектрической изоляцией в полях до 50 кА/м на 60 % меньше, чем у композитов на основе ASC100.29. Что касается порошков LiaoNing, он также проигрывает порошкам ASC100.29 по всем характеристикам.

Порошковая металлургия – область науки и техники, охватывающая производство металлических порошков, а также изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками. Металлический порошок представляет собой совокупность частиц металла, сплава или металлоподобного соединения, находящихся во взаимном контакте и не связанных между собой.

Порошковая металлургия всегда играла значительную роль в техническом прогрессе, поскольку позволяла получать новые материалы и изделия, которые невозможно изготовить с помощью других традиционных технологий. В последние десятилетия значимость порошковой металлургии существенно возрастает, поскольку на ее основе создаются принципиально новые материалы с микрокристаллической, наноразмерной и аморфной структурой. Уникальная структура позволяет значительно повысить физико-механические и функциональные свойства изделий.

Основными элементами технологии порошковой металлургии являются:

- получение и подготовка порошков исходных материалов, которые могут представлять собой чистые металлы или сплавы, соединения металлов с неметаллами и различные другие химические соединения;
- прессование из подготовленной шихты изделий необходимой формы в специальных пресс-формах, т. е. формование будущего изделия;
- термическая обработка или спекание спрессованных изделий, придающее им окончательные физико-механические и другие специальные свойства.

В производственной или исследовательской практике иногда встречаются отклонения от этих типичных элементов технологии, например, совмещение операций прессования и спекания, пропитка пористого брикета расплавленными металлами, дополнительная механическая и другая обработка спеченных изделий и пр. Однако основной принцип технологии – применение исходной порошковой шихты и спекание ниже температуры плавления основного элемента, образующего спрессованное тело – остается неизменным [1–3].

Наряду с преимуществами порошковой металлургии следует отметить и недостатки, затрудняющие и ограничивающие широкое ее распространение. К основным недостаткам следует отнести высокую стоимость порошков металлов и отсутствие освоенных методов получения порошков сплавов – сталей, бронз, латуней и пр. Изделия, получаемые из металлических порошков, вследствие пористости обладают повышенной склонностью к окислению, причем окисление может происходить не только с поверхности, но и по всей толщине изделия. Металлокерамические изделия обладают также сравнительно низкими пластическими свойствами (ударная вязкость, удлинение) [3; 4].

Тенденция изготовления статоров и роторов электрических машин методом ламинирования на частоты 50–100 Гц, где низкая магнитная индукция ферритов не позволяет использовать их в области повышенных частот, пока сохраняется.

Дальнейший прогресс метода ламинирования для уменьшения вихревых потерь состоит в снижении толщины составляющих листов

$$P_c = \frac{(\pi B_m f h)^2}{6\rho}, \quad (1)$$

где B_m – магнитная индукция насыщения; f – частота; h – толщина листа; ρ – удельное электросопротивление.

Изготовление листов аморфных магнитных материалов толщиной в несколько микрон позволяет создать электрические машины с рекордно низкими потерями. Однако стоимость таких изделий существенно возрастает, что делает их неконкурентоспособными на электротехническом рынке. Основные магнитомягкие материалы, производимые в настоящее время, ориентированы на 50 Гц частотный диапазон [5; 6].

Как следует из приведенного выше рассмотрения, известные методы капсулирования порошка железа тонким оксидным слоем, а именно механическим наплавлением оксидного слоя, формированием оксидного слоя в результате разложения сульфатов и нитридов металлов и формированием оксидного слоя из газового оксидного слоя, создают некачественное покрытие и являются малоэффективными.

В связи с этим был предложен комбинированный способ получения оксидных покрытий на поверхности частиц железа [4; 7; 8]. Предложенный новый метод основан на комбинированном использовании вышеперечисленных способов.

Методика нанесения изолирующих покрытий на основе оксида фосфора разработана применительно к задачам настоящей работы на основе способа

изготовления композиционного материала [5; 9], в котором собственно предложена методика добавления в исходный металлический порошок во вращающемся вакуумируемом барабане при давлении 0,15–1,5 Па, нагреваемом до температуры расплавления смазки 150–200 °С и обработку проводят до получения равномерного распределения смазки в материале в течение 15–30 минут, при этом содержание смазки в композиционном материале составляет от 0,01 до 0,1 %.

Из расчетов согласно формуле (1) и экспериментальных данных установлено, что в зависимости от толщины изоляционного покрытия и размера частиц исходного порошка металлического железа получаемые композиционные материалы можно разделить на два класса: низкочастотные ($f < 1$ кГц) и высокочастотные ($f > 1$ кГц). Для последующих высокочастотных применений с помощью сепаратора S49-1000-1 (рис. 1) отсеяны порошки с размером меньше 100 мкм, для низкочастотных – с размером больше 100 мкм. После сепарации на поверхность частиц железа наносился изоляционный слой.



Рис. 1. Сепаратор S49-1000-1 по разделению фракций порошка на фракции меньше 100 мкм и больше 100 мкм

Сущность методики поясняется рис. 2, на котором приведена установка по приготовлению магнитно-композиционного материала, включающая электропривод вакуумного насоса (1), соединительную муфту (2), вакуумный насос (3), подвижный вакуумный разъем (4), барабан с размещенным в нем композиционным магнитомягким материалом (5), датчик температуры (6), нагреватель (7), электропривод реактора (8) и приводной двигатель барабана (9).

На первом этапе смазка вводится путем смешения ее с изолированным металлическим порошком в шаровых мельницах или других смесителях. Приготовленный со смазкой композиционный материал помещается внутрь барабана. После этого включается вакуумный насос, понижающий давление

воздуха внутри барабана с материалом до 0,15–1,5 Па. При достижении требуемого вакуума включается нагрев барабана, который происходит до температуры 150–200 °С. Процесс обработки порошка продолжается в течение 15–30 мин. Охлаждение магнитомягкого материала происходит после выключения нагрева при сохранении вакуума.

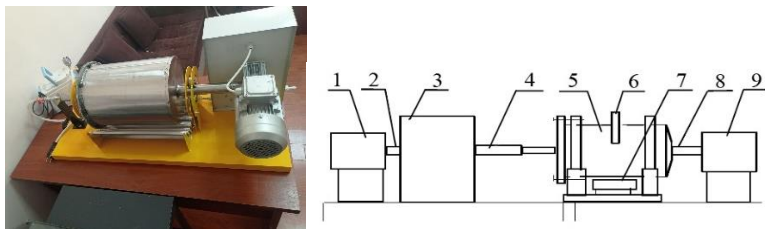


Рис. 2. Реактор для нанесения изоляционных покрытий на поверхность порошков:

- 1 – электропривод вакуумного насоса; 2 – соединительная муфта;
3 – вакуумный насос; 4 – подвижный вакуумный разъем; 5 – барабан с размещенным в нем композиционным магнитомягким материалом; 6 – датчик температуры; 7 – нагреватель; 8 – электропривод реактора; 9 – приводной двигатель барабана

Преимуществом данного способа по сравнению с известными является снижение содержания смазки до 0,01–0,1 %, позволяющее получить в дальнейшем качественное прессованное изделие из магнитомягкого композиционного материала с плотностью 7,5–7,65 г/см³ и, как следствие, обладающее высокими магнитными характеристиками [5; 7].

Для нанесения покрытий оксида фосфора на поверхность частиц металлических порошков предложенная методика была модифицирована.

Методика нанесения включала в себя этап предварительного смешивания исходных металлических порошков с заданным количеством реактива, в состав которого входил спиртовой раствор ортофосфорной кислоты в соотношении 40 % H₃PO₄ + 60 % этиловый спирт.

На следующем этапе приготовленный порошок помещали в реактор для нанесения изоляционных покрытий (рис. 2). Обработку порошков с реакционной добавкой проводили в реакционном барабане при давлении от 105 до 106 Па, нагреваемом до температуры 150–200 °С в течение 15–30 мин. В результате на поверхности частиц железа образовалось сложное по составу покрытие из ферритных соединений и фосфатов.

В дальнейшем для получения различных по толщине покрытий на металлических порошках процесс нанесения повторялся 2, 3 и 4 раза. Предложенный метод капсулированные порошка железа оксидным слоем является высокоэкономичным методом, практически не изменяющим стоимость последнего, и, с позиций получения заданного состава с заданными магнитными параметрами и удельным электросопротивлением, может быть широко использован в практике для получения МДМ-сплавов с особыми магнитными и электрическими свойствами [3–5].

Исходя из требований к исходным порошкам и с учетом одной ценовой категории, в качестве основных выбраны два вида порошков, на которые по разработанной методике наносились оксидные слои: водно-атомизированный порошок Hoganes ASC100.29 (Швеция) и компании LiaoNing (Китай). Чистота по содержанию примесей порошка ASC100.29 – 99,9 % и LiaoNing – 98,69 %. Химический состав порошков представлен в табл. 1.

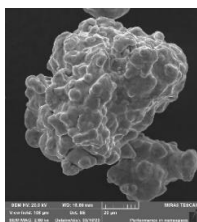
Таблица 1

Состав распыленного воздухом порошка LiaoNing (Китай)
и распыленного водой порошка ASC100.29 (Швеция) [7]

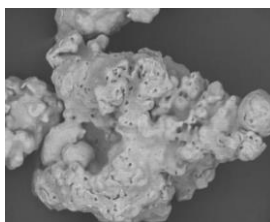
Тип железного порошка	Fe	Mn	Si	C	P
ASC100.29 (Швеция)	99,5	0,08	0,04	0,08	0,01
LiaoNing (Китай)	98,69	0,35	0,1	0,022	0,028

По другим сертификационным параметрам порошки идентичны. В качестве сравнения при выполнении международных договоров проводились исследования электромагнитных характеристик на сердечниках, полученных прессованием из готовых промышленных порошков железа известных фирм Atomet 1001HP (Канада) чистотой 99,4 % и компании Micrometals (США) чистотой 99 %, на частицы которых самим производителем уже нанесены диэлектрические слои [4; 10; 11].

На рис. 3. приведены полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) изображения порошков металлического железа фирм Hoganes ASC100.29 и LiaoNing после капсулирования оксидными слоями. Частицы имеют очень сложную морфологию, что позволяет при прессовании изделий на основе таких композиционных порошков достичь достаточно высокой плотности (заполняемость достигает 93–95 %), от которой в свою очередь зависит величина электромагнитных параметров спрессованного композита. Подобную морфологию частиц имеет и порошок Atomet 1001HP [4; 10; 11].



ASC100.29



LiaoNing

Рис. 3. РЭМ изображения порошков, обработанных изолирующими оксидными покрытиями

На рис. 4. представлен гранулометрический состав порошков железа ASC100.29. Как можно видеть из рис. 4, 83 % объема всего порошка составляют частицы с размерами от 20 до 178 мкм.

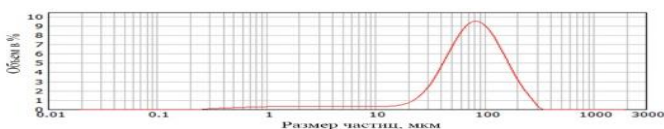
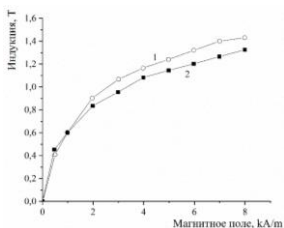
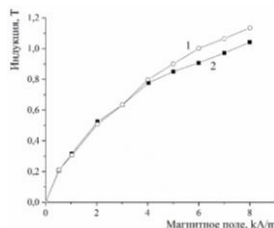


Рис. 4. Гранулометрический состав порошков железа ASC100.29

На рис. 5. представлены зависимости величины индукции от магнитного поля для композитов на основе железных металлических порошков ASC100.29 (1) и LiaoNing (2), на частицы которых нанесены оксидные покрытия, с размером зерна больше 100 мкм и меньше 100 мкм.



a



б

Рис. 5. Зависимости $B = f(H)$ магнитомягкого композита на основе: *a* – с зерном больше 100 мкм; *б* – с зерном меньше 100 мкм; 1 – ASC100.29; 2 – LiaoNing (2)

Зависимости $B = f(H)$ демонстрируют, что магнитная индукция композиционного материала на основе порошка китайской фирмы в диапазоне полей $H = 1-9$ кА/м для низкочастотного применения и $H = 4-9$ кА/м для высокочастотного применения уступает по значению индукции композитам, изготовленным на основе порошка ASC100.29 на 8 %. Это вероятно обусловлено тем, что порошок фирмы Liao Ning, кроме чистого железа, содержит больше примесей (1,31 % против 0,5 % у ASC100.29) [5; 8; 9].

В табл. 2 приведены сравнительные данные по характеристикам различных композиционных материалов на основе железных порошков ASC100.29 и LiaoNing.

Таблица 2

Сравнение характеристик композиционных материалов на основе порошков железа ASC100.29 и фирмы LiaoNing

Тип железного порошка	Источник питания для измерения потерь	Режим отжига	ρ , г/см ³	B_{\max} , Тл	H_{\max} , А/м	P , Вт/м ³
Порошок Hogaes ASC100.29 > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига	7,51	2,12	26600	169
	ИП 01126	Порошок без отжига	7,51	2,09	26200	169
Порошок Hogaes ASC100.29 > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,62	1,61	13600	141
	ИП 01126	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,62	1,73	26200	150
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник с отжигом в вакууме	7,62	1,8	12000	713
	DC Power supply PS-305D	Порошок с отжигом, сердечник с отжигом в водородной смеси	7,62	1,7	26200	164
Порошок Hogaes ASC100.29 < 100 мкм	ИП 01126	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,58	1,57	14800	145
Порошок LiaoNing > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник с отжигом в вакууме	7,42	1,58	26200	147
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,59	1,34	26200	128
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,41	1,47	26200	137

Из данных табл. 2 следует, что индукция и потери в материале зависят от типа исходного порошка, плотности сердечников на основе этих материалов и способов обработки, в частности отжига в различных средах. Кроме того, при прессовании изделий на основе порошка компании Hoganes плотность готовых изделий составляла $\rho = 7,62 \text{ г/см}^3$, при прессовании порошка производства фирмы LiaoNing $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$. В композитах из порошков ASC100.29 величина индукции достигала 2,12 Тл, в то время как с применением порошков китайской фирмы это значение составляет 1,58 Тл. Таким образом, очевидно преимущество порошка железа шведской фирмы перед китайским порошком [4; 10; 11]. Как указано выше, проведен сравнительный анализ электромагнитных параметров композитов на основе порошка железа ASC100.29, частицы которого покрыты оксидным слоем, и промышленных композитов на основе аналогичных порошков фирм Atomet и Micrometals.

Из зависимостей на рис. 6 видно, что на частоте 50 Гц суммарные потери для материала на основе порошков ASC100.29 несколько превышают потери для материала на основе Atomet 1001HP. Но на частоте 500 Гц такие потери сравниваются, от 2 кГц для композита из шведского порошка они практически не меняются, а для композита из Atomet 1001HP возрастают в 2 раза [4; 10].

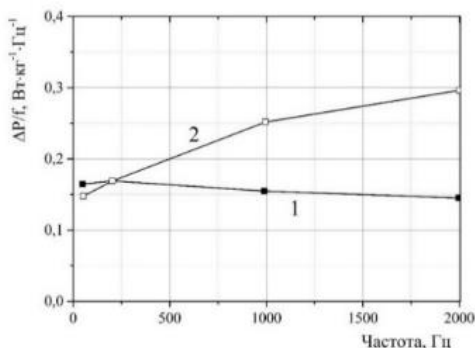


Рис. 6. Суммарные потери на цикл перемагничивания в зависимости от частоты для образцов на основе:

1 – ASC100.29; 2 – Atomet 1001HP при магнитной индукции $B = 1 \text{ Тл}$

На рис. 7. показаны зависимости магнитной индукции для образцов на основе порошков железа ASC100.29 с нанесенными на частицы оксидными слоями и порошков фирмы Micrometals с диэлектрическим слоем.

Для американских порошков индукция насыщения наступает при величине магнитного поля 20 кА/м и составляет 1,25 Тл, а для образца на основе ASC100.29 уже при такой величине магнитного поля индукция составляет 1,8 Тл, продолжает расти с увеличением поля и достигает максимального значения 2,1 Тл в поле более 40 кА/м [4–6].

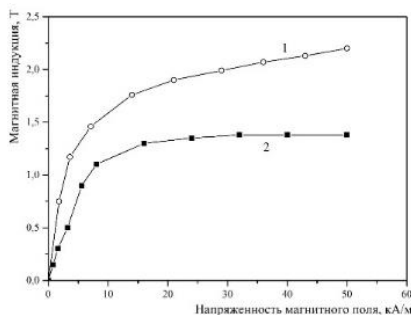


Рис. 7. Зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля композиционных материалов:

- 1 – композит на основе порошков железа ASC100.29 с оксидной изоляцией;
- 2 – композит на основе порошков Micrometals, США с диэлектрической изоляцией

Из анализа вышеприведенных результатов исследований следует, что порошок ASC100.29, частицы которого покрыты оксидными слоями, и композиты на его основе обладают рядом преимуществ. По сравнению с порошком Atomet 1001HP суммарные электромагнитные потери в интервале частот 250–2000 Гц меньше в 2 раза. Максимальная индукция композиционного магнитомягкого материала на основе порошков Micrometals с диэлектрической изоляцией в полях до 50 кА/м на 60 % меньше, чем у композитов на основе ASC100.29. Что касается порошков LiaoNing, он также проигрывает порошкам ASC100.29 по всем характеристикам. Поэтому для проведения дальнейших исследований в качестве объекта были выбраны микрорепорошки железа марки ASC100.29 (Швеция) [4; 10].

Литература

1. Витязь, П. А. Порошковые материалы на основе железа и меди. Атлас структур / П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 155 с.
2. Говор, Г. А. Особенности магнитных характеристик новых композиционных материалов на основе порошков железа / Г. А. Говор, А. К. Вечер,

К. И. Янушкевич // Перспективные материалы и технологии: под ред. В. В. Клубовича. – Витебск, УО ВГТУ. – Витебск, 2017. – Т. 2. – С. 278–299.

3. Vetcher, A. Magnetic properties of special low-frequency soft magnetic composite material / A. Vetcher, G. Govor, K. Yanushkevich and I. Timoshkov // Trends in MAGnetism: abstracts of VII Euro-Asian Symposium, Ekaterinburg, 08–13 September 2019. – Ekaterinburg, 2019. – Vol. II. – P. 172–173.

4. Магнитомягкие материалы на основе железа, используемые в электромашиностроении / А. К. Вечер, Г. А. Говор, У. Т. Бердиев, Ф. Ф. Хасанов // Вестник ТаШИИТ. – 2019. – № 3. – С. 212–217.

5. Исследование влияния условий синтеза на магнитные характеристики композиционных материалов на основе порошков железа / А. К. Вечер, Г. А. Говор, К. И. Янушкевич, У. Т. Бердиев, Ф. Ф. Хасанов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 17–24.

6. Сулаймонов, Ў. Куқунли композицион материал асосидаги энергия самарадор магнит компонентларни олиш технологияси. / Ў. Сулаймонов, Ф. Хасанов, Ў. Бердиев, К. Каршиев // Eurasian Journal of Academic Research. – 2022. – Vol. 2, № 6. – P. 289–292.

7. Vetcher, A. Iron powders with insulating layers: structure and magnetic properties / A. Vetcher, K. Yanushkevich // Nonequilibrium phase transformations: proceedings of V International scientific conference materials science, Varna, 09–12 September 2019. – Varna, Bulgaria. – P. 27–29.

8. Говор, Г. А. Композиционные магнитомягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике / Г. А. Говор, А. К. Вечер, В. И. Митюк // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 439–444.

9. Сулаймонов, У. (2022). Технология получения энергосберегающих магнитных компонентов на основе порошкового композиционного материала / У. Сулаймонов, Ф. Хасанов, У. Бердиев, К. Каршиев // Yosh Tadqiqotchi Jurnalı. – 2022. – Vol. 1, № 5. – P. 120–127.

10. Говор, Г. А. Композиционные магнитомягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике / Г. А. Говор, А. К. Вечер // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 20–23 октября 2009 г.: в 3 т. / редкол.: Н. М. Олехнович [и др.] – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 137–140.

11. Berdiev, U. T. Magnetic properties of soft magnetic composites used in electromechanical engineering / U. T. Berdiev, F. F. Xasanov, O'. B. Sulaymonov, K. T. Karshiyev // Znanstvena misel journal. – 2022. – № 66. – P. 39–43.

**Исследование степени электроактивации водных растворов
на разматываемость шелковичных коконов**

Фаттахов М. А.¹, Базаров М.², Мамаева Д. А.¹

¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,

²Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Республика Узбекистан

В статье изучаются работы отрыва от усилия схода коконной нити при размотке коконов в электроактивированных водных растворах серицина. Исследуется адгезия – прочность связи соприкасающихся фаз. Поставленная цель достигается регулированием процесса размотки нити коконов, включающего электрообработку циркулирующей технологической жидкости и контроль за усилием схода нити по физико-химическим параметрам жидкости. В работе приведены комплексные исследования и изучены особенности взаимодействия кокономной оболочки электрообработанной технологической жидкости с различными физико химическими и структурными методами. Предлагаемый способ способствует увеличению шелка-сырца в процессе размотки коконов без дополнительных затрат.

В последнее время производство шелковых тканей принадлежит к числу основных отраслей легкой промышленности в особенности в Республике Узбекистан, где этот вид текстильной продукции давно стал товаром широкого потребления. Одной из центральных задач, стоящих перед шелкомотальной промышленностью в условиях рыночной экономики, является повышение эффективности производства натурального шелка на основе рационального использования сырьевых ресурсов, усовершенствование техники и технологии производства и улучшение качества продукции.

Последние годы в шелкомотальной промышленности проводятся определенные мероприятия по увеличению выхода шелка сырца, однако данный уровень в настоящее время еще нельзя признать удовлетворительным. Для увеличения выхода шелка сырца исследованы физико-химические параметры электроактивированных водных растворов серицина [1]. Изучено содержание серицина в технологическом растворе кокономотального производства [2].

Очистка технологической воды путем электроактивации позволяет улучшить параметры размотки. В данной работе исследована работа отрыва от усилия схода коконной нити при размотке коконов в электроактивированных водных растворах серицина. Под адгезией понимают прочность

связи соприкасающихся фаз, и в процессе размотки она определяется как нагрузка, необходимая для разрушения этой связи. Расчет работы отрыва [3] определяется в зависимости от натяжения коконной нити при размотке. Однако процесс размотки есть результат водотермического взаимодействия кокона с водой, поэтому кроме физико-механических свойств нити, на работу отрыва оказывают большое влияние и свойства самой жидкости (воды).

Адгезия тесно связана со свободной поверхностной энергией [4], так же, как работа отрыва A связана со смачиванием или краевым углом

$$A = \sigma \cdot (1 - \cos\theta),$$

где σ – поверхностная натяжение раствора; θ – краевой угол смачивания

Известно, что поверхностное натяжение воды вызывает изменение активности среды, влияя на проникновение влаги внутрь оболочки коконов посредством улучшения ее смачиваемости и увеличения водопроницаемости. Увлажнение коконной оболочки в процессе размотки естественным образом изменяет адгезию между нитями оболочки, склеенными в отдельных точках.

В связи с этим изменяется общее усилие схода нити изначально определяемой работой отрыва A . Работу отрыва на единицу длины нити P определяем по формуле

$$P = 1 - \cos\theta.$$

Данные расчетов работы отрыва P на единицу длины нити в зависимости от концентрации серицина в растворе приведены в табл. 1.

Таблица 1

Работа отрыва коконной нити при размотке в воде с различной концентрацией серицина

№	Концентрация серицина, г/л	Угол смачивания	$\cos \theta$	$P(H)$
1	0	125	-0,574	1,574
2	1	119	-0,485	1,485
3	3	120	-0,5	1,5
4	4	118	-0,47	1,47
5	5	117	-0,45	1,45
6	6	122	-0,52	1,52
7	7	120	-0,5	1,5
8	9	120	-0,48	1,48

Как видно из табл. 1 работа отрыва имеет минимум при концентрации серицина в электроактивированном водном растворе в пределах 4–5 г/л.

Размотка коконов представляет собой последовательный отрыв от оболочки небольших смежных участков нити, перемежающихся со сходом с оболочки не склеенных ее участков. Склеенные участки характеризуется силой, определяемой адгезией, величину которой в процессе размотки необходимо снизить, чтобы размотать кокон с приемлемой скоростью. Уменьшение адгезии достигается попеременным термическим воздействием на коконы. В результате серицин, покрывающий шелковину размягчается и усилия схода нити снижаются. Однако, как было установлено, на величину усилия схода нити влияет не только тепловой режим, но и состав технологической среды. Было выявлено влияние солевого состава среды [5].

Нами проведены исследования, которые позволили установить связь между качеством воды для размотки и усилием схода нити (табл. 2.).

Таблица 2

Зависимость усилия схода коконной нити от качества среды размотки
(водных растворов)

№	Концентрация серицина, г/л, участок коконной нити, м	Параметры	0	1	3	5	7	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	100	Линейная плотность нити T , текс	0,31	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32
		Усилия схода нити P	1,57	1,49	1,5	1,45	1,52	1,48
		Отношение, P/t , Н/текс	5,06	4,66	4,84	4,53	4,30	4,63
2	200	Линейная плотность нити T , (текс)	0,32	0,33	0,32	0,32	0,31	0,33
		Усилия схода нити P	1,59	1,53	1,52	1,50	1,57	1,55
		Отношение, P/t , Н/текс	4,36	4,69	4,75	4,69	5,06	4,7

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	300	Линейная плотность нити Т, (текс)	0,28	0,29	0,31	0,31	0,33	0,32
		Усилия схода нити P	1,61	1,58	1,60	1,56	1,60	1,62
		Отношение, P/t , Н/текс	5,75	5,45	5,16	5,03	4,85	5,06
4	400	Линейная плотность нити Т, текс	0,29	0,32	0,33	0,32	0,34	0,34
		Усилия схода нити P	1,64	1,64	1,63	1,66	1,65	1,70
		Отношение, P/t , Н/текс	5,66	5,13	4,94	5,19	4,85	5,0
5	500	Линейная плотность нити Т, текс	0,34	0,34	0,35	0,35	0,34	0,33
		Усилия схода нити P	1,70	1,72	1,71	1,74	1,73	1,75
		Отношение, P/t , Н/текс	5,0	5,06	4,89	4,97	5,09	5,30
6	600	Линейная плотность нити Т, текс	0,35	0,36	0,38	0,37	0,37	0,36
		Усилия схода нити P	1,66	1,68	1,67	1,70	1,69	1,71
		Отношение, P/t , Н/текс	4,74	4,67	4,39	4,59	4,57	4,75

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	700	Линейная плотность нити Т, текс	0,39	0,38	0,36	0,36	0,36	0,39
		Усилия схода нити P	1,62	1,65	1,60	1,70	1,69	1,66
		Отношение, $P/Т, Н/текс$	4,15	4,34	4,21	4,72	4,53	4,26
8	900	Линейная плотность нити Т, текс	0,33	0,29	0,30	0,31	0,30	0,32
		Усилия схода нити P	1,60	1,61	1,55	1,62	1,58	1,63
		Отношение, $P/Т, Н/текс$	5,0	5,55	5,17	5,23	5,27	5,09
9	1000	Линейная плотность нити Т, текс	0,29	0,27	0,26	0,23	0,25	0,25
		Усилия схода нити P	1,55	1,50	1,52	1,44	1,50	1,60
		Отношение, $P/Т, Н/текс$	5,34	5,58	5,85	6,06	5,4	5,6

Линейная плотность коконной нити неодинакова по длине, наибольшая – в средней ее части, наименьшая – к концу, где начальный участок занимает промежуточное положение.

Соответственно меняется и усилие схода нити, т. е. для участка нити с большей плотностью требуется большее усилие отрыва и наоборот. Данная пропорциональная зависимость нарушается при увеличении концентрации серицина в технологической среде размотки. При повышении содержания серицина в воде до 5 г/л и выше наименьшим усилием схода обладает начальный участок нити, т. е. верхний слой оболочки, несмотря на то, что

линейная плотность здесь средняя. Так как усилие схода в значительной степени зависит от толщины нити, нами рассмотрено отношение (P/t), которое наглядно показывает, как влияет концентрация серицина на удельное усилие схода.

Полученные результаты показывают, что в свободной от серицина воде удельное усилие схода наибольшее по начальным участкам среди всех рассмотренных вариантов. Увеличение концентрации серицина в размоточном тазу приводит к уравниванию усилия схода нити с кокона по всей длине нити при размотке.

Табл. 3 показывает, что на различном участке коконой нити, если использовать электроактивированный водный раствор серицина с различной концентрацией, можно разматывать коконы с одинаковым усилием.

Таблица 3

Результаты усилия схода нити для различных участков коконой нити

г/р	Участок коконой нити, м	Электроактивированный водный раствор серицина с концентрацией г/л.	Отношение P/t (Н/текс)
1	100–300	3	4,91
2	300–600	5	4,95
3	600–1000	7	4,94

Основываясь на этих результатах, разработан способ размотки коконов.

Литература

1. Фаттахов, М. А. Исследование физико-химических параметров электроактивированных водных растворов серицина / М. А. Фаттахов, Б. Э. Тураев, М. К. Эрмурадов, Д. А. Мамаева // Тўкимачи муаммолари. – 2017. – № 4. – С. 73–78.
2. Фаттахов, М. А. Особенности определения содержания серицина в технологическом растворе кокономотального производства / М. А. Фаттахов, М. Базаров // Кимевий технология. Назорат ва бошқарув. Халқаро илмий-техникавий журнал. 2019. – № 4–5. – С. 100–105.
3. Юнусов, Л. Физико-химические свойства натурального шелка в процессе переработки коконов / Л. Юнусов. – Ташкент, 1978. – С. 12–25.
4. Абрамов, А. Д. Влияние сушки коконов на адгезию серицина и натяжение коконой нити при размотке / А. Д. Абрамов // Шелк. – 1963. – № 3. – С. 30.
5. Исламов Б. Х. Изучение вклада белковых компонентов в деформационные свойства натурального шелка / Б. Х. Исламов, М. А. Фаттахов // Проблемы текстиля. – 2015. – № 3. – С. 65–70.

Значение силовых трансформаторов при подаче электрической энергии в железнодорожную электрическую сеть и автоматические электрические устройства

Юсупов Д. Т.¹, Авазов Б. К.²

¹ООО «Научно-технический центр» АО «Узбекэнерго»,

²Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье изучена основная функция силового трансформатора в железнодорожной электросети, а за счет обеспечения постоянной работы трансформатора проанализировано, как повысить эффективность работы электротехнических устройств автоматики и телемеханики.

Трансформаторы являются одним из наиболее широко используемых устройств в энергетике и обрабатывающей промышленности. Они используются для передачи и распределения электроэнергии на большие расстояния. Основная задача трансформатора – снизить высокое напряжение до необходимой величины или наоборот повысить низкое напряжение до необходимой величины. Замена масла трансформаторов является важным элементом системы его профилактического обслуживания. Срок службы трансформатора определяется сроком службы его изоляционной части [1–3].

Наиболее часто используемой системой изоляции является жидкая изоляция (трансформаторные масла), а также твердая изоляция (бумага, дерево, целлюлозные изделия). Изоляционное масло составляет почти 80 % диэлектрика в трансформаторе. Большинство отказов трансформаторов в 85 % случаев происходят из-за повреждения системы изоляции. Трансформаторные масла являются хорошей изоляционной жидкостью, когда пропитаны изоляционной бумагой, картоном и их обмотками, увеличивающими сопротивление изоляционных материалов напряжению. Низкая вязкость масла позволяет ему проникать в жесткую изоляцию и отводить тепло, передавая его в систему охлаждения. В этом случае жидкий утеплитель служит еще и теплоносителем.

Силовые трансформаторы применяются в качестве основного устройства электроснабжения для подачи электроэнергии в тяговые сети железных дорог, автоматические и телемеханические сети связи. Эти силовые трансформаторы применяются в основном в области железнодорожной автоматики и телемеханики в качестве основного устройства, обеспечивающего

электроэнергии работу реле, устройств сигнализации, светофоров переэздов, рельсовых цепных и шлагбаумных устройств [2–3].

Наша основная цель – обеспечить постоянную работу силовых трансформаторов и повысить эффективность работы электротехнических устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Если мы не сможем обеспечить эту преемственность, мы будем причиной остановки движения поездов на железнодорожных путях. Поэтому данные силовые трансформаторы считаются сложным электротехническим оборудованием, которое требует постоянного внимания со стороны специалиста, а наряду с регулярным осмотром требуется ремонт трансформатора через 10–12 лет эксплуатации. Таким образом, выход из строя силовых трансформаторов (рис. 1), работающих в условиях длительной эксплуатации в сетях железнодорожной автоматики и телемеханики, обусловлен следующими факторами. Основным из этих факторов является появление механической (твердой) смеси и воды в масле работающего трансформатора под воздействием внешней среды.

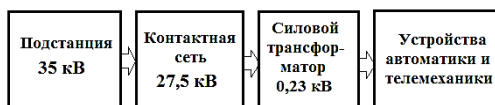


Рис. 1. Принципиальная схема силового трансформатора в процессе работы

В результате присутствия воды, пыли или отходов из внешней среды в результате длительной эксплуатации изоляционная и энергетическая стабильность отработанного трансформаторного масла снизится. Отработанное масло содержит мелкие механические частицы, неразрывимые соединения и различные отложения. Эти примеситакже вызваны ржавчиной, смазыванием или вскрытием бака трансформатора. Это приводит к выходу из строя трансформатора, приостановке работы электромобилиа и железнодорожных тяговых сетей.

Поэтому данные силовые трансформаторы считаются сложным электротехническим оборудованием, которое требует постоянного внимания и регулярного осмотра, а через 10–12 лет эксплуатации трансформатор нуждается в ремонте.

На длительную эксплуатацию в сетях железнодорожной автоматики и телемеханики влияет выход из строя силовых трансформаторов. В основе этого лежит образование механической (твердой) смеси воды и дождевой среды из масла в рабочем трансформаторе. Помимо обеспечения 80 % прочности силовых трансформаторов по электрической изоляции, а также для

установки в системе накопления тепла от активных частей силовых трансформаторов (обмотки и др.). Основные эксплуатационные характеристики трансформаторного масла являются дополнением к нормативному документу. С этой целью для повышения срока службы силовых трансформаторов, начиная с диагностической ситуации, необходимо проводить своевременную коррекцию состояния катушки, изоляционных материалов и масла. Если масло трансформатора повреждено, его можно будет вовремя регенерировать [3–5].

Экономии можно добиться за счет повторной очистки собственного масла трансформатора, а не его повторной смазки. Если регенерация расщепленного масла возобновится, регенерированное масло будет перекачено обратно в бак трансформатора. Если он не извлекается в виде нефти, его отправляют на утилизацию, и процесс повторяется (рис. 2) [6].



Рис. 2. Процессы очистки (или утилизации) трансформаторного масла

Теплоизоляция и энергетическая стабильность отработанного трансформаторного масла снижается из-за воздействия воды, частиц в виде пыли или

дождя. Есть мелкие механические, нерастворимые соединения и другие различные соединения, полезные для не возвращающихся ячеек. Эти примеси также могут быть вызваны царапинами, смазкой или недостаточным лакированием трансформатора, вызывая его ржавчину. Это приводит к выходу из строя трансформатора, приостановке работы электроподвижного состава и систем железнодорожной тяги [7].

Так, средний срок службы трансформаторного масла, гарантированный производителем, составляет от 6 до 8 лет. На практике он может прослужить 10 и более лет до очистки или замены. Правильно используемое трансформаторное масло позволяет продлить срок службы на 20–25, а в некоторых случаях и до 30 лет. При неправильном использовании электроизоляционные жидкости могут не работать даже в течение гарантийного срока. Первые 6–8 лет активности нефти характеризуются кислотностью 0,1 мг кон/г. Через 8–10 лет кислотное число может достигать 0,5 мг кон/г, поэтому необходимо удалять шлам с активной части трансформатора [8; 9]. Если обработку не проводить, повышение кислотного числа может продолжаться до значения 1 мг кон/г в ближайшие 2–3 года. После этого трансформаторное масло следует заменить на новое или восстановить.

По результатам проведенных исследований по очистке и улучшению эксплуатационного состояния трансформаторного масла можно сказать, что за счет очистки трансформаторного масла достигается низкое энергопотребление и высокая экономичность, улучшаются эксплуатационные характеристики трансформаторного масла [10].

В настоящее время на железных дорогах Узбекистана насчитывается более 520 железнодорожных переездов, из них около 300 неохраняемых и более 220 охраняемых. Устройством блокирования железнодорожного переезда (УБЖП) оборудовано около 150 охраняемых железных дорог. Имеется около 80 охраняемых железнодорожных переездов, в том числе скоростных участков [11; 12]. Трансформаторы КТП (комплектная трансформаторная подстанция) размещены в защищенных помещениях.

Поэтому с учетом вышеперечисленных процессов требуется своевременный технический осмотр и ремонт силовых трансформаторов, чтобы они работали в исправном состоянии. Поэтому требования по повышению КПД электрических устройств железнодорожной автоматики и телемеханики и увеличения их производительности достигаются за счет совершенствования КПД силовых трансформаторов.

Литература

1. Авазов, Б. К. Ишлатилиб бўлинган куч трансформатор мойларини эксплуатация жойида тозалаш имкониятлари / Б. К. Авазов, М. Базаров,

С. Б. Нуриддинов // Journal of new century innovations. – 2022. – Vol. 11, № 4. – P. 42–45.

2. Avazov, B. K. Transformer oil cleaning technology / B. K. Avazov, K. T. Qarshiyev // Academic research in educational sciences: proceedings of 3.TSTU conf. 1, Tashkent, 21–22 April 2022. – Tashkent, 2022. – P. 199–202.

3. Avazov, B. K. Mechanical impurities – as the main factor affecting the performance characteristics of oils of power traction transformers / B. K. Avazov, O. M. Kutbidinov, D. T. Yusupov // Young thought – the development of energy: proceedings of All-Russian scientific and technical conf. of students and undergraduates on the topic, Bratsk, 20–24 April 2020. – Bratsk, 2020. – P.143–146.

4. Авазов, Б. К. Очистка трансформаторного масла после эксплуатации / Б. К. Авазов // Архитектура и строительство: материалы 66 Междунар. науч. конф. Астраханского гос-го техн. ун-та, Астрахань, 2022. – Астрахань, 2022. – С. 658–661.

5. Avazov, B. K. Cleaning of used transformer oil / B. K. Avazov, D. T. Yusupov // Journal NX – A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal. – 2021. – № 1. – P. 719–724.

6. Шуварин, Д. В. Новые технологии очистки и регенерации энергетических масел / Д. В. Шуварин // Экологическая безопасность энергетики: опыт, проблемы, инновационные решения: материалы науч.-практ. конф., Москва, 2015. – Москва, 2015. – С. 49–57.

7. Богачков, И. М. Способ очистки трансформаторного масла / И. М. Богачков, Ю. А. Савиных // Нефть и газ. – 2011. – № 1. – С. 87–91.

8. Салихов, Т. П. Метод циркуляционной промывки трансформаторов с использованием адсорбентов и керамических мембран / Т. П. Салихов, В. В. Кан, Д. Т. Юсупов // Научно-технический журнал ФерПИ. – 2014. – № 4. – С. 62–66.

9. Кан, В. В. Очистка масляных трансформаторов с использованием мобильных установок на базе керамических мембран / В. В. Кан, Д. Т. Юсупов // Проблемы информатики и энергетики. – 2014. – № 6. – С. 85–89.

10. Сапожников, В. В. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / В. В. Сапожников, Н. П. Ковалев, В. А. Кононов, А. М. Костроминов, Б. С. Сергеев. – М.: Маршрут, 2005. – 453 с.

11. Berdiyev, U. T. Soft magnetic materials for electric machine construction / U. T. Berdiyev, A. K. Vetcher, F. F. Hasanov, B. B. Avazov // AIP Conference Proceedings 2612, 050014, 2023. – doi.org/10.1063/5.0117785.

12. Каршиев, К. Т. Использование накопителей энергии в электроснабжении железнодорожного транспорта / К. Т. Каршиев, И. Б. Курбонов, С. Б. Нуриддинов, Б. К. Авазов // Journal of new century innovations. – 2022. – Vol. 19, № 1. – P. 75–78.

Определения потенциала и способ получения электроэнергии от ветра в ветряных регионах Республики Узбекистан

Ахмедов А. П.¹, Худойберганов С. Б.¹, Юркевич Н. П.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ветровая энергетика занимает достаточно важное место в балансе глобальной «зеленой» генерации. Турецкая компания Devesci Tech принципиально изменила подход к вопросу, показав, что собирать ветровую энергию можно прямо на улицах городов или междугородных трассах. В статье предлагается установить в регионах Узбекистана с требуемой скоростью ветра ветроустановки Axes Wind SR – 600/800 вдоль дорог с обеих сторон. Полученную электроэнергию можно использовать по-разному, например, для освещения дорог и улиц, для зарядки электромобилей и электробусов.

Ветровая энергетика занимает достаточно 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



Рис. 1. Турбины Enlil, установленные в Стамбуле

движении транспортных средств возникают волны давления и разряжения воздуха. Инженеры из Стамбула создали вертикальную ветровую турбину ENLIL, которая работает от воздушных потоков, создаваемых быстро движущимися автомобилями. Завихрения от проходящих большегрузных машин и автобусов заставляют ветряк вращаться еще сильнее, а вертикальное расположение длинных лопастей обеспечивает максимальный захват потока [1].

Турбины Enlil занимают совсем 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 [1].

В Стамбуле установили ветрогенераторы, которые производят энергию с помощью потока ветра, образующегося от движения автомобилей (рис. 2).



Рис. 2. Ветрогенераторы, установленные в Стамбуле

На сегодняшний день проблемы использования возобновляемых источников энергии мировым сообществом являются очень важными и насущными. Запасы традиционных источников энергии имеют тенденцию к истощению, и человечество уже прилагает серьезные усилия по разработке альтернативных генерирующих устройств. Кроме этого, потребление электроэнергии в мире растет с каждым днем [2–4]. Многое зависит от средней скорости ветра в рассматриваемом регионе.

Значения средних скоростей ветра за год в областях Республики Узбекистан приведена в табл. 1 [5].

Таблица 1

Значения средних скоростей ветра за год в областях
Республики Узбекистан

№	Название области	Средняя скорость ветра за год	
		км/час	м/с
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	Сырдарьинская область	10,35	2,88
10	Сурхандарьинская область	11,21	3,11
11	Ташкентская область	9,75	2,71
12	Ферганская область	8,47	2,35
13	Хорезмская область	15,48	4,30

Из табл. 1 видно, что в некоторых областях Республики средняя скорость ветра за год соответствует требованиям установки и эксплуатации ветрогенераторов. Таких регионов четыре: Республика Каракалпакстан, Бухарская область, Навоийская область и Хорезмская область. В этих регионах средняя скорость ветра за год составляет более 4 м/с.

В табл. 2 приведены площади территорий регионов Узбекистана, с необходимой скоростью ветра [6].

Из табл. 2 можно сделать вывод о том, что более 70 % территории Республики Узбекистан пригодна для установки и эксплуатации ветряных генераторов. Ветрогенераторы можно разделить на три категории: промышленные, коммерческие и бытовые (для частного использования).

Таблица 2

Площади территорий регионов Узбекистана с необходимой скоростью ветра

№	Название области	Площадь территории	В процентах от РУз
		тыс. м ²	%
1	Республика Каракалпакистан	165,6	36,88
2	Бухарская область	39,4	8,78
3	Навоийская область	110,8	24,68
4	Хорезмская область	6,3	1,4
	Республика Узбекистан	448,97	

Существуют два основных типа ветротурбин: с вертикальной осью вращения («карусельные» – роторные (в том числе «ротор Савониуса», точнее «ротор Братьев Ворониных», «лопастные» ортогональные – ротор Дарье); с

горизонтальной осью круглого вращения (крыльчатые). Они бывают быстроходными с малым числом лопастей и тихоходными многолопастными, с КПД до 40 %. Также существуют барабанные и роторные ветротурбины. Предлагается использовать в качестве ветрогенераторной установки, китайский ветрогенератор



Рис. 3. Ветроустановки Axies Винд

Axies Винд SR – 600/800 (рис. 3). Эффективность таких ветрогенераторов очень высокая.

Мощность воздушного потока, создаваемая естественным ветром, составит

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{C_p \cdot m \cdot v^3}{2} = \frac{C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3}{2},$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра; v – скорость воздушного потока, м/с; S – ометаемая площадь, м².

Для выбранной ветроустановки $C_p = 0,19$, $S = 2$ м².

В табл. 3 приведены технические характеристики и цена ветроустановок Ахies Винд (рис. 3) двух модификаций.

Таблица 3

Технические характеристики и цена ветроустановок Ахies Винд

Изготовитель	Напряжение, В	Мощность, Вт	Цена	
			рубль	сум
Ахies Винд (Китай)	12	800	19321,08	2840187
Ахies Винд (Китай)	24	1000	20653,56	3036138

Они очень чувствительны и начинают вырабатывать энергию даже со скоростью 2 м/с. Доступно также для подключения к сети. Произведем расчет естественной генерации за счет ВЭУ в предположении, что ВЭУ работают в обычном режиме за счет естественных ветров. Из этого графика можно сделать вывод, что средняя скорость ветра за год в Республике Каракалпакстане составляет примерно 15,73 км/час или 4,37 м/с.

Мощность воздушного потока, создаваемая ветром

$$P = \frac{0,19 \cdot 1,226 \cdot 2 \cdot 4,37^3}{2} = 19,44 \text{ Вт.}$$

Выработанная энергия за год одним ветрогенератором составит

$$E_{\text{год}} = 19,44 \cdot 24 \cdot 365 \text{ Вт} = 170,3 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

Сумма, сэкономленная на одном ветрогенераторе за год:

$$S_{\text{экр1}} = 170,3 \cdot 900 \text{ сум} = 153270 \text{ сум.}$$

Протяженность автомобильных дорог Каракалпакстана составляет 4262 км, и все эти дороги требует освещения в темное время суток. Рассчитаем энергию, вырабатываемую ветрогенераторами на 1 км дороги. Предположим, что ветрогенераторы размещаются по 50 шт с каждой стороны дорог (рис. 4) на километре пути, тогда получается выработка энергии

$$E_{\text{сст}}(1 \text{ км}) = 170,3 \times 100 = 17030 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Сумма стоимости всех ветрогенераторов на километре пути составит

$$S_{\text{вг}} = 50 \cdot 3 \text{ млн} = 150 \text{ млн сум}.$$



Рис. 4. Ветроустановки, установленные вдоль дороги

Полученную электроэнергию можно использовать по-разному, например, для освещения дорог и улиц, зарядки электромобилей и электробусов [7].

Литература

1. Инновационный ветрогенератор Enlil работает от проезжающих мимо автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sgs-company.de/v/#home>. – Дата доступа: 12.07.2022.
2. 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.
3. Ахмедов, А. П. Способ получения электроэнергии от ветра проезжающих транспортных средств / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, О. М. Кутбидинов, Д. Ф. Усмонов // Universum: технические науки. – 2022. – Т. 104, № 11–3. – С. 49–53.
4. 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 [Электронный ресурс]: материалы II республиканской

научно-технической конференции, 28–29 апреля 2022 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 393–397.

5. Климат и средняя погода круглый год в Узбекистане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.weatherspark.com/y>. – Дата доступа: 01.02.2017.

6. Регионы Узбекистана – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Дата доступа: 27.04.2022.

7. Ветряная турбина 1000 Вт, 12 В, 24 В, вертикальные оси, ветряной генератор VAWT, маленькая ветряная мельница, свободная энергия, с контроллером заряда MPPT, для домашнего использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005003764276989.html?sku_id. – Дата доступа: 01.04.2023.

УДК 631.221

Рентгенофотоэлектронный спектроскопический анализ составов слоев на основе $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}(\text{Se})_4$.

Валиханов Н. К.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

Содержание в воздухе тонких слоев на основе Zn неизбежно приводит к проникновению и фиксации кислорода воздуха в твердой фазе таллоцианина цинка, где он выступает в роли акцептора электронов. Учитывая, что в этих слоях могут быть обнаружены и другие частицы, присутствующие в атмосфере (которые могут играть определенную роль в их фотоэлектрических свойствах), для определения элементного состава был использован количественный анализ рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Содержание тонких слоев на основе Zn в воздухе обязательно приводит к проникновению и фиксации кислорода воздуха в твердой фазе таллоцианина цинка, где действует как акцептор электронов [1]. Учитывая, что в этих слоях можно фиксировать другие частицы, присутствующие в атмосфере (которые могут играть определенную роль в фотоэлектрических свойствах), для уточнения их элементного состава применялся количественный анализ рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

В то же время с помощью РФЭС были выявлены новые типы химических связей, появившиеся в синтезированных тонких слоях. На рис. 1 показаны спектры РФЭС во всем диапазоне энергий. В спектрах РФЭС мы свидетельствуем о наличии пиков характеристики C 1s, O 1s, N 1s, I 3d и Zn 2p.

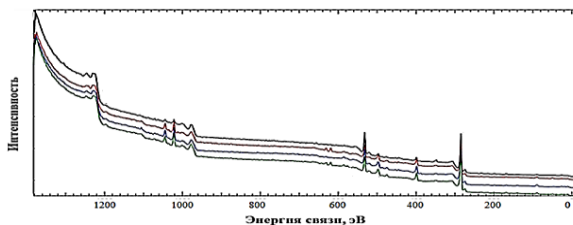


Рис. 1. Спектры РФЭС для тонких слоев 1А, 2А, 3А и 4А без термической обработки

Деконволюция (развертка) узкого спектра (пика) $Zn\ 2p$ в результате легирования йодом показывает легкое смещение ($0,2-0,3$ эВ) в сторону меньшей энергии связи, а для системы $Zn: Sn$ – небольшое смещение ($0,13$ эВ) в сторону большей энергии связи (рис. 2, *b*).

Пик энергии связи при $1021,9$ эВ соответствует металлическому цинку [2]. Спектры $N\ 1s$ для Zn и $Zn:Sn$, легированные и не легированные йодом, показаны на рис. 3, *a*. Во всех спектрах преобладает сильный сигнал при $398,2$ эВ, соответствующий Zn .

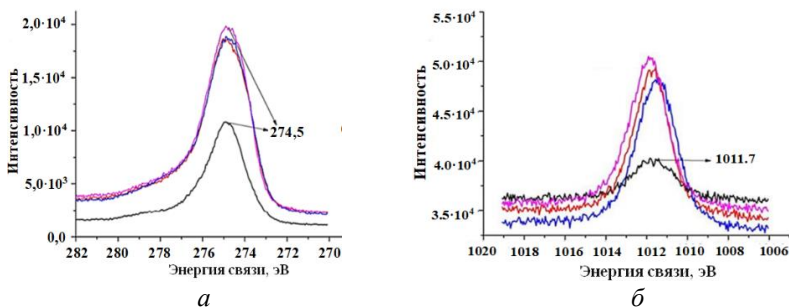


Рис. 2. РФЭС-спектры подуровней для тонких слоев 1А–4А:
a – $C\ 1s$; *b* – $Zn\ 2p$

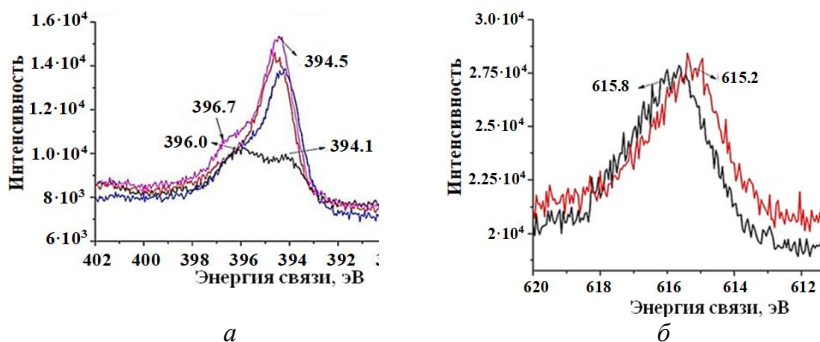


Рис. 3. РФЭС-спектры подуровней для тонких слоев 1А–4А:
a – N 1*s*; *b* – I 3*d*

Легирование йодом способствует аналогичному смещению этого сигнала на 0,1–0,2 эВ. Второй пик, соответствующий N 1*s*, возникает при энергии связи 400,1 эВ для ZnSn, не легированного йодом и светом смещена в сторону более высокой энергии связи для ZnSn и Cu₂Zn:I.

Пик для энергии связи 398,4 эВ соответствует наличию –N=C, а расположенный при 400,8 эВ соответствует группе HN-C [3]. Соответствующий сигнал I 3*d*_{5/2} для комплекса Zn: I₂ смещен на 0,5 эВ по сравнению с ZnSn:I. Соответствующий РФЭС-спектр O 1*s* для слоев 1А–4А показан на рис. 4.

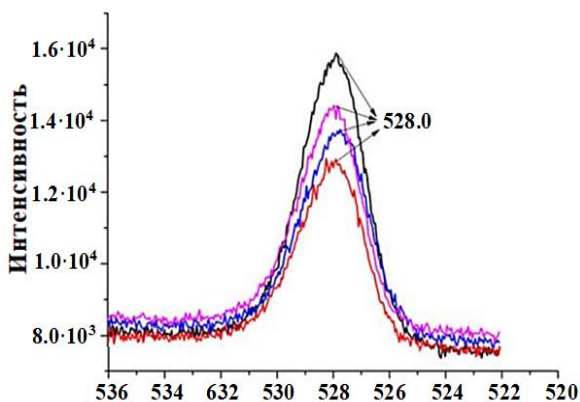


Рис. 4. Спектры подуровня O 1*s* для тонких слоев 1А–4А

Сигнал для O 1s при 531,9 эВ можно отнести к связи цинка с формиат-ионом, образующихся в результате диссоциации ЖК и присоединения к центральному иону в молекуле Zn. Однако не исключено, что определенный вклад в появление этих сигналами обладают подвижные формы кислорода O₂⁻, O²⁻ и OH.

Результаты РФЭС исследований синтезированных тонких слоев показывают, что растворы ZnSnS₄ и Zn:I SnS₄ взаимодействует с I₂ с образованием самоорганизующихся комплексов.

Наблюдения за слоями, легированными йодом, также предполагают образование тетраэдрических комплексов, таких как nI₂ (HCOO). Образование этих комплексов способствует передаче фотоиндуцированных нагрузок от донорного материала к акцепторному [4].

Литература

1. Fan, F. Photovoltaic Effects Of Metalfree And Zinc Phthalocyanines. I. Dark Electrical Properties Of Rectifying Cells / F. Fan, L. R. Faulkner // The Journal Of Chemical Physics. – 1978. – Vol. 69. – P. 3334–3340.
2. Nilson, K. STM And XPS Characterization Of Zinc Phthalocyanine On Insb (001) / K. Nilson, P. Palmgren, J. Åhlund, M. Göthelid // Surf. Sci. – 2008. – Vol. 602. – P. 452–459.
3. NIST X-Ray Photoelectron Spectroscopy Database. Disponibil [Electronic resource]. – Mode of access: <https://srdata.nist.gov/xps/default.aspx>. – Date of access: 15.09.2012.
4. Potlog, T. Physical-Chemical Properties Of Self-Assembled Structures In Solution Of Zinc Phthalocyanine And Bis-3-Pentyl-PTCDI Derivative / T. Potlog, V. Furtuna, I. Lungu, T. Masuzawa, H. Mimura // The Journal Of Physical Chemistry C. – 2020. – Vol. 17. – P. 9470–9483.

УДК 631.221

Отражение и преломление электромагнитной волны на двухслойной магнитной структуре

Валиханов Н. К.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

Исследование многослойных магнитных структур имеет большое значение для изучения наноструктур. В данной работе мы рассматриваем двухслойную магнитную структуру, где первый слой представляет собой экваториально намагниченную пленку толщиной ℓ , а второй слой полярно-координатно намагниченную подложку.

При изучении наноструктур большое значение имеет изучение многослойных магнитных структур. В данной работе мы рассмотрим двухслойную магнитную структуру, первый слой которой представляет собой намагниченную экваториальной геометрии пленку, имеющую толщину ℓ , второй слой представляет собой намагниченную в полярной геометрии подложку.

Распространение электромагнитной волны в такой двухслойной магнитной структуре представляет в общем случае сложную задачу. Дисперсионное уравнение является в общем случае уравнением шестой степени относительно компонент вектора рефракции. В уравнение входит большое число материальных параметров, и оно является чрезвычайно громоздким. Даже для бигиротропной среды, когда порядок дисперсионного уравнения понижается до четырех, оно продолжает оставаться достаточно сложным:

$$\begin{aligned} & \epsilon \mu n^4 + [\epsilon(\mu_0 - \mu) + \mu(\epsilon_0 - \epsilon)]n^2 (\vec{n}\vec{b})^2 + (\epsilon_0 - \epsilon)(\mu_0 - \mu)(\vec{n}\vec{b})^4 - \\ & - [\mu_0 \mu \epsilon^2 (1 - Q^2) + \epsilon_0 \epsilon \mu^2 (1 - M^2)]n^2 + [\mu_0 \mu \epsilon^2 (1 - Q^2) + \epsilon_0 \epsilon \mu^2 (1 - M^2)] - \\ & - 2\mu_0 \mu \epsilon_0 \epsilon (1 + QM)(\vec{n}\vec{b})^2 + \mu_0 \mu^2 \epsilon_0 + \epsilon^2 (1 - Q^2)(1 - M^2) = 0, \\ & \hat{\epsilon} = \epsilon + i\epsilon Qb^* + (\epsilon_0 - \epsilon)\vec{b} \cdot \vec{b}, \\ & \hat{\mu} = \mu + i\mu Mb^* + (\mu_0 - \mu)\vec{b} \cdot \vec{b}, \\ & \hat{\alpha} = \alpha + i\alpha Lb^* + (\alpha_0 - \alpha)\vec{b} \cdot \vec{b}, \\ & \hat{\beta} = \beta + i\beta Kb^* + (\beta_0 - \beta)\vec{b} \cdot \vec{b}, \end{aligned}$$

где \vec{b} – орт намагниченности; $\hat{\epsilon}, \hat{\mu}$ – тензоры диэлектрической; магнитной проницаемости $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ – тензоры, связанные с возбуждением продольной волны; Q, M, L, K – магнитооптические параметры ферромагнитной среды.

Поскольку эффекты магнитной гиротропии и магнитной анизотропии в оптическом диапазоне частот малы, возможно ограничится получением приближенных решений дисперсионного и волнового уравнений.

При намагничивании магнитной двухслойной структуры (первый слой в экваториальной геометрии, а второй слой в – полярной геометрии), когда падающая электромагнитная волна поляризована в плоскости падения, относительное изменение интенсивности отраженной волны в линейном по намагниченности приближении состоит из двух частей: δ_1 – обычный экваториальный эффект Керра и δ_2 – относительное изменение интенсивности, возникающее в результате интерференции волн, отраженных от первой и второй границ раздела [1]. Как известно, при отражении электромагнитной волны от массивного однородного прозрачного образца линейный по намагниченности интенсивностный эффект, как в экваториальной, так и в полярной геометрии равен нулю [2].

В случае двухслойной магнитной структуры (рис.), благодаря наличию второй границы раздела и интерференции волн, отраженных от обеих границ раздела, возникает отличный от нуля интенсивностный магнитооптический эффект при отражении электромагнитной волны от прозрачной среды. Для иттриевого граната в области прозрачности: фарадеевское вращение $\alpha_{\phi} = 2 \cdot 10^2$ град/см, $\sqrt{\epsilon} = 2,2$, $Q = 0,7 \cdot 10^{-4}$, $\delta \sim 10^{-4}$ [1].

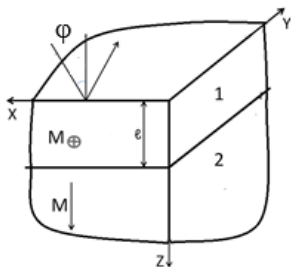


Рис. Схематическое изображение геометрии отражения света от двухслойной структуры

При наличии третьей границы раздела, когда система содержит две изотропные (вакуум) внешние среды: среда 1, среда 4 и двух внутренних сред: среда 2, намагниченная в экваториальной геометрии и среда 3, намагниченная в полярной геометрии задача усложняется. В магнитных средах 2 и 3 возбуждаются по три прямых и по три обратных электромагнитных волн. Наряду с двумя поперечными волнами в каждой из магнитных сред возбуждается одна продольная волна. Решение граничных задач на трех поверхностях раздела, позволяют вычислить матрицы отражения и преломления. Вычисление экваториального эффекта Керра показывает, что он в линейном по намагниченности приближении зависит от магнитооптических параметров Q , M , L , K так и приводит к таким же эффектам, как и в [1].

Литература

1. Звездин, А. К. Отражение электромагнитной волны от двухслойной магнитной структуры / А. К. Звездин, К. М. Мукимов, Х. И. Туркменов // ЖТФ. – 1984. – Т. 54, № 7. – С. 1391–1392.
2. Кринчик, Г. С. Физика магнитных явлений / Г. С. Кринчик. – М.: МГУ, 1976. – 367 с.

Инновационные технологии при проведении лабораторных занятий по электротехнике

Сайдалиева Ш. С.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

Атрибутом современного общества являются динамизм и модернизация, поэтому для стабильного развития необходимы инновации во всех сферах. Это касается производства, экономики и т. д. Инновации в образовании должны явиться основой модернизации любого общества. Современные тенденции развития ориентируют на ведущую роль информационных технологий в системе образования. Представляются имеющими почву прогнозы института Карнеги о крупной технологической революции в высшем образовании в связи с развитием электроники и информационных коммуникативных систем. Осмысление общественных процессов позволяет сделать вывод о том, что модернизации общества будет способствовать инновация культуры, науки и образования.

Выдвижением в центр всех научных областей человеческого фактора обусловлено требование модернизации образовательной системы, объектом которой является личность. Инновации требуются там, где существующие традиции больше не отвечают запросам общества. Относительно процесса образования речь идет о смещении акцентов со знание центрированности на личностную. По причине конкурентоспособности знаний на современном этапе компетентность в приобретении новых знаний становится стратегической задачей обучения. А ее формирование возможно при модернизации технологий обучения [1].

В настоящей статье сделана попытка реализации выше приведенных положений инновационных технологий на лабораторные занятия по электротехнике. Лабораторные занятия, как и другие формы обучения, предназначены для формирования умений и навыков, необходимых специалисту при решении профессиональных задач. Обычно цель лабораторного практикума сводится к тому, чтобы: конкретизировать абстрактный учебный материал и углубить понятия, изучаемые в теоретических курсах, обучить практическим методам исследований и умению пользоваться специальными средствами эксперимента; привить общие и частные навыки экспериментирования; сформировать практические навыки настройки приборов в проведении измерения в электрических цепях. Перечисленные задачи, как правило, в

той ли иной мере решаются при традиционной форме организации и проведения лабораторных занятий. Однако этого недостаточно, поскольку современный специалист должен быть обучен самостоятельно добывать знания, обладать творческим мышлением, владеть навыками делового общения.

Лабораторные занятия позволяют интегрировать теоретико-методологические знания и практические умения и навыки студентов в едином процессе деятельности учебно-исследовательского характера. Повышение роли лабораторных работ связано с быстрым развитием эксперимента в его современной форме, вследствие чего практически все выпускники должны быть подготовлены к экспериментальной исследовательской работе.

Лабораторные работы имеют особенно ярко выраженную специфику в зависимости от конкретной специализации, поэтому в данном случае более уместны частные методические рекомендации, чем общепедагогические. Отбор содержания учебного материала не ограничивается только научной стороной вопроса. Практическое содержание учебного курса в соответствии с принципами деятельностного подхода и концепции развития творческой личности должны составить основные виды профессиональной деятельности будущего специалиста.

Отмечая роль лабораторного практикума в учебном процессе следует конкретизировать основные задачи лабораторных занятий. Связать теорию с практикой – подтвердить экспериментом положения теории; ознакомить с элементами устройств, измерительными приборами, машинами, установками и процессами, в них протекающими; обучить умениям и навыкам обращения с перечисленной аппаратурой и технике экспериментов; научить обобщать и оформлять результаты исследований; привить навыки лабораторных исследований, предшествующих производственным испытаниям и умение разбираться в их результатах; воспитать навыки научно-исследовательской работы и обучить ее методике; использовать занятия в лаборатории для контроля самостоятельной работы студентов над теорией [2].

Важной стороной лабораторного практикума является то, что преподаватель может контролировать самостоятельную работу студентов над курсом и вовремя принять меры в том случае, если эта работа выполняется недостаточно. Особенно важен этот момент для курсов, не имеющих в учебном плане практических занятий или имеющих для них незначительное число часов, когда нет возможности осуществить контроль за самостоятельной работой студента на практических занятиях.

По изложенным соображениям считается более рациональным параллельный метод проведения лабораторных занятий, т. е. теоретический материал, после его изложения на лекции сразу же выносится на лабораторный практикум. При этом оптимальным является фронтальный метод выполнения лабораторных работ. Но этот метод требует наличия большого

числа однотипных работ, требующих большое количество приборов, оборудования. В таком случае целесообразно применить компромиссный параллельно-последовательный или цикловой метод. Работы в лаборатории разбиваются на несколько циклов, и конкретный какой-то цикл начинается после того, как лектором прочитан необходимый материал; в течение времени выполнения работ данного цикла продолжается чтение лекции, и студенты получают сведения, необходимые для работ следующего цикла, и т. д. В частности, в нашей лаборатории практикум разбит на циклы: электроизмерительные приборы, цепи однофазного тока, цепи трехфазного тока и электрические машины.

Пока не прочитана лекция по обеспечению первого цикла, допускается проведение практических занятий. Они могут быть посвящены решению задач по электрическим измерениям, расчетам цепей с различными способами соединений сопротивлений и т. д. Содержание работ лабораторного практикума выбирается таким образом, чтобы оно соответствовало существу изучаемого курса. Характер и темы работ должны учитывать и профессиональную подготовку, и специфику специальности [3]. Например, для студентов, обучающихся по автотранспортному направлению, при проведении лабораторной работы по выпрямлению трехфазного переменного тока нужно акцентировать внимание студентов на выпрямительные блоки автомобильных генераторов переменного тока. Каждая работа должна освещать какой-либо вопрос или раздел курса. При цикловом методе работы тема цикла должна соответствовать какому-то разделу теоретического курса и должна обеспечивать систематичность и последовательность усвоения. Работы цикла должны дополнять друг друга и не иметь повторов. В качестве примера можно привести содержание работ первого цикла. В этом цикле изучаются: общие свойства всех приборов непосредственной оценки; системы приборов – магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, индукционная; приборы по назначению – амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики, омметры; методы поверки, градуировки и расширения пределов; вращающие моменты и показания приборов. В результате студент должен получать наиболее полное представление о приборах непосредственной оценки. Желательно в каждой работе предусмотреть помимо обязательной программы еще дополнительные задания связанные, например, с контрольно-измерительными приборами автомобилей. Это стимулирует студентов к расширению и углублению знаний, повышает интерес и самостоятельность обучаемых. Важно правильно определить объем каждой работы и времени, отводимого на нее [4].

Для сокращения времени на оформление отчета по лабораторной работе в последние годы на нашей кафедре была разработана специальная форма отчета где студенту оставалось только заполнить соответствующие таблицы

(результаты проведенных измерений) и начертить графики. Но опыт показал, что без конкретных методических рекомендаций студенты затрудняются при защите лабораторных работ. Поэтому, в помощь студентам для выполнения лабораторных работ были подготовлены специальные пособия-руководства, которые содержат систему методических указаний, раскрывающих перед студентами цели и содержание предстоящей работы, а также особенности использования приборов и оборудования. Важной особенностью этих указаний является описание и обоснование методики и технологии решения экспериментальных задач, основанных на конкретном теоретическом материале изучаемого курса.

Работа студентов на лабораторном занятии протекает в виде изучения пособия-руководства, составления требуемых записей, составления электрических схем и согласования его с преподавателем, выполнение измерений и заполнение таблиц полученными данными, обработка результатов данных, проведение расчетов и вычислений, построение графиков и диаграмм, оценка погрешностей измерений, обобщение полученных данных и оформление выводов. В работах, где проверяется справедливость теоретической зависимости, важно показать степень совпадения теоретических и экспериментальных зависимостей с помощью построения соответствующих графиков, таблиц и т. д.

При изучении электроизмерительных приборов важно усвоить их конструктивные особенности. Принцип действия измерительных механизмов – получить навык включения прибора в цепь, снимать показание прибора на основе верного определения (особенно для многопредельных и многошкальных приборов) цены деления, научиться получать поправочные кривые в результате сравнения проверяемых приборов с эталонными. На основе экспериментального исследования трансформаторов и электрических машин получают практические навыки включения и их эксплуатации, снятия и изучения рабочих характеристик, усваивают принцип действия на основе выяснения электромагнитных явлений, происходящих в этих устройствах. В процессе подготовки и проведения экспериментов студенты могут пользоваться индивидуальными консультациями преподавателя.

Отчет по выполненной работе составляется каждым студентом, оформляется после полного завершения работы во внеаудиторное время. Объем и содержание отчета определяются заданием по данной работе. Качество заключительного отчета свидетельствует о результативности выполнения экспериментального исследования студентом. Отчет должен утверждаться преподавателем и, если его качество не соответствует установленным требованиям, то дорабатывается студентом. Работа по доработке и улучшению качества отчетов является дополнительным средством интенсификации и активизации самостоятельной работы студентов. Отчет должен содержать

краткие сведения по теории, расчетные формулы, схемы, по которым проводились эксперименты, таблицы измеренных величин, данные измерительных приборов (система, номинальные величины, класс точности и т. д.), основные расчетные соотношения, использованные в данной работе, графики и векторные диаграммы, выводы по результатам работы. В отчете графические обозначения в схемах, а также буквенные обозначения требуется выполнять по стандарту. Графики и векторные диаграммы вычерчиваются с соблюдением масштабов на миллиметровой бумаге. Разрешается представлять несколько функциональных зависимостей от одного аргумента на одном графике. Для каждой из этих зависимостей должны быть указаны свои шкалы, наносимые параллельно осям координат. Контроль качества выполнения работы, полученные знания и навыки студентами проверяются при защите работы. К защите студент допускается при наличии отчета, оформленного в соответствии с требованиями к нему. При защите предварительно проверяется правильность содержания отчета, верность расчетов и выводов, знания студентов определяются при собеседовании и по ответам на вопросы. Обычно после защиты последней лабораторной работы преподаватель автоматически выставляет зачет по лабораторным занятиям и отмечает в журнале.

Литература

1. Берсирова, С. Д. Инновационная технология в образовании / С. Д. Берсирова // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2009. – № 1. – С. 113–117.
2. Дондоков, Д. Д. Методические основы преподавания электротехники в педагогическом ВУЗе / Д. Д. Дондоков. – Улан-Удэ: Бурятский государственный университет, 2002.
3. Карпенко, М. Новая парадигма образования XXI века / М. Карпенко // Высш. образование в России. – 2007. – № 4. – С. 93–98.
4. Ишмухамедов, Р. Ж. и др. Иновационные технологии в образовании. (на узб. языке) / Р. Ж. Ишмухамедов. – Ташкент: Истеъдод, 2008. – 180 с.

Образование частиц при релятивистском столкновении тяжелых ядер на LHC с помощью GEANT4Дустмуродов Э. Э.¹, Махмудова Д. Х.¹, Юркевич Н. П.²¹Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан,²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе изучены корреляции тяжелых кварков, образующихся при релятивистских столкновениях тяжелых ионов, которые достаточно чувствительны к воздействию среды и механизмам образования. Чтобы сделать количественное описание таких корреляций, в качестве первого шага анализируются азимутальные, поперечные импульсные и скоростные корреляции тяжелых кварк – анти-кварковых пар $Q\bar{Q}$ в столкновениях pp при $O(\alpha_s^2)$. Это создает предпосылки для выявления и изучения средовой модификации подобных корреляций при релятивистском столкновении тяжелых ядер на Большом адронном коллайдере. Далее изучается дополнительное образование кварков очарования в столкновениях тяжелых ионов из-за множественного рассеяния, а именно, реактивных столкновений, реактивно-тепловых столкновений и тепловых взаимодействий. Установлено, что они порождают азимутальные корреляции, которые совершенно отличаются от возникающих при быстром первоначальном производстве в ведущем порядке и в следующем за ведущим порядком.

Изучение релятивистских столкновений тяжелых ионов и кварк-глюонной плазмы (QGP) приближается к своему зениту с первыми экспериментами, выполненными на Большом Адронном Коллайдере в ЦЕРНе в Женеве (хотя еще и не на самой высокой энергии) с участием ядер свинца. Вместе с богатством данных уже накопленных на релятивистском коллайдере о тяжелых ионах в Брукхейвенской Национальной Лаборатории перед нами теперь стоит огромная задача расшифровать, проанализировать и количественно объяснить эти наблюдения и извлечь информацию о свойствах QGP . Данный анализ дает возможность провести дополнительные измерения, которые уже могут быть выполнены с использованием существующих детекторных установок, в то время как другие исследования станут возможными только с модернизацией, запланированной для всех основных экспериментов ALICE, PHENIX, STAR и т. д. В целом это наиболее важное и плодотворное международное сотрудничество в области ядерной физики

высоких энергий на сегодняшний день. В настоящее время основное внимание уделяется переходу от моделей к теориям и от качественного к количественному определению различных свойств кварк-глюонной плазмы. Одним из таких примеров является огромный прогресс, достигнутый в изучении сдвиговой вязкости [1; 2] вещества, образующегося в этих столкновениях. В настоящей работе изучается использование тяжелых кварков для зондирования QGP . Тяжелые кварки (здесь рассматриваются только шарм и нижний кварк) обладают рядом уникальных преимуществ. Сохранение аромата при сильном взаимодействии говорит о том, что они производятся

парами $Q\bar{Q}$. Их большая масса обеспечивает то, что Q^2 , необходимый для их производства, велик, и поэтому можно уверенно использовать pQCD для этих исследований. Их большие массы гарантируют, что адроны, содержащие тяжелые кварки, выделяются в стаи пионов.

В результатах, которые будут представлены ниже, используется структурная функция СТЕQ5М. Однако некоторые результаты приведены и для других структурных функций. Масса очарованных кварков сохраняется фиксированной при $m_c = 1,5$ ГэВ, в то время как для нижних кварков $m_b = 4,5$ ГэВ.

Шкалы факторизации и перенормировки взяты как $C\sqrt{m_Q^2 + p_T^2}$ с коэффициентом $C = 2$ для кварков очарования и $C = 1$ для нижних кварков. Код NLO pQCD (NLOMNR), разработанный Mangano и др., был использован для первоначального получения тяжелых кварков [3].

Результаты для производства очарования наряду с недавними результатами, полученными на ЛХС для столкновений pp , показаны на рис. 1. В целях исследования включены результаты для $m_c = 1,2$ ГэВ и структурной функции СТЕQ5М.

Можно также рассмотреть образование D -мезонов следующим образом:

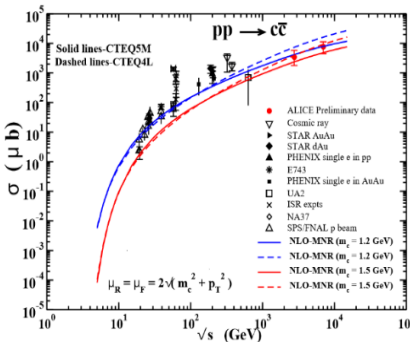


Рис. 1. Энергетическая зависимость образования кварков очарования при столкновениях pp

$$E \frac{d^3\sigma}{d^3p} = E_Q \frac{d^3\sigma(Q)}{d^3p_Q} \otimes D(Q \rightarrow H_Q).$$

где фрагментация тяжелого кварка Q на тяжелый мезон H_Q описывается функцией D . Предполагается, что форма $D(z)$, где $z = p_D/p_c$, одинакова для всех D -мезонов.

Затем получение конкретного D -мезона происходит с помощью фракции, определенной экспериментально

$$D_D^{(c)}(z) = \frac{n_D}{z \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\varepsilon_p}{1-z} \right]^2},$$

где ε_p – параметр Петерсона; $\int_0^1 D(z) dz = 1$.

Сравнение наших результатов для производства D^0 и D^+ с предварительными данными, полученными в эксперименте ALICE [4], показано на рис. 2.

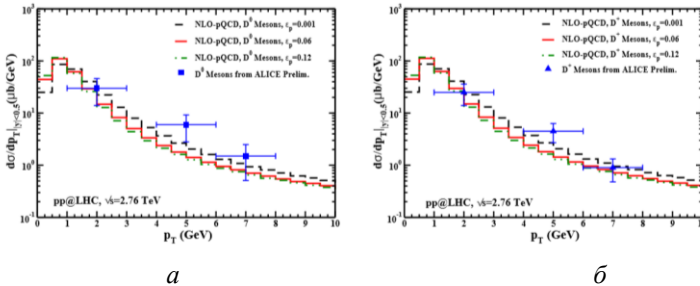


Рис. 2. Поперечное распределение импульса в столкновениях

pp при $\sqrt{s} = 2,76$ ТэВ:
 $a - D^0$ -мезонов; $b - D^+$ -мезонов

Здесь приведены результаты для $\varepsilon_p = 0,001, 0,06$ и $0,12$, чтобы показать чувствительность выполненных расчетов к этому изменению. Учитывая, что никакие параметры не были скорректированы, результаты вполне удовлетворительны. Более подробные и точные данные, безусловно, наложат жесткие ограничения на все входные данные.

Отметим, что полулептонный распад D -мезонов широко используется для изучения образования шарма и донных кварков, а также потерь энергии,

которые они несут. Электроны, поступающие от распада шарма, например, получают путем свертки распределения D -мезонов со спектром распада электронов и учета ветвления к конкретному D -мезону. В случае, если вклады B и D мезонов не могут быть различены, следует использовать смеси B и D -мезонов с соответствующими разветвлениями, $B \rightarrow e$, $D \rightarrow e$ и $B \rightarrow D \rightarrow e$. Полулептонный распад B -мезонов становится важным при более высоком p_T , несмотря на их уменьшенную продукцию, хотя вклад канала $B \rightarrow D \rightarrow e$ быстро падает с увеличением p_T [5].

В данной работе рассчитаны азимутальные, разностные и поперечные импульсные корреляции тяжелых кварковых пар, образующихся при столкновениях pp при нескольких энергиях, имеющих отношение к экспериментам, проводимым на Большом Адронном Коллайдере с использованием NLO pQCD. Такие корреляции могут изменяться из-за эффектов конечного состояния при столкновениях ядра с ядром. Эти результаты послужат основой для аналогичных исследований в случае столкновений $Pb + Pb$ в соответствующем центре масс энергий/нуклона для определения модификаций среды. В работе [5] отмечается, что эта картина усложняется многократными столкновениями между партонами, имеющими высокую энергию, которые могут давать очень разные корреляции по величине, сравнимой с рассмотренными выше начальными производствами. В [5–7] утверждается, однако это утверждение еще предстоит проверить, что такие корреляции не могут быть радикально изменены из-за потерь энергии, понесенных тяжелыми кварками, поскольку они не могут существенно изменить направление своего движения из-за мягкого рассеяния. Однако они могут быть затронуты сильным потоком среды, если тяжелые кварки термализованы.

Литература

1. Shin, C. Centrality dependence of the charged-particle multiplicity in Pb-Pb collisions / C. Shin, S. A. Bass, T. Herano, P. Huovinein, Z. Qiu, H. Song, U. W. Heinz, K. Aamodt // *Phys. Rev. Lett.* – 2011. – Vol. 106, № 3. – P. 21–25.
2. Vugel, C. Classical simulation of dissipative fermionic linear optics / C. Vugel, P. B. Gossiax, K. Werner, S. Bravyi // *Quantum Information and Computation.* – 2012. – Vol. 12, № 11–12. – P. 925–943.
3. Aktas, A. Inclusive production D^+ , D^0 , D^{*+} and D^{*0} mesons in deep inelastic scattering at HERA/ A. Aktas [et al.] // *The European Physical Journal C – Particles and Fields.* – 2005. – Vol. 38, № 4. – P. 447–459.
4. Aamodt, K. Rapidity and transverse momentum dependence of inclusive inclusive J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV/ K. Aamodt [et al.] // *Physics Letters B.* – 2011. – Vol. 704, № 5. – P. 442–455.

5. Dustmurodov, E. Исследование глюонно-ядерного PDF с тяжелым кварком LHC / E. Dustmurodov // Science and Education. – 2020. – Vol. 1, № 4 – P. 45–51.

6. Qurbonov, A. R. 3.25 A GeV/c impulsli 16Op-to'qnashuvlarida ko'zguli (3H, 3He, 7Li, 7Be) yadrolar va mezonlar (π^+ , π^-) ning birgalikda hosil bo'lishi / A. R. Qurbonov, D. H. Mahmudova, S. Sh. Saydaliyeva, D. K. Sabirova // Polish science journal. – 2021. – № 3. – С. 153–158.

7. Qurbonov, A. R. 3.25 A GeV/c impulsli 16Op-to'qnashuvlarida 6 – hamda 7–nuklonli tizimlar va yadrolar bilan birgalikda hosil bo'ladigan $A \leq 3$ massa sonli yengil fragmentlarning va tepki protonlar o'rtacha ko'plamchiligi / A. R. Qurbonov, D. H. Mahmudova, S. Ismoilov // Ekonomika i sosium. – 2022. – Vol. 96, № 5. – P. 148–152.

УДК 621.65

Водохранилища – специфический объект для отдыха

Атдаева А.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Ашхабад, Туркменистан

Рост материального благосостояния и культурного уровня населения предполагает более активный отдых на воде, который является оздоровительным фактором большой важности. В статье рассматриваются условия и возможности отдыха городских жителей на водохранилищах, которые являются существенным водным ресурсом для рекреации.

В современных условиях укрепление здоровья населения страны, всесторонняя поддержка навыков здорового образа жизни являются приоритетными направлениями социально ориентированной политики нашего государства. Общеизвестно, что здоровье населения во многом зависит от эффективной работы медицинских учреждений. Однако среди мероприятий, направленных на сохранение и укрепление здоровья людей наряду с деятельностью медицинских учреждений, огромное значение имеет организация полноценного и эффективного отдыха населения. Как отмечали древние мыслители, среди всех значимых потребностей для полноценной жизни человека отдых занимает очень важное место. Любая форма трудовой деятельности требует соответствующего отдыха. Предоставление трудящимся отдыха, обучающейся молодежи – каникул непосредственно способствует восстановлению организма, повышению настроения, укреплению здоровья.

Право граждан на отдых закреплено и гарантируется на конституционной основе. В Основном Законе нашего общества – Конституции Туркменистана это право обеспечивается также оздоровлением окружающей среды [1].

Повышение производительности труда, модернизация производства на основе оснащения передовой техникой и технологией, автоматизации, цифровизации, интенсивность умственных нагрузок, шум и суэта городской жизни намного увеличивает потребности человека труда в отдыхе. Здесь особенно привлекательным является отдых на лоне благоприятной природы. Для осуществления такого отдыха в обществе созданы все условия – повышается материальное благосостояние населения, увеличилась продолжительность трудовых отпусков, повышается культурный уровень населения, широко представлена разветвленная сеть социальной инфраструктуры, в том числе, развитие общественного и личного транспорта, ее доступность.

По мнению специалистов, отдых и социально-экономическое развитие тесно связанные между собой явления: полноценный отдых на природе укрепляет здоровье, повышает активность человека, способствует формированию и повышению уровня общей культуры, в том числе, способствует формированию экологической культуры, и, что очень важно, способствует росту производительности труда на 5–7 % [2].

В организации отдыха в природных условиях большая роль принадлежит расположенным в окрестностях города водоемам. Водоемы – это наполненные стоячей или медленно текущей водой природное или искусственное водохранилище. К природным водохранилищам в основном относятся озера, в очень редких случаях – болота. Искусственные водоемы, образованные водоподпорными сооружениями на водотоках путем использования естественных или неприродных впадин для хранения воды и регулирования стока, – это водохранилища, [3] они, как правило, строятся с целью сбора и использования вод рек и больших магистральных каналов. Водохранилища также выполняют особую роль в организации отдыха населения: купание, плавание, катание на различных видах водного транспорта, любительское рыболовство, охота, обычный отдых на берегу водоема, и в некоторых районах они являются центром, вокруг которого складывается специфическая территориально–рекреационная система. Некоторая часть водохранилищ расположена в густонаселенных районах, и постоянно растущие потребности населения в отдыхе не всегда могут быть удовлетворены местными рекреационными ресурсами. Поэтому организация полноценного отдыха – важная социальная задача, стоящая перед обществом [3].

Водоохранилища – сложное гидротехническое и природно-хозяйственное сооружение. Необходимость строительства водохранилищ уходит корнями в древнее прошлое человеческой истории. Много тысячелетий тому назад с

целью орошения и предотвращения затопления земель водохранилища были сооружены в Египте, Месопотамии, Китае. В Европе также первые водохранилища появились в период до нашей эры. В Европе крупные водохранилища появились в период промышленной революции, когда они строились для горно-обогатительных предприятий, заводов по металлообработке, лесопильных, текстильно-пряделных фабрик. Развитие водного транспорта требовало регулирования стока для увеличения меженных расходов (межень-период, в течении которого наблюдается самый низкий уровень воды в реке) [3] и питания водой многочисленных каналов. В этих целях водохранилища создавались в Англии, Германии, России. Водоохранилища создавались также для промышленного и коммунального водоснабжения, в первую очередь, в таких промышленных районах, как Рурская область, Силезия, Средняя Англия – в Западной Европе, Урал – в России, Пенсильвания. Некоторые водохранилища создавались в этот период для борьбы с наводнениями [4].

В 50–60-х годах XX века с развитием гидротехнического строительства, ирригации, работ по предотвращению разрушительных наводнений активизируется и начинается интенсивное строительство водохранилищ. Например, вдоль русел рек Волга, Кама, Днепр, Ангара, Иртыш появляется целый комплекс водохранилищ. На берегу рек Неман, Даугава, Днестр, Обь, Енисей, Кура возводятся крупные водохранилища.

Наряду с главными и непосредственными задачами водохранилищ (предотвращение наводнений, орошение, рациональное и равномерное использование воды) в настоящее время значение задач, связанных с отдыхом населения и оздоровительно-восстановительными мероприятиями, то есть с их рекреационной деятельностью, становится еще более актуальным.

Термин «рекреация» в научный оборот вошел сравнительно недавно, но в научном мире известен давно. Слово «рекреация» происходит от латинского слова «*recreatio*» – восстановление [5]. В старинном значении «рекреация» означало праздники, каникулы, перемена в школе, помещение для отдыха в учебных заведениях. В современном понятии под «рекреацией» подразумевается отдых, восстановление физических и духовных сил человека, израсходованных в процессе труда, и в этом смысле этот термин используется с 60-х годов XX века.

Наличие целого комплекса подходящих условий для многих видов рекреационной деятельности придает отдыху у водоемов особо оздоровительное значение. Поэтому широкое использование водоемов для отдыха занимает важное место в рекреационной деятельности. Рекреационная деятельность предполагает разумное использование природного потенциала края. Мировая практика показывает, большая часть населения с удовольствием отдыхает на берегу водохранилищ. Поэтому правильная организация такого

отдыха – важная задача. Виды ландшафта, глубина водоема, качество воды, доступность транспортных средств и многие другие факторы являются определяющими при выборе отдыха и занятия спортом у водохранилищ как эффективных природных лечебных центров.

В то же время ученые, занимающиеся исследованиями этой проблемы, отмечают, что «организация такого отдыха связана с решением многих актуальных научных и практических проблем» [2]. Например, как связана рекреационная деятельность водохранилищ с ирригацией, гидроэнергетикой, судоходством, борьбой с наводнениями, водоснабжением объектов социального и производственного назначения. Как довести до минимума возникающие при рекреационном использовании водохранилищ внутриотраслевые противоречия, также противоречия между организованным и неорганизованным, длительным и краткосрочным, между отдельными видами отдыха, как рекреация воздействует на качество воды и прибрежную зону. Эти поставленные учеными проблемы свидетельствуют о том, что в связи с возрастанием у населения потребностей в отдыхе и возможностей для этого, рекреационное использование водохранилищ актуальная задача, требующая комплексного научного подхода [2].

По мнению ученых, большая часть водохранилищ комплексного назначения создаются в недалеком расстоянии от городов, небольшие водохранилища, предназначенные для рекреации, возводятся в пределах города, что открывает большие возможности для кратковременного отдыха жителей города (транспортная доступность). В современных условиях, когда создаются большие возможности для отдыха населения, остро стоит вопрос бережного отношения к природному объекту, то есть к водоему. Как отмечают ученые, это, прежде всего, оптимальное использование акваторий и прибрежной зоны водохранилищ, что, возможно, при необходимом поддержании в период наибольшего числа отдыхающих постоянного или близкого к нему колебания режима уровня водохранилищ. Эффективность рекреационного, а вместе с тем комплексного использования водохранилищ, существенно повышается, когда при их проектировании заблаговременно разрабатываются необходимые мероприятия. Они должны снизить неблагоприятные воздействия рекреации на качество природной среды, осуществлять четкое районирование акваторий по видам отдыха с учетом интересов других отраслей [2].

Туркменистан – солнечный край, где очень много теплых и даже жарких дней. Здесь использование населением водоемов для отдыха, восстановления сил, бодрости и активности является наиболее популярным, и в связи с этим рекреационное использование водохранилищ приобретает еще большую актуальность. За годы независимости в Туркменистане была проведена

большая работа по реконструкции имеющихся и строительству новых современных водохранилищ.

Самым древним водохранилищем является Солтанбент [6]. Колхозбент, расположенный на реке Мургаб. К числу крупных и важных гидротехнических сооружений, функционирующих в нашей стране можно отнести водохранилище «Гарашсызлыгын 15 йыллыгы» – самое большое, возведенное вдоль реки Каракум, водохранилища Сарыязы, Ханховуз, построенные в русле реки Мургаб. Возведенные у подножья Копетдага водохранилища в водной системе страны занимают особое место. На водохранилищах Гуртлы, Копетдаг, Ганналы, Гор-гор, Мамметкел, характерно широкое распространение видов отдыха с преимущественным использованием акваторий и пляжной зоны. В этих районах созданы условия для таких массовых видов отдыха и спорта, как плавание, гребля, катание на лодках. Перспективной в рекреационном использовании видится побережье Гуртлынского водохранилища, построенного в зоне III очереди Каракум–реки. Впервые вода в это водохранилище поступила в 1962 году.

Это водохранилище было построено на месте прежнего озера Шоркеля, что в переводе на русский означает Соленое озеро. Гуртлыское водохранилище расположено недалеко от города, в 6–7 километрах от столицы. В связи с быстрым ростом городского населения рекреационное водопользование водохранилища приобретает большой размах. Поэтому строительство и сдача в эксплуатацию современной зоны отдыха на берегу Гуртлынского водохранилища (озера), отличающееся удобным расположением, транспортной доступностью, оптимальной экологической обстановкой, является своевременным событием. Создание экологически чистой, со всеми удобствами зоны для отдыха населения является еще одним этапом в дальнейшем совершенствовании культурно-развлекательной системы, комплексной системы отдыха в районе водохранилища. Озеро и его берега в гармонии с природными особенностями вокруг образуют целостную экологическую систему. Это является основным критерием в создании здесь разнообразных структур отдыха. Для превращения берегов озера в одно из самых удобных мест отдыха, а также, учитывая широкие возможности для отдыха жителей и гостей столицы, это место отдыха, это озеро было названо Алтын кел, что в переводе на русский означает Золотое озеро.

Сооруженные на берегу спортивные и игровые площадки, уютные навесы для отдыха взрослых и детей, чайхана, кафе, столовые-забегаловки, продовольственные магазины, пункты здоровья, автостоянка – к услугам отдыхающих. Для прогулок на озере предоставляются различные виды водного транспорта, особенно радует предложение новейших моделей этого транспорта. На территории зоны отдыха созданы все необходимые условия

для занятий разнообразными видами водного спорта. Созданная здесь руками человека красота в сочетании с природным величием образует единую гармонию. За короткое время озеро, расположенное на севере столицы, изменилось до неузнаваемости и приняло новый современный облик. Сооруженное еще в 60-ые годы прошлого столетия, этот преобразованный водоем, является прекрасным примером рекреационного освоения его берегов, возрастающего оздоровительного значения отдыха на воде.

В ряду осуществляемых в Туркменистане грандиозных преобразований и крупномасштабных проектов создание на восточном побережье Каспийского моря Национальной туристической зоны «Аваза» занимает особое место в рекреационной деятельности. Ее значение вышло далеко за пределы страны и региональных границ. Сегодня «Аваза» – зримый символ экономической мощи Туркменистана, визитная карточка нашей страны. Морской курорт на туркменском берегу Каспия широко открыт для жителей страны и иностранных туристов. Каждый год, подобно волнам прибоя, ряды современных отелей, гостиниц, домов отдыха, коттеджей, культурно-развлекательных парков, амфитеатров пополняются все новыми фешенебельными отелями, яхт-клубами, оснащенными самыми современными техникой и технологией обслуживания и делающей пребывание на отдыхе наиболее комфортной и уютной. Возведенный на берегу древнего Хазара новый «Аваза аквапарки», напоминающий волшебный мир сказок, еще одно из достижений современной туристической индустрии. Аквапарк, состоящий из зимнего и летнего аквапарков, представлен всеми современными водными, зрелищными, познавательными и культурно–развлекательными аттракционами. Сегодня, «Аваза» самое популярное и любимое место отдыха. Как показывает мировая практика, аквапарки превратились в интересный и полезный элемент современного отдыха и здорового образа жизни. Аквапарк наряду с другими сооружениями современной индустрии отдыха и развлечений, удовлетворяющих возрастающие потребности отдыхающих любого возраста, является качественно новым этапом рекреационной деятельности.

Стремительные темпы строительства обеспечиваются крупными инвестициями государства, эффективным использованием международного опыта строительства в санаторно-курортной сфере. «Аваза» успешно осваивает принадлежащий ей рекреационный капитал, уверенно выходит на расчетную орбиту мировой индустрии туризма и отдыха.

Таким образом, исследования ученых и практические мероприятия, проводимые в нашей стране, показывают, что правильная организация полноценного отдыха представляет важную социально-экономическую задачу общества. В условиях информационного общества необходимость отдыха человека труда стала более актуальной. Особая роль в организации отдыха принадлежит водоемам. Но рекреационная деятельность водохранилищ

связана с решением многих актуальных научных и практических проблем, которые надо учитывать при планировании, проектировании и подготовке к использованию водохранилищ, предназначенных для отдыха и занятий спортом. С другой стороны, необходимо формирование, развитие и повышение уровня экологической культуры самих отдыхающих, что будет способствовать бережному отношению к используемому природному объекту – водоему. С учетом этих факторов, правильное рекреационное использование водохранилищ – одно из эффективных социально-экономических направлений развития народнохозяйственного комплекса.

Литература

1. Конституция Туркменистана. Ашхабад. 2020.
2. Авакян А. Б. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения / А. Б. Авакян [и др.]. – М.: Наука, 1990. – 151 с.
3. Hojamyradow, G.. Suw hojalygy boýunca rusça – türkmençe düşündirişli sözlük / G. Hojamyradow. – А.: 1999.
4. Авакян А. Б. Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду / А. Б. Авакян [и др.]. – М.: Наука, 1986. – 366 с.
5. Словарь иностранных слов. – М.: Русский язык, 1989. – 624 с.
6. Туркменская Советская энциклопедия. – А.: 1986. – Т. 8.

УДК 37.01:378.4 (476)

Совершенствование методики решения задач в преподавании физики в техническом вузе

Мансурова М. Ю.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматривается значение использования экспериментальных задач в методике преподавания физики в техническом вузе.

В начале XXI века благосостояние и дальнейшее процветание республики зависят от научно-технического прогресса и интеллектуального потенциала страны. В этой связи, с первого дня приобретения независимости Республикой Узбекистан, Президент и руководство страны поставили вопрос образования в разряд первостепенных.

Общепризнано, что изучение физики дает не только фактические знания, но и развивает личность. Физическое образование, несомненно, является сферой развития интеллекта. Последний, как известно, проявляется и в мыслительной, и в предметной деятельности человека.

Задача, поставленная перед образованием, заключается не только в том, чтобы давать человеку всесторонние знания, необходимые для того, чтобы стать полноценным гражданином, но и развивать в нем самостоятельность мышления, необходимую для развития творческих способностей. Этому способствует систематическое решение задач на уроках физики, что в свою очередь подготавливает человека к рационализаторству, воспитывает в нем трудолюбие, настойчивость, целеустремленность, выступает как контролирующее звено за знаниями, умениями и навыками, дает возможность потренироваться в умении применять теоретические знания на практике. На основе различных частных методик можно дать следующее определение «физической учебной задачи». Физическая учебная задача – это ситуация, требующая от обучаемых мыслительных и практических действий на основе использования законов и методов по физике, умениями применять их на практике и развитие мышления. Решение задач является обязательным элементом учебного процесса по физике. Для преподавателя умение обучаемого решать задачи является одним из важных критериев усвоения знаний. Нередко встречается ситуация, когда обучаемый знает обычную теорию курса физики, но не умеет решать физические задачи, прочитав условия некоторых задач, он порой даже не знает с чего начать решение. Научить обучаемого решать задачи – одна из сложнейших педагогических проблем.

В этой связи особое значение приобретает экспериментальное решение задач, которое с необходимостью предполагает оба вида деятельности. Как и любой вид решения задач, оно имеет общую для процесса мышления структуру и закономерности. Экспериментальный подход открывает возможности развития образного мышления. Экспериментальное решение физических задач, в силу их содержания и методологии решения, может стать важным средством развития универсальных исследовательских навыков и умений: постановки эксперимента, опирающегося на определенные модели исследования, собственно экспериментирования, способности выделить и сформулировать наиболее существенные результаты, выдвинуть гипотезу, адекватную изучаемому предмету, и на ее основе построить физическую и математическую модель, привлечь к анализу вычислительную технику. Новизна содержания физических задач для обучаемых, вариативность в выборе экспериментальных методик и средств, необходимая самостоятельность мышления при разработке и анализе физической и математической моделей создают предпосылки для формирования творческих способностей.

Следовательно, очень важно какую методику обучения решению задач использует преподаватель: ту, которая вооружает школьника обобщенным методом, или ту, в которой каждая задача решается частным методом. Это

в известной степени справедливо при решении задач любой сложности. Вопрос: «К какому типу относится эта задача?» ведет к следующему вопросу: «Что можно предпринять для решения задачи такого типа?» Постановка этих вопросов может принести пользу, т. к. если удастся отнести рассматриваемую задачу к определенному классу, установить ее тип, то можно вспомнить метод решения задач подобного типа. Подобные вопросы можно с успехом задавать даже в очень серьезных исследованиях. Таким образом, при решении задач полезна их классификация, проведение различия между задачами в соответствии с их типами. Хорошая классификация предполагает разбиение задач на такие типы, что тип задачи предопределяет метод ее решения. Вопросом о классификации физических задач занимались многие ученые, среди которых такие как Беленок И. Л., Беликов Б. С., Величко А. Н., Знаменский П. А., Усова Н. В., Тулькибаева Н. Н., и многие другие. Так, например, Тулькибаева Н. Н. В [1] рассматривают классификацию на основе рассмотрения принятой задачи. В этом случае основаниями для классификации могут быть характеристики либо задачной системы, либо решающей системы, либо отношения к ним среды. Она выделяет следующие виды задач: а) по содержанию: текстовые, графические, экспериментальные, задачи-рисунки; б) по характеру содержания: абстрактные, конкретные; в) по степени сложности: простые, сложные; г) по способу решения: количественные, качественные, графические, экспериментальные и т. д. Беликов Б. С. выделяет, кроме уже названных видов, поставленные и не поставленные задачи [2].

Решение задач, безусловно, требует активной мыслительной деятельности. Поэтому на материале задач преподаватель может сообщить учащимся новые знания, и даже материал, изучаемый теоретически, можно объяснить «на задаче».

Согласно одной из аксиом методики, знания считаются усвоенными только тогда, когда учащийся может применить их на практике. Решение задач – практическая деятельность. Значит, задача играет и роль критерия усвоения знаний. По умению решить задачу мы можем судить: понимает ли учащийся данный закон, умеет ли он увидеть в рассматриваемом явлении проявление какого-либо физического закона. А научить этому можно – опять же – через решение задач. Практика показывает, что физический смысл различных определений, правил, законов становится действительно понятным учащимся лишь после неоднократного применения их к конкретным частным примерам-задачам [3].

Проблема повышения качества знаний обучающихся физике разрешается в процессе обучения различными путями, в частности, усилением экс-

периментальной стороны преподавания, организацией самостоятельной работы студентов. Этим целям прекрасно служат экспериментальные задачи, решение которых находится опытным путем.

Особенно ценным надо признать такие экспериментальные задачи, данные для решений которых берутся из опыта, протекающего на глазах обучаемых, а правильность решения проверяется опытом или контрольным прибором. В этом случае теоретические положения, изучаемые в курсе физики, приобретают особенную жизненность и значимость в глазах обучаемых. Решение экспериментальных задач помогает обучаемым глубже и полнее осмыслить, и понять изученную закономерность, так как показывает ее в действии в совершенно конкретной обстановке, где каждые из величин, входящих в закономерность, выступают перед ними вполне реально и в реально действующих взаимосвязях [2].

Решение экспериментальных задач может идти следующим путем:

1. Студенты знакомятся с экспериментальной установкой. Если нужно, делается чертеж, записываются условия задачи, а в необходимых случаях и дополнительные вопросы к ней.

2. Устанавливается физическая сущность явления закона, которому оно подчиняется. Намечается путь опытного решения задачи.

3. Осуществляется опытное решение задачи и продельваются нужные вычисления, если они предусмотрены данной задачей.

4. Полученные результаты обсуждаются всеми участниками решения задачи [4].

В процессе преподавания важно научить студентов применять основные положения науки для самостоятельного объяснения физических явлений, результатов эксперимента, действия приборов и установок. Выделение основного материала в каждом разделе курса физики помогает преподавателю обратить внимание обучаемых на те вопросы, которые они должны глубоко и прочно усвоить. Физический эксперимент является органической частью курса физики технического вуза, важным методом обучения.

Современная организация учебной деятельности требует того, чтобы учащиеся дали теоретические обобщения на основе результатов собственной деятельности. Для учебного предмета «физика» – это учебный эксперимент. Опыт показывает, что особенно большую активность и самостоятельность проявляют обучающиеся при решении экспериментальных задач. Данные для решения экспериментальных задач получают из опыта непосредственно на демонстрационном столе преподавателя или путем физических измерений, произведенных самими обучаемыми [5].

Рассмотрим пример решения следующей экспериментальной задачи, которую можно предложить обучающимся:

Определить неизвестное сопротивление с помощью мостовой схемы Уитстона. Для этого предлагается собрать цепь мостовой схемы «мост Уитстона» – схема, впервые разработанная в 1844 г. Чарльзом Уитстоном (Charles Wheatstone, 1802) для измерения сопротивлений (рис. 1).

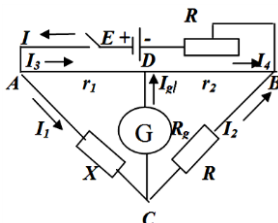


Рис. 1. Мост Уитстона

Далее студентам предлагается порядок выполнения и снятия измерений:

1. Для начала работы с оборудованием демонстрационную мостовую схему (далее – модуль) необходимо подключить с помощью источника питания постоянного тока в сети 220 В.

2. Установить счетчик положения реохордового резистора (7) в среднее положение равное 50 % (5 оборотов).

3. Установить любой образец измерительного резистора сопротивления $R_{обр}$ (10 Ом, 100 Ом, 1 кОм) в клеммы (6). Значение сопротивления образца должно быть в пределах 10-кратного значения определяемого сопротивления R_x .

4. Подключить к клеммам (4) с помощью соединительных кабелей магазин сопротивления (в качестве искомого сопротивления).

5. Включить питание модуля тумблером ВКЛ (1), при этом загорится световой индикатор $U_{пит}$ (2).

6. Поворотной ручкой реохордного сопротивления (7) установить положение стрелки гальванометра (3) в ноль.

7. Считать показания реохорда R_r и вычислить неизвестное сопротивление R_x согласно уравнению:

$$\frac{R_x}{R_{обр}} = \frac{R_r}{100 - R_r}.$$

8. Для более точного измерения определяемого сопротивления нажать кнопку «ТОЧНО ИЗМЕР» (5). Удерживая не фиксируемую кнопку (5), повторить пункты 6–7. Заполнить показания в табл.

Таблица

№	$R, \text{ Ом}$	$l_1, \text{ см}$	$l_2, \text{ см}$	l_1/l_2	$X, \text{ Ом}$	$\Delta X = X_{\text{ср}} - X, \text{ Ом}$	$\varepsilon, \%$
1							
2							
3							
					$X_{\text{ср}} =$	$\Delta X_{\text{ср}} =$	
1							
2							
3							
					$X_{\text{ср}} =$	$\Delta X_{\text{ср}} =$	
1							
2							
3							
					$X_{\text{ср}} =$	$\Delta X_{\text{ср}} =$	
1							
2							
3							
					$X_{\text{ср}} =$	$\Delta X_{\text{ср}} =$	

9. Провести аналогичные измерения для других неизвестных сопротивлений с другими образцами сопротивления.

10. Отключить питание тумблером ВКЛ (1), световой индикатор $U_{\text{пит}}$ погаснет. Отключить оборудование от сети.

Правильность найденного решения проверяют путем операций с наименованиями величин, входящих в формулу.

Результаты решения задачи коллективно обсуждаются, и делается вывод о достоверности предположения, положенного в основу ее решения.

Преимущество экспериментальных задач перед текстовыми заключается, прежде всего, в том, что экспериментальные задачи не могут быть решены формально, без достаточного осмысления физического процесса. Познавательный интерес носит поисковый характер. Под его влиянием у человека постоянно возникают вопросы, ответы на которые он сам постоянно и активно ищет. Познавательный интерес положительно влияет не только на процесс и результат деятельности, но и на протекание психических процессов – мышления, воображения, памяти, внимания, которые под влиянием познавательного интереса приобретают особую активность и направленность [6].

Литература

1. Тулькибаева, Н. Н. Практикум по решению физических задач: для студентов физико-математических факультетов / Н. Н. Тулькибаева, А. В. Усова. – М.: Просвещение, 2001. – 206 с.
2. Беликов, Б. С. Решение задач по физике. Общие методы / Б. С. Беликов. – М.: Высшая школа, 1986. – 132 с.
3. Мирсалихов, Б. А. Использование современных технологий в преподавании физики и их эффективность / Б. А. Мирсалихов, М. Ю. Мансурова, Ш. Н. Сайтджонов // Образование и наука в XXI веке. – 2022. – Т. 2, № 23. – С. 125–128.
4. Мирсалихов, Б. А. Механика, молекулярная физика и электричество / Б. А. Мирсалихов, М. Ю. Мансурова, Г. Ш. Султанходжаева. – Ташкент: ТГТУ, 2017. – 77 с.
5. Мансурова, М. Ю. Методика применения частично-поискового метода при изучении физики / М. Ю. Мансурова, Х. М. Курбанов // Высшая школа. – 2020. – Т. 96, № 3. – С. 16–18.
6. Курбанов, Х. М. Умумий физика курсидан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма / Х. М. Курбанов, М. Вахобова. – Т.: ТГТУ, 2008. – 53 с.

УДК 621.314.212

Development of a model of the effect of mechanical impurities on transformer oil

Yusupov D. T.¹, Kutbidinov O. M.², Akhmedov A. P.², Khudayberganov S. B.²

¹Institute of energy problems, Academy of sciences of Republic of Uzbekistan,

²Tashkent state transport university

Tashkent, Uzbekistan

In this article, the influence of mechanical impurities formed in transformer oil on their condition is analyzed using fuzzy logic. A system has been developed that calculates the technical condition of the transformer by the amount of mechanical impurities in them.

Failure of the traction transformer can cause failures of other electrical equipments of electric locomotives. This leads to the failure of electric locomotives, which in turn leads to many other problems. During operation, traction transformers are affected by many external factors that cause them to break down and fail [1–5].

Mechanical (solid) impurities are the most significant element affecting transformer oil's operational properties [2]. *Mechanical impurities are substances that are not dissolved and are present in the oil as sediment or in a suspended state.*

These include contaminants such as fibers, dust, metal flakes, and others [3]. Transformer oil's quality is determined by mechanical impurities, which have a substantial impact on its operating characteristics. They might become visible while transformer oil is operating as a result of paint, varnish, and insulation dissolving. Power transformer performance is adversely affected by mechanical contaminants [2–5].

Modern systems based on artificial intelligence (AI) tools, such as artificial neural networks (ANN) and artificial fuzzy logic (ANFIS), allow to calculate the technical condition of transformers due to the ability to study input data and approximate calculation [4–6]. In order to evaluate the technical condition of the transformer, it is necessary to determine the parameters describing its condition. A structural scheme for evaluating the effect of mechanical mixtures on the technical condition of transformers using fuzzy logic is presented in Fig. 1

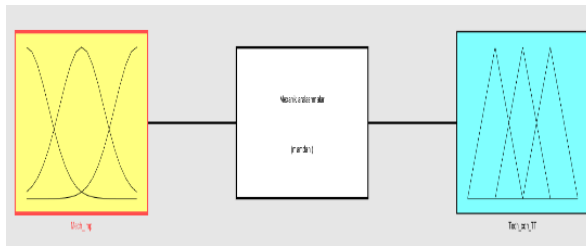


Fig. 1. Structural scheme for assessing the effect of mechanical mixtures on the technical condition of Transformers using fuzzy logic

Fig. 2–3 shows the change functions of the input and output variables.

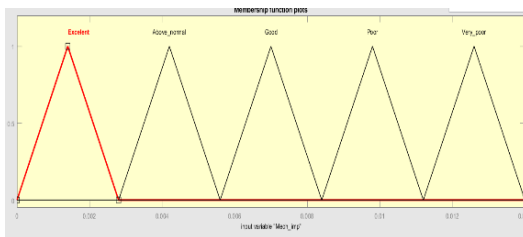


Fig. 2. Input variable change function

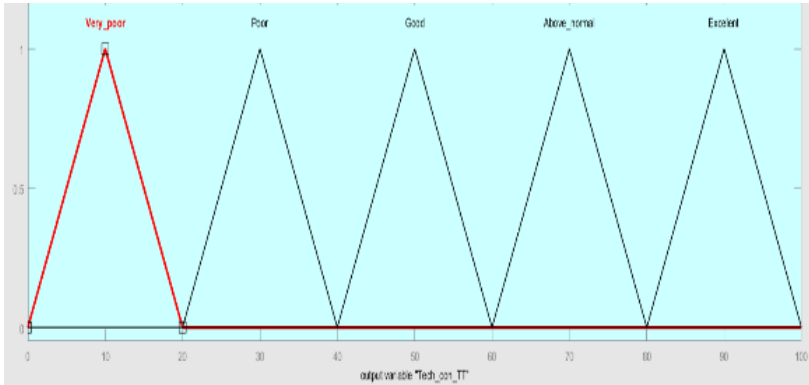


Fig. 3. Output variable change function

Fig. 4 shows the process of entering the rules of relationships between input and output variables.

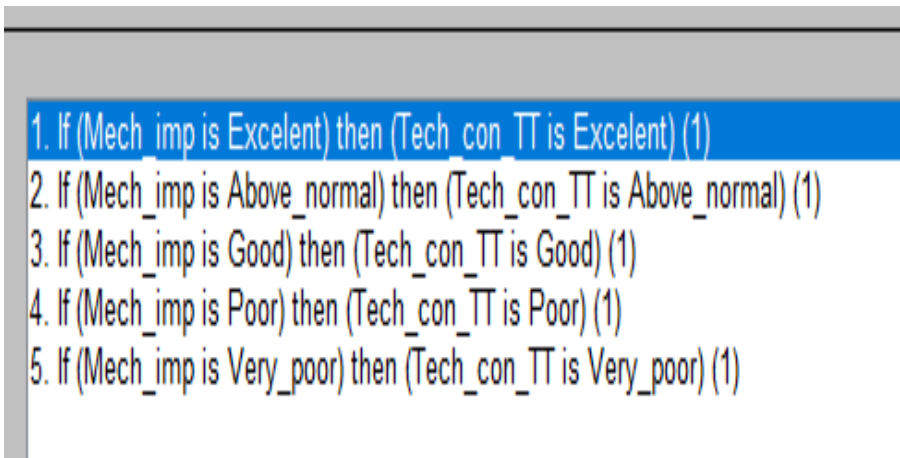


Fig. 4. Entering the rules of dependencies between input and output variables

Fig. 5 shows the System for assessing the effect of mechanical mixtures on the technical condition of Transformers using fuzzy logic.

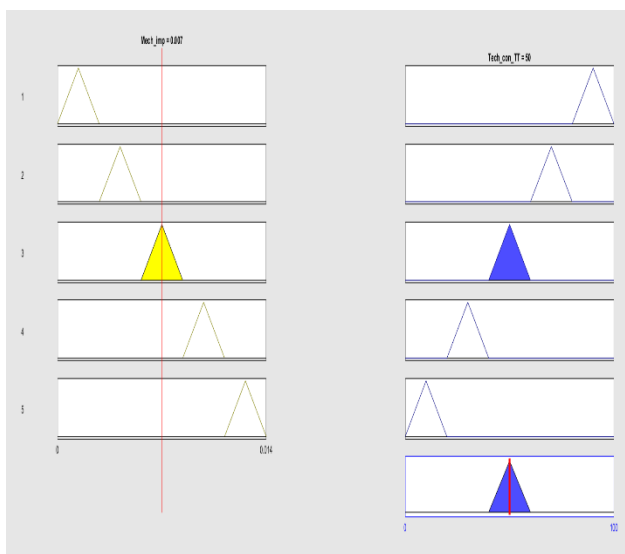


Fig. 5. System for assessing the effect of mechanical mixtures on the technical condition of Transformers using fuzzy logic

Fig. 6 shows the Simulink model of determining the value of the transformer condition by the amount of mechanical impurities in its oil.

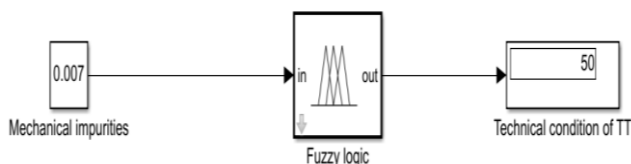


Fig. 6. A simulink model of calculating the value of the transformer state by mechanical impurities

References

1. Bardushko, V. D. Kontrol ostatochnogo risuka tyagovyx transformero / V. D. Bardushko, V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov // Vestnik IrGTU. – 2010. – Vol. 43, № 3. – P. 104–110.
2. Yusupov, D. T. Influence of different types of primes and operational characteristics of the problem of power transformers / D. T. Yusupov, T. A. Yusu-

pov, F. T. Yusupova // Technika. Technology. Engineering. – 2020. – Vol. 15, № 1. – P. 34–37.

3. Avazov, B. K. Transformer oil cleaning technology / B. K. Avazov, T. Q. Karimberdi // Academic research in educational sciences: proceedings of 3.TSTU conf. 1, Tashkent, 21–22 April 2022. – Tashkent, 2022. – P. 199–202.

4. Yusupov, D. T. Regression model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity / D. T. Yusupov, O. M. Kutbidinov // Innovative technologies in water, communal services and water transport [Electronic resource]: materials of the II republican scientific and technical conference, 28–29 April 2022 / editorial board: S. V. Kharitonchik [and others]. – Minsk: BNTU, 2022. – P. 442–446.

5. Steklov, A. S. Neuro-fuzzy model for diagnosing the technical condition of a synchronous generator / A. S. Steklov, D. S. Podkovyryn // Chief Power Engineer. – 2015. – № 11–12. – P. 55–60.

6. Steklov, A. S. Neuro-fuzzy model for diagnosing the technical condition of a synchronous generator / A. S. Steklov, D. S. Podkovyryn // Chief Power Engineer. – 2015. – № 11–12. – P. 34–42.

УДК 534.521

Движение тела в вязкой среде при учете присоединенной массы

Кириленко А. И., Листопад А. И.
Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

Рассматриваются характеристики движения сферического тела в вязкой среде. Предполагается, что плотность тела больше плотности среды и тело в ней падает, не изменяя своей формы. Изучается влияние присоединенной массы, которая вводится по Буссинеску. Показано, что теоретическая установившаяся скорость падения при бесконечном времени падения одинакова как в случае с присоединенной массой, так и без нее. При проведении экспериментов предлагается считать в качестве установившейся скорости величину несколько меньшую теоретической. Обсуждается влияние этой величины на время установления скорости и на расстояние, которое пролетает частица за это время. Сравниваются эти характеристики при учете присоединенной массы и без нее. Влияние стенок сосуда, в который налита жидкость, на характер движения тела учитывается через поправки по Хантеру. Приводятся результаты расчетов применительно к реальным экспериментам.

Поведение микроскопических твердых частиц в жидкости важно, как минимум, в двух практически важных аспектах. Прежде всего это актуально для многочисленных технологических процессов, таких, как седиментация, коагуляция и подобных. Кроме того, субмиллиметровые частицы используются как маркеры (декорирующие частицы) при изучении движения жидкостей и газов. Сами по себе они не влияют на движение сплошной среды, но дают возможность наблюдать это движение оптическими методами при размере частиц меньше длины волны. В аэродинамических трубах используется задымление для визуализации обтекания поверхностей потоком воздуха. На этом основаны методы контроля, такие как ультрамикроскопия, метод темного поля, метод фазового контраста. Казалось бы, в этой области трудно ожидать новинок. Тем не менее, по мере расширения фронта работ с мелкими твердыми частицами проявляются странные явления. Обнаружено, что частицы с размерами порядка 10 мкм прилипают снизу к поверхности воды и не тонут. Таким образом, появляются основания считать, что поверхностное натяжение играет здесь далеко не первостепенную роль. Вероятнее всего, что здесь преобладают силы молекулярного взаимодействия между микрочастицей и молекулами в поверхностном слое воды. Но тогда расстояния между взаимодействующими молекулами должны быть порядка размеров самих молекул, а значит эффект должен сильно зависеть от состояния поверхности как жидкости, так и твердой частицы. При движении тел такие эффекты ранее не учитывались. Простейшим примером появлением межмолекулярного взаимодействия является эффект присоединенной массы. Мы здесь остановимся на влиянии присоединенной массы на движение частицы в среде. При движении тела в среде на поверхности тела возникает пограничный слой среды, сильно сжатой силами молекулярного взаимодействия. Хотя этот слой чрезвычайно тонок, его влияние на движение тел велико, в частности, он отвечает за вихреобразование за телом и появление дополнительных сил сопротивления [1].

Цель нашей работы – выяснить роль присоединенной массы при падении тел в жидкости. Речь идет о классическом методе определения вязкости жидкости – методе падающего шарика. Присоединенную массу к шарикку будем рассчитывать по методу Буссинеска, а присоединенную массу к стенкам сосуда – через поправки по Хантеру [2].

Формула Буссинеска для силы сопротивления при движении шарика с учетом присоединенной массы имеет вид

$$F = -6\pi\eta r v(t) - \frac{2}{3}\pi\rho_{\text{ж}}r^3 \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где r – радиус шарика; η – коэффициент кинематической вязкости жидкости; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

Отсюда следует, что присоединенная масса равна половине массы жидкости в объеме сферической частицы.

Поправку Хантера берем в виде

$$\psi = \frac{1 - \frac{r^{2,25}}{\gamma}}{1 + 3,3 \frac{r}{h}}, \quad (2)$$

где γ – характерный размер сечения сосуда, в котором падает шарик (радиус цилиндра); h – глубина этого сосуда.

На падающий шарик действуют следующие силы: сила тяжести $mg = \rho_T \frac{4}{3} \pi r^3 g$, направленная вниз по движению, выталкивающая сила

$F_A = \rho_{\text{ж}} \frac{4}{3} \pi r^3 g$ и сила, определяемая выражением (1). Второй закон Ньютона

для движения шарика запишем в виде

$$ma = mg - F_A - F_B \text{ или}$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{9\eta}{2\rho_T + \rho_{\text{ж}}} \frac{1}{r^2} v = \frac{2\rho_T}{2\rho_T + \rho_{\text{ж}}} g,$$

$$\frac{dv}{dt} + \alpha v = k.$$

Мы имеем дифференциальное уравнение первого порядка с постоянной правой частью для нахождения зависимости скорости шарика от времени $v(t)$. Это хорошо известное уравнение, решение которого имеет вид

$$v(t) = V_0 (1 - e^{-\alpha t}), \quad (3)$$

где установившаяся скорость при $t \rightarrow \infty$ равна [3]

$$V_0 = \frac{k}{\alpha} = \frac{2g\rho_T}{9\eta} r^2. \quad (4)$$

На эксперименте обычно считают скорость установившейся спустя некоторое время после начала движения. Более строгая оценка получается, если учесть характер падения тел в среде. Вначале тело движется с большим ускорением, а спустя некоторое время t_y ускорение движения становится очень малым, настолько, что его можно считать движением с постоянной (установившейся) скоростью. Введем величину

$$\sigma = \frac{v(t)}{V_0} = 1 - \Delta\sigma.$$

Эти соотношения годятся для определения установившейся скорости, если задана одна из величин σ или $\Delta\sigma$. Через них будет определяться время установления скорости t_y и расстояние $s(t_y)$, на котором эта скорость будет достигаться.

Для этого предположим, что время такого ускоренного движения равно t_y , которое определится из равенства $v_y(t_y) = \sigma V_0$. Безусловно, $\sigma < 1$, и, начиная с момента времени t_y , мы не можем на эксперименте заметить изменений скорости падения. Величина $\Delta\sigma \ll 1$. Итак,

$$v(t_y) = V_0(1 - e^{-\alpha t_y}) = V_0 - V_0 \Delta\sigma,$$

откуда

$$t_y = -\frac{1}{\alpha} \ln \Delta\sigma. \quad (5)$$

Путь, на котором устанавливается скорость, определим, интегрируя выражение (3), получаем

$$s(t_y) = V_0 t_y + \frac{V_0}{\alpha} e^{-\alpha t_y}. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) пригодны для анализа движения как с присоединенной массой, так и без нее. Отличия лишь в величине коэффициентов α , V_0 и t_y . Для движения без учета присоединенной массы примем обозначения с индексом 1, а с учетом ее – с индексом 2. На основе определения V_0 по-

лучаем $V_0 = V_{01} = V_{02}$. Таким образом, теоретическая установившаяся скорость одинакова как при учете присоединенной массы, так и без нее. В обоих случаях она соответствует числу Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{4gr^3}{9} \frac{\rho_T \rho_{ж}}{\eta^2} \leq 1,$$

причем случай равенства здесь следует рассматривать как предельный, при котором еще можно с большим приближением рассматривать силы сопротивления по Стоксу и Буссинеску, то есть, по сути, устанавливает верхний предел применимости метода.

Далее имеем

$$t_{y1} = -\frac{2\rho_T r^2}{9\eta} \ln \Delta\sigma, \quad t_{y2} = -\frac{2\rho_T + \rho_{ж}}{9\eta} r^2 \ln \Delta\sigma,$$

$$s_1(t_{y1}) = \left(\frac{2\rho_T r^2}{9\eta}\right)^2 g(\Delta\sigma - \ln \Delta\sigma),$$

$$s_2(t_{y2}) = \left(\frac{2\rho_T r^4}{(9\eta)^2}\right)^2 g(2\rho_T + \rho_{ж})(\Delta\sigma - \ln \Delta\sigma).$$

Практическое значение имеет разность времен достижения установившейся скорости и разность проходимых при этом путей

$$\Delta t_y = t_{y2} - t_{y1} = -\frac{\rho_{ж} r^2}{9\eta} \ln \Delta\sigma > 0,$$

$$\Delta s = s_2(t_{y2}) - s_1(t_{y1}) = \frac{2\rho_T \rho_{ж}}{(9\eta)^2} r^4 g(\Delta\sigma - \ln \Delta\sigma).$$

Как видим, плотность жидкости существенно влияет на время установления скорости падения и на путь проходимый за это время. В этом проявляется влияние присоединенной массы.

Обратимся теперь к поправке Хантера (2). Установившаяся скорость выражается через поправку Хантера и теоретическую установившуюся скорость в виде $V_H = \psi \cdot V_0$. Ясно, что и для экспериментальной установившейся скорости мы будем иметь такое же соотношение. Для расчетов принято: диаметр сечения сосуда $2\gamma = 25$ мм, глубина жидкости в сосуде $h = 300$ мм. Для расчетов данные по плотностям и вязкостям взяты из [4].

Как следует из расчетов (табл. 1–3, рис. 1–4) влияние присоединенной массы на скорость падения шарика в вязкой жидкости на начальном этапе движения более существенно, чем влияние размеров сосуда, по крайней мере при тех его параметрах, которые взяты для расчета. Теоретические установившиеся скорости в случае присоединенной массы и без нее одинаковы.

Таблица 1

Вязкости и плотности жидкостей, принятые в расчетах

Жидкость	Вязкость η , $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$	Плотность ρ , кг/м^3	Жидкость	Вязкость η , $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$	Плотность ρ , кг/м^3
Глицерин 20 °С	1410	1290	Глицерин –20 °С	63 900	1282
Глицерин 0 °С	5260	1285	Керосин	1,3	819
Глицерин –5 °С	12 680	1284	Вода	1,34	1000

Таблица 2

Характеристики падения тел с учетом и без учета присоединенной массы в различных средах

Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в керосине при $Re = 1$			
Без учета присоединенной массы		С учетом присоединенной массы	
1	2	3	4
v , м/с	$0,43 \cdot 10^{-3}$	v , м/с	$4,2 \cdot 10^{-3}$
s_y , м	$2,2 \cdot 10^{-8}$	s_y , м	$2,07 \cdot 10^{-5}$
t_y , с	$0,12 \cdot 10^{-4}$	t_y , с	$1,4 \cdot 10^{-4}$
a	24492	a	2083
k	9,1	k	8,78
Падение полихлорвинилового шарика $r = 0,5$ мм в керосине при $Re = 1$			
v , м/с	$0,18 \cdot 10^{-4}$	v , м/с	$4,6 \cdot 10^{-3}$
s_y , м	$9,5 \cdot 10^{-10}$	s_y , м	$5,6 \cdot 10^{-8}$
t_y , с	$0,12 \cdot 10^{-4}$	t_y , с	$0,2 \cdot 10^{-4}$
a	24 492	a	14 404
k	3,58	k	66,79
Метод Перрена: $r = 0,6$ мкм при $Re = 1$			
v , м/с	$3,9 \cdot 10^{-11}$	v , м/с	$1,64 \cdot 10^{-11}$
s_y , м	8232,6	s_y , м	0,066
t_y , с	$5,66 \cdot 10^{-13}$	t_y , с	$4,09 \cdot 10^{-13}$
a	$12,5 \cdot 10^9$	A	$7,3 \cdot 10^{12}$
k	1,7	K	1,2

Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в глицерине при $+20^\circ\text{C}$ и при $\text{Re} = 1$			
1	2	3	4
$v, \text{м/с}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$v, \text{м/с}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
$s_y, \text{м}$	$5,68 \cdot 10^{-13}$	$s_y, \text{м}$	$2,2 \cdot 10^{-12}$
$t_y, \text{с}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$t_y, \text{с}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
A	$2,53 \cdot 10^7$	A	$2,1 \cdot 10^6$
K	8,73	K	8,2
Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в глицерине при -20°C $\text{Re} = 1$			
$v, \text{м/с}$	$8,5 \cdot 10^{-9}$	$v, \text{м/с}$	$7,9 \cdot 10^{-9}$
$s_y, \text{м}$	$2,94 \cdot 10^{-18}$	$s_y, \text{м}$	$2,4 \cdot 10^{-15}$
$t_y, \text{с}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$t_y, \text{с}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$
A	$1,15 \cdot 10^{10}$	A	$9,5 \cdot 10^8$
K	8,7	K	6,78

Таблица 3

Значения установившихся скоростей падения тел в различных средах
с учетом поправок Хантера

Поправка Хантера	
Наименование эксперимента	$v, \text{м/с}$
Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в керосине $\text{Re} = 1$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Падение полихлорвинилового шарика $r = 0,5$ мм в керосине $\text{Re} = 1$	$0,15 \cdot 10^{-4}$
Метод Перрена $r = 0,6$ мкм $\text{Re} = 1$	$3,8 \cdot 10^{-11}$
Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в глицерин $+20^\circ\text{C}$ $\text{Re} = 1$	$3,7 \cdot 10^{-6}$
Падение свинцового шарика $r = 0,5$ мм в глицерин -20°C $\text{Re} = 1$	$8,4 \cdot 10^{-9}$

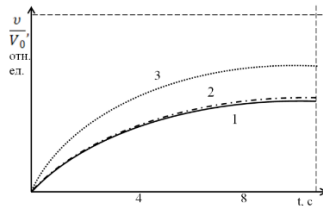


Рис. 1. Зависимость скорости падения свинцового шарика от времени с учетом поправок в керосине:
1 – расчетная кривая с учетом поправки Хантера; 2 – расчетная кривая без поправки; 3 – с учетом присоединенной массы

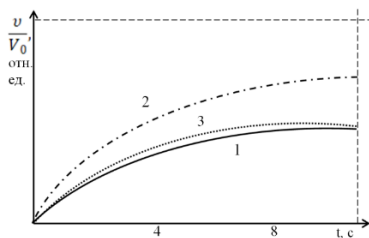


Рис. 2. Зависимость скорости падения полихлорвинилового шарика от времени с учетом поправок в керосине:
 1 – расчетная кривая с учетом поправки Хантера;
 2 – расчетная кривая

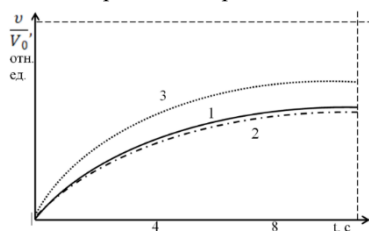


Рис. 3. Зависимость скорости падения свинцового шарика от времени с учетом поправок в глицерине при 20 °C:
 1 – расчетная кривая с учетом поправки Хантера; 2 – расчетная кривая без поправок; 3 – с учетом присоединенной массы

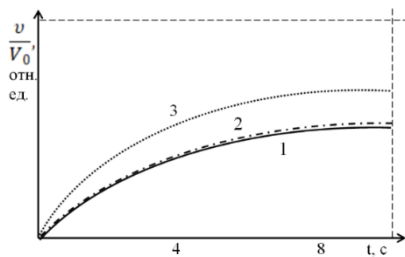


Рис. 4. Зависимость скорости падения свинцового шарика от времени с учетом поправок в глицерине при -20 °C:
 1 – расчетная кривая с учетом поправки Хантера; 2 – расчетная кривая без поправок; 3 – с учетом присоединенной массы

Таким образом, для корректного проведения эксперимента по определению вязкости жидкости методом падающего шарика необходимо, чтобы число Рейнольдса было меньше единицы, расстояние от уровня жидкости до начала уровня отсчета времени падения было больше пути $s_2(t_{y2})$, на котором устанавливается скорость, а поправка Хантера мало отличалась от единицы.

Литература

1. Патрашев, А. Н. Гидромеханика / А. Н. Патрашев. – М.: Военн.-мор. изд-во, 1953. – 719 с.

2. Hunter, R. G. Application of Stokes' law in the determination of the absolute viscosity of glass / R. G. Hunter // *Journal American. Cer. Society.* – 1994. – Vol. 17. – P. 121–127.

3. Кириленко, А. И. Моделирование движения тел в атмосфере / А. И. Кириленко, Т. Д. Кириленко, И. В. Рубанов // *Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II республ. науч.-практ. конф., Минск, 28–29 апр. 2022 г. / БНТУ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 426–430.*

4. Forsythe, W. E. *Smithsonian Physical Tables* / W. E. Forsythe. – New York: Knovel, Norwich, 2003. – P. 318.

**Лингводидактическое обеспечение
технического образования**

Текстологические и лингвостилистические принципы отбора учебных материалов в контексте формирования эколого-коммуникативной компетенции студентов при обучении английскому языку

Муха О. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассматривается важность учета текстологических и лингвостилистических принципов отбора учебного материала при формировании эколого-коммуникативной компетенции студентов; раскрываются особенности этих принципов и приводятся примеры отбора материалов для обучения английскому языку.

Обучение иностранным языкам является важной составляющей в современном образовании, одним направлений которого является развитие эколого-коммуникативной компетенции студентов. Эта компетенция предполагает умение эффективно использовать английский язык в экологических контекстах, общаться на данную тему и понимать экологические проблемы. Для достижения этой цели необходимо не только использовать правильные методы обучения, но и правильно отбирать учебные материалы.

Текстологические и лингвостилистические принципы отбора учебных материалов позволяют преподавателям более точно выбирать материалы, соответствующие уровню знаний и потребностям студентов. Текстологический подход к отбору материалов ориентирован на изучение языка через текст, позволяя студентам понимать содержание текста, строение предложений и взаимосвязь между частями текста. Соответственно, большое внимание уделяется самим текстам, их качеству и соответствию экологическим темам. Лингвостилистический подход, в свою очередь, сосредоточен на языковых особенностях, свойствах и функциях текста, которые позволяют студентам лучше понимать язык и использовать его для конкретных целей. Необходимо помнить о том, что материалы должны мотивировать студентов учить английский язык, показывать им, что, только зная особенности языка и специфическую лексику, можно красиво выстроить свою речь на тему экологии.

Одной из наиболее важных практических задач данных принципов является формирование у студентов способности понимать, анализировать и оценивать тексты, связанные с экологическими проблемами и принимать

участие в обсуждении данных вопросов на английском языке. В качестве примера использования данных принципов можно привести разработку учебных материалов, которые содержат тексты на английском языке, связанные с устойчивым развитием и целями по его достижению, экологическими проблемами, такими как глобальное потепление, загрязнение окружающей среды и убыль биоразнообразия.

Для того чтобы обеспечить максимальную эффективность формирования эколого-коммуникативной компетенции студентов, в качестве учебных материалов могут быть использованы тексты различных жанров, таких как новостные статьи, в частности материалы с сайта com, исследовательские работы, репортажи, научно-популярные статьи и др. Также очень эффективной может быть информация с сайта Организации объединенных наций о целях устойчивого развития sdgs.un.org. При этом необходимо учитывать уровень сложности текстов и адаптировать их к уровню знания английского языка студентов.

Кроме того, важным аспектом является использование дополнительных материалов, таких как видео, аудио и графических материалов, которые помогут студентам лучше понимать и запоминать материал. Важно также включать в учебный процесс обсуждение и анализ прочитанных текстов, что позволяет студентам активно участвовать в обучении и общаться на английском языке, что в свою очередь способствует формированию их коммуникативной компетенции.

Использование подходов, основанных на текстологическом и лингвостилистическом анализе учебных материалов, способствует не только формированию эколого-коммуникативной компетенции, но и усилению мотивации студентов к изучению английского языка, а также повышению их качества обучения.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– отбор учебных материалов должен осуществляться с учетом текстологических и лингвостилистических принципов, чтобы формировать эколого-коммуникативную компетенцию студентов при изучении английского языка;

– разнообразие учебных материалов, включающее как литературные тексты, так и материалы, связанные с реальными экологическими проблемами, помогает студентам осознать важность устойчивого развития и экологических проблем в нашей жизни;

– использование экологических тем в учебных материалах может быть полезным инструментом для обучения английскому языку и содействовать формированию экологической грамотности у студентов;

– применение данных принципов при отборе учебных материалов может помочь педагогам лучше организовать учебный процесс, а также дать

студентам возможность лучше понять взаимосвязь между экологическими проблемами и языком.

УДК 372.881.111.1: 378.4

Лингвистические принципы отбора материала для студентов архитектурно-строительных специальностей

Крюкова Л. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье дается краткий обзор основных лингвистических принципов отбора материала для студентов архитектурно-строительных специальностей. Основными принципами можно считать распространенность лингвистических единиц, актуальность тематики, соответствие интересам и потребностям будущих специалистов.

Значительные трансформации всех сфер жизни современного общества, развитие цифровых и инженерных технологий непосредственно затрагивают сферу науки и высшего профессионального образования. Подготовка инженерных и научных кадров, способных к инновационной деятельности, требует глубокого переосмысления содержания образования и оптимизации методов обучения в техническом вузе. Изменения учебных планов делает необходимым пересмотр и разработку актуальных учебных программ, учитывающих новейшие требования к профессиональным и универсальным компетенциям будущих специалистов.

Обучения иностранным языкам студентов и магистрантов архитектурно-строительных специальностей в условиях постепенного уменьшения количества аудиторных часов, отводимых на изучение дисциплины, имеет свою специфику и нацелено в данных условиях на более узкую специализацию в конкретной профессиональной и научной сфере. В связи с этим возникает необходимость пересмотреть принципы отбора тематического, лексического, грамматического и текстового материала для обучения иностранному языку.

Принцип *распространенности* терминов в профессиональной сфере, несомненно, остается ведущим для отбора лексического материала. Поскольку строительные и архитектурные специальности имеют общую терминологическую базу, обусловленную общим контекстом сферы деятельности, тезаурусы этих специальностей включают тематические разделы: строительные материалы (*concrete, brick, wood, etc.*), элементы зданий и сооружений (*wall, roof, floor, etc.*), строительные конструкции (*beam, truss,*

abutment, pile foundation, etc.). Различия между тезаурусами наблюдаются при более подробном изучении некоторых аспектов строительной и архитектурной деятельности. Так, студенты строительных специальностей глубже изучают свойства материалов и конструкций (*yield stress, bearing capacity, fatigue resistance, etc.*). Для архитектурных специальностей характерны термины, обозначающие стили и направления архитектуры в современном и историческом аспекте (*Corinthian order, Romanesque, Gothic, Hi-Tech, Art Deco, etc.*), а также общелитературная лексика для описания внешнего вида и оценки архитектурных объектов.

К ведущим лингвистическим прицепам отбора материала следует отнести стилистическую и тематическую *актуальность* учебного материала. Расширение активного терминологического словаря происходит благодаря добавлению неологизмов (*passive design, 3d printing, BIM, sustainability, etc.*). Использование современных публикаций, видео материалов, Интернет-ресурсов, мобильных приложений и возможностей искусственного интеллекта помогут ознакомиться с новейшими тенденциями в архитектуре, инновационными технологиями в строительстве. Так, развитие энергоэффективных технологий привело к необходимости формирования и развития *эколого-коммуникативной компетенции* инженерных специалистов, расширяя содержание учебного материала и активный тезаурус инженеров и архитекторов.

Кроме того, при выборе материалов для изучения английского языка важно учитывать *интересы и предпочтения* студентов, повышая мотивацию к изучению иностранного языка. Так, факультативный курс «Иностранный язык (профессиональная лексика)» на архитектурном факультете дает возможность включить интересующие студентов темы для групповых и индивидуальных проектов (*Job interview, Architectural company, Competition of architectural projects, etc.*). Студенты придумывают название, логотип, слоган, направление деятельности собственного архитектурного бюро, составляют резюме для поиска работы, моделируют интервью с потенциальными работодателями, представляют собственные архитектурные проекты потенциальным заказчикам или инвесторами.

Понимание лингвистических принципов отбора материала особенно актуально для магистрантов и аспирантов при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по английскому языку, поскольку они самостоятельно отбирают актуальные статьи для перевода и реферирования, а также производят отбор терминологической лексики для составления глоссария по конкретной узкой специальности.

Таким образом, главные лингвистические принципы отбора материала по английскому языку для студентов архитектурно-строительных специаль-

ностей заключаются в выборе наиболее употребительных лингвостилистических единиц и самых актуальных материалов, которые отвечают конкретным профессиональным потребностям студентов, учитывая их интересы и предпочтения.

УДК 372.881.111.1+378.4

Игровые технологии в обучении иностранному языку студентов неязыкового вуза

Дробышева А. П.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Данная статья посвящена вопросу использования современных игровых технологий в обучении иностранному языку. В статье приводятся функции педагогической игры, рассматриваются две основные категории игр, описываются как достоинства, так и недостатки игровых технологий. Особое внимание уделяется примерам игр, используемых на занятиях по иностранному языку в цикле дисциплин неязыкового вуза.

Современный образовательный процесс представляет собой невероятно многообразную парадигму образовательных технологий, педагогических методов и приемов. В последние годы произошло глобальное расширение и перераспределение границ образовательного процесса, а также определения в нем места и роли различных образовательных технологий.

Внедрение в процесс обучения иностранному языку современных технологий сделало процесс иноязычного обучения своеобразным эталоном, «образцом» дидактического процесса, в котором наряду с классическими методами и формами обучения широко применяются «молодые», но столь эффективные образовательные технологии: информационно-коммуникационные технологии, Case Study, проектная методика и многие другие.

Современные образовательные технологии своей задачей ставят максимально качественно улучшить дидактический процесс, повысить интерес обучающихся к изучению иностранного языка, приблизить процесс иноязычного обучения к потребностям времени, а в условиях образовательного процесса высшей школы – формирование иноязычной коммуникативной компетенции как ключевой компетенции будущего специалиста.

Использование игровых технологий или, так называемая, геймификация процесса обучения иностранному языку (gamification) наряду с другими образовательными технологиями получила свое качественно новое развитие и

рассматривается как составная часть современных интерактивных технологий. Сегодня можно наблюдать тенденцию перехода от коммуникативного подхода, описанного Е. И. Пассовым, И. А. Зимней к интерактивному, в котором взаимодействие обучающихся как друг с другом, так и с преподавателем происходит в режиме диалога, беседы, игры, дискуссии, дебатов.

Известно, что игра как метод обучения использовалась еще в древности; дети постигают мир при помощи игры как основного способа передачи социального опыта. В XIX веке К. Д. Ушинский рекомендовал прибегать к игре в процессе обучения детей для наиболее продуктивного усвоения учебного материала. А. С. Макаренко полагал, что в игре дети проявляют себя так же, как в будущем будут проявлять себя в работе [1].

Герман Константинович Селевко, академик Международной академии наук педагогического образования, определяет игру в современном процессе обучения как вид деятельности «в условиях ситуаций, направленных на воссоздание и усвоение общественного опыта, в котором складывается и совершенствуется самоуправление поведением» [2].

Игра несомненно остается одной из самых популярных средств интенсификации учебного процесса как в средней, так и в высшей школе.

В игровых методиках основной акцент ставится на «ситуацию успеха» обучающихся, на активную коммуникацию и возможность перехода от простого к сложному, что особо актуально в условиях системы вуза, где порой невозможно разрешить проблему разноуровневой подготовки студентов.

Игру можно применять как на начальном этапе обучения в рамках вводно-коррективного курса, так и на продвинутом уровне подготовки обучающихся.

Немаловажное значение в использовании игровых технологий имеет понимание педагогом функций педагогической игры. Среди них можно выделить основные функции:

- 1) развлекательная: игра – это, несомненно, развлечение, через которое идет процесс развития и познания;
- 2) коммуникативная: игра позволяет войти в реальный контекст человеческой коммуникации;
- 3) функция самореализации: игра позволяет построить поведение, которое зачастую затруднено или невозможно в реальной жизни;
- 4) диагностическая: в ходе игры можно выявить различные трудности, который обучаемый испытывает в процессе изучения иностранного языка. Это могут быть как исключительно языковые ошибки, так и эмоциональные, психологические трудности;
- 5) коррекционная: игра позволяет корректировать ошибки речевого и неречевого поведения достаточно естественно и легко;

6) функция межкультурной коммуникации: сценарий игры может быть составлен так, чтобы обучающиеся смогли быть участниками многонационального общения, что позволяет знакомиться с культурой различных национальностей, усваивать общечеловеческие ценности;

7) функция социализации: игра включает обучающихся в систему общественных отношений [2].

Сегодня достаточно сложно определить единую классификацию игр. Игровых приемов огромное множество, в основу классификаций игр кладут различные критерии.

Тем не менее, большинство игр, используемых в рамках обучения иностранному языку можно разделить на две основные категории: дидактические и творческие игры.

Дидактические игры – это все грамматические, лексические, фонетические, орфографические игры, в которых происходит формирование речевых навыков обучающихся. Это игры с четко поставленной целью. В дидактической игре, или с помощью нее, нужно чему-то научиться. Отличием дидактической игры от простого упражнения являются:

- 1) отсутствие заданной схемы поведения, кроме формы самой игры;
- 2) соревновательный характер, который помогает оценить обучающемуся свои силы сопоставляя их с силами остальных играющих;
- 3) в отличие от простых упражнений в игре присутствует межличностное (групповое) общение.

Дидактические игры на занятиях по иностранному языку можно разделить на «игры с языковым материалом» и «игры на языке».

«Игры с языковым материалом» представляют собой, как правило, игры на знание грамматического материала. Основными преимуществами таких игр являются их разноуровневость, возможность программировать данные игры, внедрять их и контролировать процесс игры с помощью информационно-коммуникационных технологий. Такие игры достаточно популярны и широко любимы как педагогами, так и обучающимися: бинго-лото, игры в парах, настольные игры, кроссворды и др.

«Игры на языке» – это игры для закрепления навыков четырех видов речевой деятельности – аудирования, чтения, говорения и письма. Основным преимуществом таких игр является возможность проявления речевого поведения обучающихся.

Творческие игры – это в основной своей массе ролевые игры в разных формах и режимах проведения. В ролевой игре обучающийся играет роль, которую он не играет в реальной жизни (политик, ученый, известная кинозвезда, босс, топ-менеджер компании). Роль назначается в рамках сценария игры. Творческие или ролевые игры развивают социальную коммуни-

кацию и культурное взаимодействие, улучшают разговорные навыки, повышают мотивацию, помогают раскрепоститься и освобождают от трудностей в иноязычном общении [2].

В рамках данной статьи хотелось бы привести примеры ролевых игр, которые можно использовать в образовательном процессе по дисциплинам «Иностранный язык» ступеней бакалавриата и магистратуры, а также по дисциплине «Кросс-культурные коммуникации» ступени магистратуры.

Полноценной ролевой игрой, к примеру, является словесная игра «Мафия». Цель игры – убедить остальных игроков в том, что тот или иной участник является мафией/доктором/шерифом. Игра побуждает убеждать, защищать свою точку зрения, проявлять инициативу.

Примером еще одной игры, которую с легкостью можно инкорпорировать в процесс обучения иностранному языку в высшей школе является игра «Алиби». В игре есть две роли: детектив и подозреваемый. Задача подозреваемого придумать алиби и убедительно донести его до детектива, а задача последнего – вывести на чистую воду подозреваемого. Причем тематика «допроса» может быть легко придумана преподавателем с учетом тематического содержания дисциплины.

Ролевая игра «Воздушный шар» особо интересна для студентов начальных курсов, и несомненно обогатит занятия по иностранному языку в рамках модуля «Choosing a Career». Обучающиеся составляют список профессий и выбирают каждый по одной из списка. Проблемная ситуация – все летят в воздушном шаре и нужно, чтобы один выпрыгнул, иначе все разобьются. Каждый игрок аргументирует, почему нужно оставить именно его. После прослушивания всех монологов команда голосует за «лишнего».

Особое место в геймификации процесса обучения иностранному языку занимают настольные игры. Индустрия настольных языковых игр сегодня представлена командами авторов, создающих коммерческий продукт, доступный абсолютно каждому. Производители языковых настольных игр, карточных игр, (например, Trendyenglishgames.com, sunenglish.ru, airis.ru) разрабатывают игры исключительно для обучения иностранному языку, как детей, так и взрослых. Это хорошо продуманные игры с готовым сценарием, тематические игры к праздникам страны изучаемого языка и множество других, которые можно приобрести в сети Интернет. Подобные настольные игры направлены именно на развитие разговорных умений, они могут стать отличным методическим дополнением как к занятиям основного цикла, так и к проведению мероприятий в рамках English club, недели английского языка и иных внеаудиторных форм популяризации изучения иностранного языка.

Несомненно, что в геймификации процесса обучения иностранному языку большая роль отводится преподавателю. Чтобы любая игра была эффективной, она должна быть хорошо продумана самим педагогом и проводиться в доброжелательной атмосфере, игра не должна быть принуждением. Преподаватель должен подготовить игру, определить и четко пояснить правила игры, определить ее формат, подобрать языковой материал, аудиовизуальные средства обучения при их необходимости, продумать соревновательный момент. Не менее серьезно нужно организовать подведение итогов игры, выделить победителей, поощрить проигравших. Это достаточно кропотливая подготовительная работа, которую не все педагоги готовы реализовать в силу разных причин.

Геймификация – это безусловно творческий процесс, имеющий огромное количество преимуществ, о которых было упомянуто выше. Тем не менее, использование игровых технологий не лишено недостатков. Основным недостатком геймификации является привыкание обучающихся, постоянно растущая потребность обучающихся в интерактивных методах и формах изучения иностранного языка [3]. Если преподаватель ставит для себя подобную методическую планку, то и дальше ее нужно удерживать, в противном случае обучающиеся теряют интерес, начинают скучать на занятиях, хотя это совершенно не означает, что занятие было неинтересное/неэффективное. Именно поэтому, оптимальным видется использование игровых технологий в сочетании с традиционными методами и приемами. В условиях образовательного процесса неязыкового вуза, игра может быть использована в конце темы/раздела/модуля как форма систематизирующая полученные знания, умения и навыки. Подобный подход к определению места игры в образовательном процессе хорошо прослеживается в современных учебно-методических комплексах (УМК). Например, в УМК Business Result в конце каждого тематического модуля (Unit) есть раздел «Talking Point», представленный в виде заданий либо технологии Case Study, либо в виде игрового задания, правила которого регламентирует книга для учителя. Именно так в данном УМК актуализируются полученные знания, умения и навыки по тематике модуля. Данные игры из разделов Talking Point могут успешно применяться преподавателями в рамках дисциплины «Кросс-культурные коммуникации», «Business English».

Игровые технологии придают процессу обучения несомненную динамику, экспрессивность и являются отличным методическим инструментом в руках творческого профессионала-педагога.

Литература

1. Шатилова, А. А. Игровые технологии в обучении взрослых английскому языку: возможности и ограничения / А. А. Шатилова // ГАУДЕАМУС. – 2020. – Т. 19. – С. 59–66.

2. Кузин, А. А. Игровые образовательные технологии в обучении иностранным языкам / А. А. Кузин, М. В. Щербакова // Инновационные технологии обучения иностранному языку в вузе и школе: реализация современных ФГОС: сборник научных трудов по материалам Четвертой Международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 февраля 2019 г.: в 2 ч.; Воронежский государственный университет; отв. ред. М. В. Щербакова. – Воронеж, 2019. – Ч. 1 – С. 69–77.

3. Семина, В. В. Использование геймификации в процессе обучения бизнес-английскому студентов вузов [Электронный ресурс] / В. В. Семина. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-geymifikatsii-v-protsesse-obucheniya-biznes-angliyskomu-studentov-vuzov>. – Дата доступа: 20.01.2023.

УДК 378.147

Искусственный интеллект в процессе обучения иностранному языку в техническом вузе

Проскурякова М. П.

Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева

Ниžний Новгород, Российская Федерация

Рассматриваются проблемы, связанные с преподаванием иностранного языка в технических вузах и необходимость подготовки студентов к коммуникации. Современные технологии обучения и искусственный интеллект все чаще используются в образовании. Одним из подмножеств искусственного интеллекта является машинное обучение, которое помогает в обработке данных и анализе ключевых показателей. Машинное обучение меняет учебный процесс для студентов и учителей, повышает его эффективность и персонализирует его под каждого студента.

Быстро развивающиеся технологии требуют современных решений и при обучении иностранному языку. Особенно это актуально для преподавания языка в техническом вузе. При этом студентов необходимо готовить не только к коммуникации на общие темы, но и на темы, относящиеся к узко-

специализированным. В связи с этим остро встает вопрос о поиске тех методов и приемов обучения, которые будут обеспечивать необходимые умения для общения в профессиональных кругах.

Современное высшее образование тесно связано с развитием новых интерактивных технологий. Например, искусственный интеллект (ИИ) становится неотъемлемой частью современного общества, и играет значимую роль в образовании и обучении иностранным языкам. Особый интерес представляет внедрение в учебный процесс машинного обучения.

Машинное обучение – это подмножество ИИ, которое облегчает анализ больших наборов данных и улучшает распознавание образов – позволяет компьютерам автоматически предвидеть определенные результаты, адаптироваться к ним и учиться автономно [1].

Машинное обучение в образовании включает в себя широкий набор инструментов обучения, основанных на самосовершенствующихся алгоритмах, которые могут обрабатывать данные, определять ключевые показатели, повторяющиеся закономерности и отношения между переменными и, следовательно, понимать, как такие факторы могут влиять на основные тенденции и сценарии. Оно меняет образовательный процесс как для учащихся, так и для учителей. Он оптимизирует и персонализирует учебный процесс для учащихся и помогает преподавателям выставять оценки.

На сегодняшний день существует множество образовательных программ, обучающих английскому языку по индивидуальной траектории. Однако они в основном построены на системе самостоятельного обучения. Наиболее эффективным является обучение с наставником, которое сочетает в себе элементы традиционного и онлайн обучения. Например, при обучении грамматике преподаватель, объясняя на занятии тему, подкрепляет свои слова упражнениями из виртуального учебника [2]. Студенты могут выполнять задания самостоятельно, а затем проверить его онлайн, либо вместе с преподавателем.

Так же, такой вид обучения называют EdTech (Educational Technology), или образовательная технология, что представляет собой сочетание ИТ инструментов и образовательных практик, которые направлены на облегчение и улучшение обучения, для создания увлекательного, инклюзивного и индивидуального обучения.

Уроки виртуальной реальности и игровые занятия в аудитории помогают студентам оставаться вовлеченными в увлекательные формы обучения. И устройства EdTech IoT (Internet of Things) приветствуются за их способность создавать цифровые аудитории для учащихся, независимо от того, находятся ли они физически в школе, в автобусе или дома. Инструменты машинного обучения и блокчейна помогают преподавателям выставять оценки за тесты и контролировать выполнение домашних заданий.

Развитие технологий открывает новые возможности обучения для учащихся всех возрастов, а также способствует сотрудничеству и инклюзивности в аудитории. Студенты – не единственная группа, получающая выгоду от образовательных технологий. Преподаватели используют образовательные технологии как средство для разработки эффективных методов обучения и экономии времени в аудитории.

За последние несколько лет были разработаны компьютерные технологии для поддержки обучения, в том числе в качестве средств оценки или коммуникации [3]. Современные технологии позволили объединить эти инструменты в отдельные продукты, называемые виртуальными учебными средами.

Таким образом, виртуальная учебная среда может быть определена как автономная компьютерная онлайн-среда, обеспечивающая взаимодействие между инструктором и студентом. Она обрабатывает информацию, непосредственно связанную с обучением студентов, например, конспекты лекций, онлайн-дискуссии и, возможно, оценки студентов [4]. Кроме того, машинное обучение, использующее данные в режиме реального времени, может помочь преподавателям выявить сильные и слабые стороны студента, и даже признаки неспособности к обучению.

Вместо того, чтобы полагаться на вызывающие стресс тесты для измерения успеваемости, преподаватели теперь обращаются к приложениям, которые постоянно измеряют общие способности. Постоянные измерения отображают тенденции обучения, которые преподаватели могут использовать для разработки специализированных планов обучения, основанных на сильных и слабых сторонах каждого студента, или, что более важно, находить негативные тенденции, которым можно препятствовать заблаговременно [5].

Электронное обучение и виртуальные учебные средства являются одними из лучших эффективных и инновационных подходов к процессу изучения английского языка, особенно для внедрения и расширения возможностей для достижения целей изучения языка. В настоящее время существует множество инструментов для создания обучающих веб-приложений, которые становятся все более мощными и простыми в использовании, а Интернет-технологии развиваются на удивительных уровнях.

Литература

1. Шефиева, Э. Ш. Использование Интернет-сервисов в дистанционном обучении, в том числе иностранным языкам, в условиях пандемии коронавируса / Э. Ш. Шефиева // Преподаватель высшей школы в XXI веке: материалы 17-й Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Д. – 2020. – С. 398–402.

2. Есионова, Е. Ю. Искусственный интеллект как альтернативный ресурс для изучения иностранного языка / Е. Ю. Есионова // Гуманитарные и социальные науки. – 2019. – № 3. – С. 155–166.

3. Исаева, Т. Е. Оценочная компетенция вузовского преподавателя: содержание и смысл / Т. Е. Исаева // Высшее образование в России. – 2014. – № 10. – С. 106–112.

4. Исаева, Т. Е. Современный университет: изменение приоритетов / Т. Е. Исаева // Философия образования. – 2005. – Т. 12, № 1. – С. 76–79.

5. Childs, M. John McCarthy: Computer Scientist Known as the Father of AI [Electronic resource] / M. Childs // The Independent – Mode of access: <https://www.independent.co.uk/news/obituaries/john-mccarthy-computer-scientist-known-as-the-father-of-ai-6255307.html> – Date of access: 20.03.23.

УДК 811.11(03):378.4

**Экологическая лексика в терминологическом словаре
инженерных специальностей**

Сугакова Е. П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье обосновывается необходимость создания двуязычного терминологического англо-русского словаря, использование которого будет способствовать формированию эколого-коммуникативной компетенции у студентов технического вуза на занятиях по иностранному языку.

В системе профессиональной подготовки специалистов инженерных специальностей немаловажную роль играет формирование эколого-коммуникативной компетенции на занятиях по иностранному языку. Обусловлена эта роль тем, что в современном обществе 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 [1], способствующая пониманию экологической безопасности, международной экологической политики, международных экологических положений и стабильного устойчивого развития.

Учитывая сложившуюся тенденцию в учебную программу по иностранному языку (английскому) были включены соответствующие темы, позволяющие формировать у студентов не только коммуникативную компетенцию с ее основными составляющими (языковая, речевая, социокультурная,

учебно-познавательная и информационная), но и экологическую. Для этого была проведена специальная подборка текстов и разработка заданий к ним. Студентам были предложены различные виды работ, для лучшего усвоения подготовленного материала: чтение, перевод, письменные задания для самостоятельной работы, презентации, организации дискуссий.

Для того, чтобы у обучающихся была возможность быстро и правильно ориентироваться в обсуждаемых вопросах, для развития умения аргументированного изложения своей точки зрения, безусловно, требуется постоянное пополнение словарного запаса. Следовательно, существует обоснованная потребность в создании оригинального терминологического двуязычного англо-русского словаря, содержащего актуальные термины, соответствующие заданной экологической тематике. Ведь без возможности применения специальных слов студенты будут испытывать сложность при прочтении и переводе текстов, возникнет сложность в определении главной идеи текста и дальнейшего формирования логичного и структурированного ответа на предлагаемые к обсуждению вопросы. Принимая во внимание вышеизложенное, было решено создать двуязычный терминологический англо-русский словарь для специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» и включить в него специальную экологическую лексику.

Процесс создания словаря является достаточно сложной и комплексной задачей, подразумевающей применение системного подхода и определенной концепции. Для того чтобы выбрать подходящую лексику и правильно систематизировать понятия, важно определить назначение словаря и его аспектную ориентацию. Сделать это не сложно, так как перед составителями стоит четкая задача подбора терминов по ограниченной тематике, касающейся выбранной специальности и дополненной экологическими терминами, включенными в учебную программу, разработанную для студентов инженерных специальностей технического вуза.

Следует выделить несколько этапов создания терминологического словаря. На первом этапе перед составителями будет стоять задача предварительного изучения и анализа материалов, подготовленных для обучающихся, то есть обработка всех предлагаемых источников информации. На втором этапе будет проходить выборка и подготовка нужного материала, включающего экологическую лексику, составление словника, исследование словарных единиц. Третий этап будет представлять собой создание и верстку словаря. На четвертом этапе должна состояться обязательная проверка готового материала. Затем словарь будет отправлен в печать.

Данный словарь будет охватывать весь актуальный материал таким образом, чтобы студенты смогли в полном объеме выполнить перевод литера-

туры либо текстов, включенных в специально разработанную образовательную программу. Он должен быть надежным, и основными характеристиками его должны стать краткость, информативность и современность.

Процесс формирования эколого-коммуникативной компетенции у студентов технического вуза направлен на приобретение профессиональных языковых навыков и их дальнейшего практического применения как на занятиях по иностранному языку, так и в дальнейшей профессиональной деятельности. Без актуального и современного лексического запаса добиться этой цели будет очень сложно, поэтому потребность в создании специального терминологического двуязычного словаря оправдывает сама себя.

Словарь может быть полезен как для начинающих студентов, так и для профессионалов в области экологии и охраны окружающей среды, которые хотят обновить свои знания и узнать больше о новых терминах и концепциях. Словарь также представляет собой отличный ресурс для учителей и преподавателей, которые могут использовать его в качестве учебного материала и помочь своим студентам лучше понимать и применять экологическую терминологию.

Важно отметить, что овладение экологической терминологией может быть полезно не только в профессиональной деятельности, но и в повседневной жизни. Понимание основных экологических терминов поможет студентам лучше понимать важность сохранения окружающей среды и принимать осознанные решения в своей жизни, которые будут способствовать экологической устойчивости.

Литература

1. Добрынина, О. Л. Методическая система становления иноязычной эколого-коммуникативной компетенции студентов университета в контексте образования для устойчивого развития / О. Л. Добрынина // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова – 2008. – № 3. – С. 279–284.

УДК 372.881.111.1:378.4

Моделирование речевых ситуаций общения на занятиях по английскому языку в техническом вузе

Сугакова Е. П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассматривается применение метода моделирования речевых ситуаций на занятиях по английскому языку как один из наиболее значимых

элементов проблемного обучения с целью формирования эколого-коммуникативной компетенции у студентов технического вуза.

Моделирование речевых ситуаций на занятиях по английскому языку в техническом вузе является важным аспектом учебного процесса, так как позволяет студентам не только улучшить свои языковые навыки, но и получить опыт коммуникации в профессиональной сфере. Данный подход особенно актуален и для формирования эколого-коммуникативной компетенции студентов, так как за период обучения они должны научиться общаться в экологической сфере, уметь анализировать и интерпретировать экологические данные на иностранном языке.

В современном мире экологические проблемы становятся все более актуальными и требуют решения на различных уровнях. Однако, для эффективного решения экологических проблем необходимо не только технические и научные знания, но и умение коммуницировать с различными заинтересованными сторонами, как на родном языке, так и на иностранном.

Для формирования эколого-коммуникативной компетенции необходимо изучить экологические проблемы и терминологию, понимать психологические и социальные аспекты экологических проблем, разработать навыки анализа экологических данных и представления результатов, изучить различные методы коммуникации и выбрать наиболее эффективные для конкретной ситуации [1]. В рамках учебного процесса следует регулярно проводить практические занятия, освещающие эту тему. Это могут быть дискуссии и ролевые игры. Также необходимо учитывать межкультурные аспекты коммуникации, так как экологические проблемы могут иметь различные характеристики в разных регионах мира.

Моделирование речевых ситуаций – это метод обучения, который позволяет студентам практиковать использование английского языка в реальных ситуациях, которые они могут встретить в своей будущей карьере. Например, студентам можно предложить играть роли инженеров, менеджеров проектов или технических писателей и взаимодействовать друг с другом на английском языке, используя специализированную терминологию и практические навыки. Деловые игры и симуляции позволяют студентам практиковать общение на английском языке в контексте реальных ситуаций, что может значительно повысить уровень владения разговорной речью. Кроме того, преподаватель может создавать разные сценарии и задания для студентов с разным уровнем подготовки, что обеспечивает более эффективное обучение.

Моделирование речевых ситуаций на занятиях по английскому языку в неязыковом вузе может быть очень полезным для студентов, которые хотя

улучшить свои навыки иноязычного общения в профессиональных областях. Технический университет предоставляет студентам возможность изучения различных технических специальностей, поэтому развитие навыков общения на английском языке в данных областях может быть важным для их будущей карьеры.

В этом контексте существует множество различных методов, которые могут быть использованы для достижения желаемого результата.

Один из наиболее эффективных методов – ролевая игра. Эта техника имитирует реальные ситуации, в которых студенты могут столкнуться в профессиональной деятельности, такие как проведение презентаций, участие в переговорах и т. д. Ролевая игра предоставляет студентам возможность практиковаться в использовании языка в реалистичных ситуациях и развивать навыки общения на английском языке.

Другой метод, который может использоваться для моделирования речевых ситуаций – это использование аутентичных материалов, таких как видео и аудиозаписи. Такие материалы могут предоставить студентам возможность услышать носителей языка в различных ситуациях и попрактиковаться в понимании речи, а также использовать новые слова и выражения в контексте.

Важным аспектом моделирования речевых ситуаций на занятиях английского языка является использование специализированных тематических материалов. Это может включать в себя технические статьи, отчеты, инструкции и другие материалы, которые помогут студентам понять специфику профессионального общения и терминологию. Также это может помочь студентам развить навыки понимания технической литературы на английском языке. Это важно при работе с документацией, техническими отчетами и другими материалами, которые используются в профессиональной деятельности.

Важно отметить, что помимо использования различных методов на занятиях, студентам также необходимо иметь возможность практиковать язык вне университета. Например, это может быть обмен языковыми партнерами, участие в международных проектах и стажировках. Это позволит студентам на практике применять полученные знания и навыки, а также улучшить свой уровень владения английским языком.

Таким образом, моделирование речевых ситуаций может быть достигнуто с помощью различных методов и подходов. Каждый из них имеет свои преимущества и может быть эффективным в зависимости от целей и задач, поставленных перед преподавателем и студентами. Это эффективный метод обучения, который помогает студентам не только улучшить свои навыки общения на английском языке, но и подготовиться к будущей профессиональной

деятельности, но и существенно помочь в формировании эколого-коммуникативной компетенции.

Литература

1. Муха, О. Ю. Формирование эколого-коммуникативной компетенции студентов технического вуза средствами иностранного языка / О. Ю. Муха // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы республиканской науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2021. – С. 234–236.

УДК 372.881.111.1:378.4

Использование «зеленых» мобильных приложений в образовательном процессе для формирования экологически ориентированного образа жизни

Фомичева Т. П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассматриваются примеры экологических мобильных приложений, имеющих отношение к проблемам окружающей среды и уменьшению воздействия на нее, которые могут использоваться в современном образовательном процессе для формирования экологической компетенции студентов. Актуальность темы обуславливается высокой степенью социальной ответственности будущих инженеров в процессе выработки действий для решения экологических проблем.

Мобильное обучение – это образовательная тенденция, обусловленная не только техническим развитием, но и современными условиями. Основными особенностями мобильного обучения являются доступность, непосредственность, интерактивность учебной деятельности. Основные направления использования мобильного обучения в современном образовании, которое позволяет существенно повысить эффективность учебного процесса, рассматриваются в работах российских исследователей И. Н. Голицыной и Н. Л. Половниковой [1].

Большинство современных студентов технически и психологически готовы к использованию мобильных технологий в учебном процессе, и необходимо рассматривать новые возможности для более эффективного использования потенциала мобильных устройств и технологий. [2] Идея использо-

вания мобильных приложений в образовательном процессе обладает большим потенциалом. В отличие от традиционной формы подачи учебных материалов и заданий в мобильном обучении применяют инновационные технологии, с помощью которых происходит совершенствование процесса преподавания.

Сегодня существует целый набор, так называемых «зеленых» мобильных приложений, которые могут с успехом использоваться в образовательном процессе для формирования и развития экологической компетенции студентов и экологически ориентированного образа жизни. Экологическое мышление, представление об окружающей среде и месте в ней человека должны присутствовать во всех проявлениях его деятельности [3].

Для примера можно рассмотреть мобильные приложения, которые помогают быть в курсе самых последних новостей в сфере экологии, а также получать «зеленые» советы и рекомендации, например, *Earth-now*, *Air Quality/Air Visual*, *Ecosia*, *Eco-Tracker: form eco-habits* и т. д. Для студентов, изучающих альтернативные источники энергии, будет интересно познакомиться с приложением *Solar Energy News App*, которое посвящено новостям из мира возобновляемой энергетики, в нем есть такие категории, как транспорт, технологические новинки, международные новости. Также приложение предлагает солнечный калькулятор, который помогает рассчитать размер системы солнечных батарей, предсказать срок возврата инвестиций.

Целесообразно изучить приложения экологической направленности, разработанные на территории Беларуси.

1) *Зеленая карта: экологический помощник (Greenmap.by)* – это одно из первых в Беларуси приложений для тех, кто хочет жить экологично. Это ресурс, на котором собрана информация о важных экологических объектах: пунктах сбора отходов и ненужных вещей; карту *Zero waste*; организациях, занимающихся охраной окружающей среды; объектах, где есть установки по возобновляемой энергетике; уникальных природных зонах-парках, скверах, заказниках. В приложении есть интерактивный помощник по сортировке отходов; базы данных вредных веществ; справочник маркировки. Можно получить ответы на самые насущные вопросы экологической тематики [4].

2) В Беларуси создано уникальное приложение *BY Guide*, которое является своеобразной навигацией по экологическим тропам и зеленым маршрутам по стране с учетом возможностей и физиологических особенностей посетителей. Ресурс содержит информацию, кому подойдет эта тропа, например, людям с нарушением зрения, семьям с детьми и животными. Каждая тропа сопровождается подробным описанием, фотографиями и GPS-трекером. В настоящее время база включает более 300 экологических троп и веломаршрутов по всем регионам страны [5].

Проанализировав перечисленные мобильные приложения экологической направленности, можно сделать следующие выводы: несмотря на то, что существующие приложения различаются по функциональным возможностям; относятся к разным категориям; имеют свою аудиторию и свои направления, – все они помогают пользователю получить необходимую информацию по самым разным вопросам экологии и экологической безопасности.

Использование экологических мобильных приложений в образовательном процессе является актуальным и целесообразным, так как положительно сказывается на заинтересованности и мотивации студентов, формирует экологически ориентированный образ жизни, способствует совершенствованию экологической компетенции будущих инженеров.

Литература

1. Голицына, И. Н. Мобильное обучение как новая технология в образовании / И. Н. Голицына, Н. Л. Половникова // Образовательные технологии и общество. – 2011. – № 1. – С. 241–252.

2. Амиров, А. Ж., Роль современных мобильных приложений в учебном процессе вуза / А. Ж. Амиров, А. М. Ашимбекова, А. Е. Темирова. // Молодой ученый. – 2017. – Т. 135, № 1. – С. 13–15.

3. Мобильные гаджеты в помощь природе: приложения и игры для экообразования и экопросвещения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: bellona.ru. – Дата доступа: 23.04.2023.

4. Зеленая карта – это приложение для тех, кто хочет жить экологично. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://app.greenmap.info>. – Дата доступа: 23.04.2023

5. BY Guide – мобильное приложение для экологических путешествий по Беларуси. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://by-guide.app>. – Дата доступа: 23.04.2023

УДК 811.11(03):725.1.033.5:378.4(410)

Английская архитектурная терминология в описании стиля неоклассицизм кампусов Оксфордского университета

Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описаны основные характеристики терминологических единиц, используемых при описании кампусов Оксфордского университета, вы-

полненных в стиле неоклассицизм. Даны основные характеристики используемых терминологических единиц, таких как этимология, компонентность и количество их значений в научно-популярных текстах по данной тематике.

Целью данной работы является изучение архитектурной терминологии при описании кампусов Оксфордского университета стиля неоклассицизм на основе анализа структурных и понятийных единиц, используемых в текстах научно-популярного стиля.

Кампусы оксфордского университета представлены различными архитектурными стилями. Четыре колледжа выполнены в стиле неоклассицизм. Элементы, характерные для архитектурного стиля, можно увидеть в Ридженитс-парк колледже (Regent's Park College), Королевский колледж (The Queen's College), Вустерский колледж (Worcester College), Уиклиф колледж (Wycliffe Hall).

Данные кампусы были построены в период с 14 по 19 вв. Первым из выше перечисленных является The Queen's College (1340 г.), а самым последним был Regent's Park College (1810 г.). Самое большее количество корпусов было построено в 18 веке (Regent's Park College, Worcester College). Стиль неоклассицизм получил развитие еще в 1725 г. В трудах художника Колина Кэмпбелла (Colin Campbell, 1676–1729 гг.) «Vitruvius Britannicus», в которых он призвал к возвращению к палладианским традициям. Неоклассицизм в архитектуре стал проводником либеральных взглядов. Примером раннего неоклассицизма стал Чисвик Хаус (Chiswick house) архитектора Вильяма Кента, который был построен в 1725 г.

В исследовании было проанализировано четыре текста суммарным объемом 6 страниц и 3052 слова, из которых на термины приходится 115, что составляет 3,4 % от общего количества слов в тексте. Такая насыщенность терминами требует четкого понимания их смысловой нагрузки, выявления их происхождения, практики применения, а также анализа структуры данных терминов.

Из приведенного выше описания видно, что архитектурный стиль образован большим количеством элементов с соответствующими терминологическими единицами, используемыми для их описания.

Исследование этимологии, компонентности и семантики терминов играет важную роль при составлении глоссариев, тезаурусов и понятийного аппарата в учебных пособиях по иностранному языку для студентов архитектурных специальностей. Основываясь на вышесказанном можно говорить о высокой актуальности данного исследования.

На Рис. 1 представлена диаграмма, на которой показано происхождение терминов в исследованных текстах в процентном отношении к общему количеству терминов в текстах. В изученных текстах встречаются термины французского, английского, немецкого и латинского происхождения.

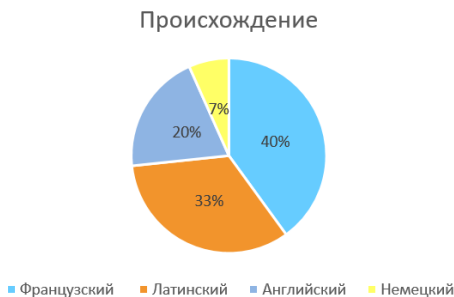


Рис. 1. Происхождение терминов

Из рис. 1 видно, что большинство терминов имеют французское происхождение (40 %). Например, *spandrel* – ‘is a roughly triangular space, usually found in pairs, between the top of an arch and a rectangular frame; between the tops of two adjacent arches or one of the four spaces between a circle within a square. They are frequently filled with decorative elements’ – перемычка. На втором месте по частоте использования находятся термины латинского происхождения (33 %). Например такие как *colonnade* – ‘is a long sequence of columns joined by their entablature, often free-standing, or part of a building’ – колоннада; *jamb* – ‘in architecture, is a side-post or lining of a doorway or other aperture’ – косяк двери; *ogee* – ‘is the name given to objects, elements, and curves – often seen in architecture and building trades – that have been variously described as serpentine-, extended S-, or sigmoid-shaped. Ogees consist of a «double curve», the combination of two semicircular curves or arcs that, as a result of a point of inflection from concave to convex or vice versa, have ends of the overall curve that point in opposite directions (and have tangents that are approximately parallel)’ – оги. Термины английского происхождения занимают третью позицию (20 %). Таким образом, французские по происхождению термины во многом определили английскую терминологию в описании архитектуры кампусов стиля неоклассицизм.

Исследование показало, что английскую архитектурную терминологию, описывающую кампусы неоклассического стиля, составляют однословные термины (100 %). Данный факт говорит о том, что готическую архитектуру

можно описать однословными терминами, так как такие термины охватывают полноту смыслов, вкладываемых в элементы архитектурных строений.

Многозначность терминов также играет большую роль в текстах научно-популярного стиля по неоклассической архитектуре кампусов. На рис. 2 представлена диаграмма использования многозначных терминов в изученных текстах. Термины с одним-двумя значениями используются гораздо чаще (73 %), чем термины с большим количеством значений. Два-три значения терминов в научно-популярных текстах по неоклассической архитектуре встречаются наиболее редко (27 %).

Количество значений терминов



Рис. 2. Количество значений терминов

Таким образом, в результате анализа текстов по неоклассической архитектуре кампусов Оксфордского университета были установлены основные характеристики терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета. Большинство терминов имеют французское происхождение (40 %). Все термины однословные. Для большей части терминов (73 %) характерно наличие 1–2 значений и только для (27 %) – два-три значения.

Литература

1. Гришук, О. Неоклассический стиль в архитектуре [Электронный ресурс] / О. Гришук // Фасад Эксперт. – Режим доступа: <https://fasad-exp.ru/dizayn-i-dekor/neoklasicheskiy-stil-v-arkhitekture.html>. – Дата доступа: 03.03.2023.

**Английская архитектурная терминология в описании
готического стиля кампусов Оксфордского университета**

Щербицкий Н. Э.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье описаны основные характеристики терминологических единиц, используемых при описании кампусов Оксфордского университета, выполненных в готическом стиле. Даны основные характеристики используемых терминологических единиц, таких как этимология, компонентность и количество их значений в научно-популярных текстах по данной тематике.

Целью данной работы является изучение архитектурной терминологии при описании готического стиля кампусов Оксфордского университета на основе анализа структурных и понятийных единиц, используемых в текстах научно-популярного стиля, размещенных на сайте www.british-history.com.

Кампусы оксфордского университета представлены различными архитектурными стилями. Три кампуса выполнены в готическом стиле. Элементы, характерные для архитектурного стиля, можно увидеть в колледже святой Катарины (St Catherine's College), колледже святой Хильд (St Hilda's College), колледже святой Анны (St. Anne's college).

Здания кампусов были построены в период с 18 по 19 вв.

Готический стиль получил широкое распространение в европейской архитектуре. Несмотря на долгую историю развития данного архитектурного стиля, элементы, присущие данному стилю можно встретить и в современных строениях.

В исследовании было проанализировано одиннадцать текстов суммарным объемом 28 страниц и 15663 слова, из которых на термины приходится 6503, что составляет 42 % от общего количества слов в тексте. Такая насыщенность терминами требует четкого понимания их смысловой нагрузки, а также выявления их происхождения, практики применения, а также анализа структуры данных терминов.

Из предложенного выше описания видно, что архитектурный стиль обременен большим количеством элементов, и, следовательно, соответствующими терминологическими единицами, используемыми для их описания.

На рис. 1 представлена диаграмма, на которой показано происхождение терминов в исследованных текстах в процентном отношении к общему количеству терминов в текстах. В изученных текстах встречаются термины французского, английского и португальского происхождения.



Рис. 1. Происхождение терминов

Из рис. 1 видно, что большинство терминов (50 %) имеют французское происхождение. Например, *Façade* – ‘front part or exterior of a building’ – фасад. Меньше использовались термины английского (25 %) и португальского (25 %) языков. Таким образом, можно говорить о том, что французские по происхождению термины во многом определили английскую терминологию в описании архитектуры модерн.

На рис. 2 показана диаграмма распределения терминов по составу. В английской терминологии архитектурных терминов, описывающих стиль модерн, однословные термины встречаются наравне с двухсловными (50 %). Данный факт говорит о том, что архитектуру стиля модерн можно описать как однословными терминами, так и двухсловными. Это может быть связано и с практикой применения английского языка в данной области знаний. Можно также предположить, что в научно-популярном стиле текстов легче воспринимаются однословные и двухсловные термины, чем термины, содержащие три или четыре слова. Поэтому частота использования однословных и двухсловных терминов в подобной литературе гораздо выше.

Многозначность терминов также играет большую роль в текстах научно-популярного стиля по архитектуре модерн. На рис. 3 представлена диаграмма использования многозначных терминов в изученных текстах. Термины одним-двумя значениями используются гораздо чаще (75 %), чем термины с большим количеством значений. Три или четыре значений терминов в научно-популярных текстах по архитектуре стиля модерн встречаются намного реже (25 %).

Состав

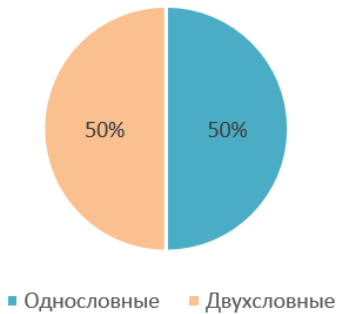


Рис. 2. Состав терминов

Количество значений терминов

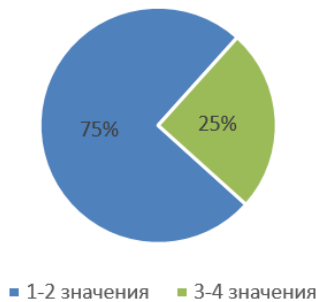


Рис. 3. Количество значений терминов

Таким образом, в результате анализа текстов по архитектуре готического стиля кампусов Оксфордского университета были установлены основные характеристики архитектурных терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета:

1. Большинство терминов имеют французское происхождение (50 %).
2. Все термины однословные или двухсловные (50 %).
3. Для большей части терминов (75 %) характерно наличие 1–2 значений и только для 25 % – три или четыре значения.

Литература

1. Гришук, О. Готический стиль в архитектуре [Электронный ресурс] / О. Гришук // Фасад Эксперт. – Режим доступа: <https://fasad-exp.ru/dizayn-i-dekor/goticheskiy-stil-v-arkhitecture.html>. – Дата доступа: 03.03.2023.

УДК 811.111:624

Принципы отбора учебного материала для строительных специальностей в контексте формирования эколого-коммуникативной компетенции средствами дисциплины «Английский язык»

Янушкевич Л. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье анализируется учебное пособие «Английский язык. Профессиональное общение. Гражданское строительство = English for Specific Purposes. Civil Engineering» для студентов строительных специальностей (авторы Н. П. Мартысюк, Л. М. Янушкевич) как средство формирования эколого-коммуникативной компетенции у студентов строительных специальностей.

В современном мире экологическое образование признано важнейшим направлением в сфере профессионального образования. В связи с этим формирование эколого-коммуникативной компетенции специалистов инженерно-технического профиля, способных, как указывают В. Попов и В. Томаков [1], «реализовать приоритеты безопасности и ориентироваться в своей профессиональной деятельности на принятие правильных технических и организационных решений», является неотъемлемой частью профессиональной подготовки.

Для формирования эколого-коммуникативной компетенции студентов технического университета средствами английского языка необходимо создать психолого-педагогические условия, которые бы принимали во внимание особенности инженерного мышления: учебный материал должен обладать точностью, конкретностью и логичностью изложения, а его подача – способствовать целостности его восприятия [2].

Разработанное Н. П. Мартысюк и Л. М. Янушкевич учебное пособие¹ [3] по английскому языку для студентов строительных специальностей в полной мере учитывает эти требования.

Это учебное пособие включает восемь тематических разделов, которые условно можно объединить в 2 блока – Вводный курс («В университете», «Что такое инженерное дело?», «Выбор профессии инженера-строителя»), знакомящий обучающихся с учебой в техническом университете и профессией инженера-строителя, и Основной курс («Простейшие механизмы», «Материалы и их свойства», «Элементы здания», «Методы строительства», «Принципы устойчивости в строительстве»), охватывающий различные базовые аспекты профессиональной строительной деятельности. Модульная структура Основного курса предоставляет определенную гибкость в прохождении материала: преподаватель может выбрать необходимые для изучения тематические разделы и последовательность их прохождения. В основу каждого раздела положены оригинальные частично адаптированные тексты, затрагивающие различные аспекты строительства, а также экологические риски строительной промышленности.

Все тематические разделы имеют общую структуру, включающую:

1) материал для снятия трудностей понимания – словарь к учебному тексту с транскрипцией, переводом тематической лексики и пояснением незнакомой профессиональной терминологии, предтекстовые фонетические и лексические упражнения;

2) учебный текст/тексты;

3) упражнения к учебному тексту – комплекс послетекстовых заданий, предназначенных для обучения и контроля понимания текста, изучения языковых особенностей и тематического содержания текста. Эти задания включают лексико-грамматические и речевые упражнения. Последние нацелены на стимулирование творческого подхода студентов к подготовке к занятиям по английскому языку, установление межпредметных связей со специальными техническими дисциплинами, развитие умений самостоятельного поиска информации в различных источниках, формирование навыков создания электронных презентаций и навыков публичного выступления на английском языке по профессиональной тематике.

Учебное пособие также включает задания для парной работы, дополнительные тексты для чтения по каждому тематическому разделу и справочник наиболее часто вызывающих трудности грамматических

¹ К моменту проведения конференции учебное пособие было допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования специальностей строительного профиля и находилось в печати издательства Республиканского института высшей школы.

явлений с упражнениям. Грамматические упражнения призваны предвосхищать лексико-грамматические и синтаксические трудности учебных текстов.

Как показала успешная апробация учебного пособия на практических занятиях со студентами БНТУ, такая организация подачи учебного материала способствует формированию эколого-коммуникативной компетентности в различных профессионально ориентированных видах речевой деятельности.

Литература

1. Попов, В. Непрерывное экологическое образование / В. Попов, В. Томаков // Высшее образование в России. – 2005. – № 7. – С. 14–17.
2. Наумова, И. М. Становление экологической компетентности будущих инженеров в образовательном пространстве диалога культур: дисс. ... канд. пед. наук / И. М. Наумова. – М., 2006. – 233 с.
3. Мартысюк, Н. П. Английский язык. Профессиональное общение. Гражданское строительство = English for Specific Purposes. Civil Engineering: учебное пособие / Н. П. Мартысюк, Л. М. Янушкевич. – Минск: РИВШ, 2023. – 200 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОХРАНА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н. Использование горючих отходов – основное ресурсосберегающее направление для улучшения экономических показателей	4
Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н. Исследование брикетирования биомассы и городских отходов с использованием установки ГБУМТ-1	9
Хрусталеv Б. М., Пехота А. Н., Вострова Р. Н. Осадок сточных вод городских очистных сооружений – ресурсная сокровищница для предприятий ЖКХ	14
Чернюк Н. В., Пехота А. Н. Органические теплоизоляционные материалы в современном строительстве	19
Орзиматов Ж. Т., Абдулхаев З. Э., Маматисаев Г. И., Пехота А. Н. Солнечный воздухонагреватель с высокоэффективным матричным абсорбером	23
Крутилин А. Б. Некоторые результаты исследований сорбционной влажности материалов применительно к теории расчета влажностного режима ограждающих конструкций	30
Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А. Рекуперация от холодильного оборудования с целью получения теплоты для нужд отопления и ГВС	32
Сермяжко В. Л., Станецкая Ю. А. Мониторинг эффективности систем рекуперация от холодильного оборудования	39
Борухова Л. В., Летун Е. А., Сокол Д. Ю. Особенности расчета теплопотерь зданий в программе Autodesk Revit	46
Борухова Л. В., Летун Е. А. Анализ возможностей применения топологической оптимизации в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции	52
Сизов В. Д., Кононов Д. А., Белениник О. И. Теплопередача через ограждающие конструкции тоннельных сооружений метрополитенов	57

Сизов В. Д., Кононов Д. А. Аналитические исследования процесса охлаждения и разогрева цементобетонных покрытий и теплотехническая оценка применения разогретых заполнителей при их укладке	64
Сизов В. Д., Белениник О. И., Кононов Д. А. Тепловые режимы тоннелей и станций метрополитенов мелкого заложения в условиях умеренно континентального климата.....	70
Бракович И. С. Экологические проблемы добычи сланцевого газа.....	75
Ливанский Д. Г. Влияние рекламных баннеров на температурный режим ледовых площадок	78
Мацукевич К. А., Гриб С. А., Кузнецова А. В. Инновации в трубопроводах систем отопления	80
Нияковский А. М., Ларина Д. В., Батенкова А. В. Выбор источника теплоснабжения и вида используемого топлива в контексте декарбонизации	83
Зафатаев В. А., Батенкова А. В., Коршун А. А., Милочкина А. Д. Определение температурно-влажностного состояния наружной стены, подвергнутой тепловой реабилитации, при изменениях температуры наружного воздуха	89
Королева Т. И., Пивоварова С. И., Могиленко В. А. Инновационные энергосберегающие решения в системах отопления жилых зданий.....	96
Струцкий Н. В., Романюк В. Н. Анализ изменения целостности изоляции подземных газопроводов в процессе эксплуатации по данным приборного обследования	102
Струцкий Н. В., Васильев В. Ю., Морозов С. И. Принципы построения, возможности и опыт апробации программного модуля «Гидравлический (поверочный) расчет газопроводов».....	108
Toshtemirov M. E., Boboev S. M., Khalboev U. Analysis of modern ventilation systems to ensure the microclimate in livestock and poultry buildings	113
Boboev S. M., Xolboev U., Ismoilov A. I. Analysis of organic solvents released during painting and drying of automobiles and household products.....	118

Титов А. С., Романюк В. Н. Повышение надежности газораспределительных систем	124
Бубырь Т. В. Оценка эффективности применения теплонасосных установок для утилизации тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплотрасс	129
Ливанский Д. Г., Шабан З. А. Экспериментальное определение конвективной составляющей теплового потока к поверхности льда на открытом тренировочном катке	135
Данатаров С., Атаева Г. Э. Способы ресурсосбережения в зданиях посредством цифровой системы	138
Атаева Г. Э., Данатаров С. Важность поддержания микроклимата в содержании ахалтекинских коней, являющихся «Небесными скакунами»	143
Аразклычев А. Т., Джумадурдыев Т. М. Использование молочной сыворотки для удаления накипи теплообменников	148
Лешкевич В. В., Кудин О. Д., Борташевич А. А. Исследование градуировочных характеристик крыльчатых анемометров	153

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Ануфриев В. Н., Волкова Г. А., Алферчик В. В., Семикашева Э. Э. Проектирование, устройство и эксплуатация песчано-гравийных фильтров очистных сооружений сточных вод	160
Вострова Р. Н., Пехота А. Н., Коваленко В. Н. Брикетирование осадков сточных вод – направление создания альтернативного топлива	164
Грузинова В. Л., Мельников А. А. Применение программы КОМПАС–3D для оптимизации создания чертежей на примере магистральных трубопроводов	170
Мырадова С. И., Мыратлыев Б. К. Проект водопроводной сети	174
Шарипов Х., Эминов М. А. Эжекторная землесосная установка с вертикальным насосным агрегатом	180

Голод Ю. В., Юшкис А. К. Системы оборотного и повторно-последовательного водоснабжения на промышленных предприятиях	184
Денищик А. И., Голод Ю. В. Условия формирования поверхностных сточных вод на территории промышленных зон населенных пунктов	188
Дубенок С. А., Зорин Е. Анализ источников экологической информации и информационных ресурсов, используемых для принятия управленческих решений в области использования и охраны вод	193
Дубовик О. С., Иванович В. В., Маркевич Р. М. Факторы, влияющие на миграцию соединений фосфора в иловой смеси при биологической очистке сточных вод	201
Пропольский Д. Э., Павич Е. С., Мякина М. А. Влияние условий модификации на изменение параметров полифункциональных фильтрующих материалов	207
Рымовская М. В., Гребенчикова И. А. Особенности учета и прогнозирования образования биогаза в технологии анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным активным илом	211
Тарасевич Е. К., Дубенок С. А. Сравнительный анализ характеристик трубопроводов из различных материалов, используемых для строительства и реконструкции систем водоснабжения города Минска	216
Иванов С. А., Аврутин О. А. Эффективность применения ультрафильтрации при очистке городских сточных вод	221
Рашкевич Е. И. Водоносные слои и подземная вода как факторы внутрипластовой обработки в скважинах	229
Баллыева Н. Ш. Подземные воды как полезное ископаемое	236
Левкевич В. Е., Юшкевич Н. В. Конструктивные особенности поверхностных водохранилищных водозаборов Беларуси и факторы, затрудняющие их эксплуатацию	242
Левкевич В. Е., Артемчик А. А., Мильман В. А., Решетник С. В. Экспресс-оценка воздействия водохранилищ Беларуси	

на прилегающие территории с помощью беспилотных летательных аппаратов	253
---	-----

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Линкевич Н. Н. Противопожарные мероприятия при производстве работ на торфяниках	260
Богославчик П. М., Евдокимов В. А. Применение резервных водосбросов для пропуска паводковых расходов	265
Ялышев А. И, Гарибин П. А. Перспективы применения наплавных конструкций с использованием композитных материалов при реновации внутренних водных путей Российской Федерации	269
Богославчик П. М. Оценка методов расчета устойчивости откосов грунтовых плотин	276
Келова М. Г. Туркменское озеро – грандиозный гидротехнический проект	281
Григорьев Д. В., Гарибин П. А. Проведение эксперимента и анализ разлета осколков горной массы при проведении подледных буровзрывных работ	284
Курчевский С. М. Мониторинг эколого-мелиоративного состояния длительно используемых мелиорированных земель.....	290
Курчевский С. М., Симака А. А. Цементирующие ремонтные материалы при реконструкции сооружений подверженные особым нагрузкам	297
Качанов И. В., Ленкевич С. А. Теоретические исследования параметров процесса скоростного выдавливания заготовок изделий медицинского назначения	300
Качанов И. В., Ключников В. А., Ленкевич С. А., Шаталов И. М., Щербак М. К., Власов В. В. Экспериментальные исследования 3D – моделей составов судов, эксплуатируемых в режимах толкания и буксировки.....	306

Михневич Э. И., Ли Цзэмин. Оценка степени оптимизации параметров мелиоративных каналов(на примере магистральных каналов ирригационных систем Китая)	312
Колосов М. А., Моргунов К. П., Чинаков П. П. Разрушение грунтовых сооружений при насыщении их водой	318
Мыратбердиев Я., Джумадурдыев Т. Туркменское озеро «Алтын Асыр» в Туркменистане – грандиозный гидротехнический проект	324
Стриганова М. Ю., Дмитриченко А. С., Шаталов И. М. Щербакowa М. К. О гидродинамической аварии при прорыве плотины в условиях высокогорья	330
Хвилько К. В., Качанов И. В., Шаталов И. М., Кособуцкий А. А. О модернизации поворотного участка пульпопровода землесосного снаряда	336
Ивашечкин В. В., Чиникайло А. В. Расчет конструктивных размеров, текущий и капитальный ремонт ремонтпригодной водозаборной скважины с последовательным соединением фильтров.....	342
Хусанходжаев У. И., Тошходжаев А. У., Галиева Д. Н., Холиков М. Б. Результаты гидравлических исследований водосбросного сооружения Малой ГЭС № 2 на канале Бозсу	347
Файзиев Х., Холиков М. Б. Совершенствование конструкции водосбросных устройств шламонакопителей фосфогипса.....	352
Чулпонов О. Г., Худайкулов С. И., Хакимов Ш. Моделирование турбулентного течения смеси вязких жидкостей	356
Тегелеков Я. К., Гандымов М. Ы., Рахманбердыев Ш. Б. Технологические особенности применения комплексных системкапельного орошения при создании лесопарковых зон Туркменистана с целью охраны окружающей средыи воздушного бассейна.....	361
Линкевич Н. Н. Исследование теплофизических характеристик супесчаной почвы.....	374

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А. Автономный солнечный опреснитель воды	379
Есман А. К., Зыков Г. Л., Потачиц В. А. Тонкопленочный преобразователь солнечной энергии	382
Савчук Г. К., Летко А. К., Юркевич Н. П. Условия получения сверхпроводящих керамик на основе ртути	385
Юркевич Н. П., Савчук Г. К., Ахмедов А. П., Худойберганов С. Б., Махмудова Д. Х. Проектирование и разработка электронного учебно-методического комплекса «Физика атомов и молекул. Радиоактивность»	388
Бибик А. И., Попко С. В., Петренко С. И., Кондаков В. Д. Практическое изучение процесса переработки бытовых и промышленных отходов студентами инженерных специальностей	393
Борисов В. А. Изучение влияния квантовых поправок к проводимости в области низких температур для неупорядоченных материалов	396
Павлюченко В. В., Дорошевич Е. С. Контроль объектов в импульсных магнитных полях	400
Дорошевич Е. С., Павлюченко В. В. Расчеты распределений импульсных магнитных полей	404
Kolesnikov I. K., Akhmedov A. P., Nakimov S. H. Electric drive efficiency criterion for specific energy consumption	408
Щербицкий Н. Э. Английская архитектурная терминология в описании стиля барокко кампусов Оксфордского университета	411
Щербицкий Н. Э. Английская архитектурная терминология в описании викторианского стиля кампусов Оксфордского университета	415
Щербицкий Н. Э. Английская архитектурная терминология в описании стиля модерн кампусов Оксфордского университета	418

Бердиев У. Т., Хасанов Ф. Ф., Сулаймонов У. Б., Бердиев У. Н. Изучение технология получения порошковых композиционных материалов и исследование их характеристики	420
Фаттахов М. А., Базаров М., Мамаева Д. А. Исследование степени электроактивации водных растворов на разматываемость шелковичных коконов	431
Юсупов Д. Т., Авазов Б. К. Значение силовых трансформаторов при подаче электрической энергии в железнодорожную электрическую сеть и автоматические электрические устройства	437
Ахмедов А. П., Худойбергенов С. Б., Юркевич Н. П. Определения потенциала и способ получения электроэнергии от ветра в ветряных регионах Республики Узбекистан	442
Валиханов Н. К. Рентгенофотоэлектронный спектроскопический анализ составов слоев на основе $Cu_2ZnSnS(Se)_4$	447
Валиханов Н. К. Отражение и преломление электромагнитной волны на двухслойной магнитной структуре	450
Сайдалиева Ш. С. Инновационные технологии при проведении лабораторных занятий по электротехнике	453
Дустмуродов Э. Э., Махмудова Д. Х., Юркевич Н. П. Образование частиц при релятивистском столкновении тяжелых ядер на LHC с помощью GEANT4	458
Атдаева А. Водохранилища – специфический объект для отдыха	462
Мансурова М. Ю. Совершенствование методики решения задач в преподавании физики в техническом вузе	468
Yusupov D. T., Kutbidinov O. M., Akhmedov A. P., Khudayberganov S. B. Development of a model of the effect of mechanical impurities on transformer oil	474
Кириленко А. И., Листопад А. И. Движение тела в вязкой среде при учете присоединенной массы	478

ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Муха О. Ю. Текстологические и лингвостилистические принципы отбора учебных материалов в контексте формирования эколого-коммуникативной компетенции студентов при обучении английскому языку.....	488
Крюкова Л. А. Лингвистические принципы отбора материала для студентов архитектурно-строительных специальностей.....	490
Дробышева А. П. Игровые технологии в обучении иностранному языку студентов неязыкового вуза	492
Проскуракова М. П. Искусственный интеллект в процессе обучения иностранному языку в техническом вузе.....	497
Сугакова Е. П. Экологическая лексика в терминологическом словаре инженерных специальностей	500
Сугакова Е. П. Моделирование речевых ситуаций общения на занятиях по английскому языку в техническом вузе	502
Фомичева Т. П. Использование «зеленых» мобильных приложений в образовательном процессе для формирования экологическиориентированного образа жизни.....	505
Щербицкий Н. Э. Английская архитектурная терминология в описании стиля неоклассицизм кампусов Оксфордского университета.....	507
Щербицкий Н. Э. Английская архитектурная терминология в описании готического стиля кампусов Оксфордского университета.....	511
Янушкевич Л. М. Принципы отбора учебного материала для строительных специальностей в контексте формирования эколого-коммуникативной компетенции средствами дисциплины «Английский язык»	514