



ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

ГОМЕЛЬ 2026

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 19 марта 2026 г.)

*Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Е. Ф. КУДИНОЙ*

Гомель 2026

УДК 628:543.3
ББК 38.761
В62

Редакционная коллегия:
Е. Ф. Кудина (отв. редактор), **А. А. Власова** (зам. отв. редактора)

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *В. Н. Шаповалов* (ИММС НАН Беларуси)
д-р техн. наук, профессор *А. С. Неверов* (БелГУТ)

Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Меж-В62 дунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 19 марта 2026 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2026. – 174 с.

ISBN 978-985-891-266-6

Представлены материалы докладов по развитию систем водоснабжения и водоотведения, процессам водоподготовки с использованием инновационных технологий по обезжелезиванию и обеззараживанию питьевой воды. Рассматриваются вопросы рационального использования водных ресурсов, очистки сточных вод и цифровизации водоканалов, а также экологические аспекты состояния окружающей среды и вопросы управления водными ресурсами.

Для преподавателей, студентов, магистрантов.

УДК 628:543.3
ББК 38.761

ISBN 978-985-891-266-6

Оформление. БелГУТ, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

<i>Коваленко В. Н., Малофей В. А.</i> Цифровое моделирование аварийных ситуаций в системах теплоснабжения	5
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Грибанов В. Н.</i> Обеспечение твердым топливом ЖКХ за счет применения отходов очистных сооружений	8
<i>Портной Е. Е.</i> Использование родников для развития туризма в Восточном Полесье	16
<i>Приходько И. В., Кудина Е. Ф., Турсунов Н. К., Курицын П. А., Вэнь Цзюньян, Чэнь Ли.</i> Влияние виброакустических факторов электромеханического оборудования на работу подвижного состава	20
<i>Роденко А. В., Роденко А. А.</i> Данные прежде проекта: обязательный мониторинг и обследование КОС как залог успешной модернизации	23
<i>Савич В. В., Тарайкович А. М., Вербицкий Д. Ю., Голодок Р. П., Пилиневич Л. П.</i> Питьевая вода в полевых условиях. Как утолить жажду без опасных последствий?	26
<i>Шаповалов В. М., Винидиктова Н. С.</i> Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии и композиты	43

Секция 1

Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения

<i>Ануфриев В. Н., Волкова Г. А.</i> Характеристика процессов заиления и занесения водохранилища	47
<i>Вострова Р. Н., Лазечная К. Д., Малофей В. А.</i> Определение экономической эффективности использования осадков сточных вод в качестве компонента для изготовления почвоулучшающих композиций	53
<i>Вострова Р. Н., Мазурова Б. В.</i> Роль гидробиологии в очистке сточных вод	57
<i>Дроздова А. А.</i> Особенности проектирования систем водоснабжения жилых зданий	61
<i>Жалабкевич А. С.</i> Оценка целесообразного применения метантантового сбраживания в системах обработки	64
<i>Курлович П. Г., Зимич А. М.</i> Система водоснабжения в малых населенных пунктах ..	67
<i>Карпенко А. Ф.</i> Об объемах использования воды на молокоперерабатывающих предприятиях	71
<i>Клименкова М. В.</i> Использование загрузки для биологической очистки в аэротенках	74
<i>Корицунова В. Ю.</i> Реконструкция водопроводных сетей с использованием бестраншейных технологий	77
<i>Лагун Д. И., Вострова Р. Н., Пехота А. Н.</i> Комплексная утилизация осадков сточных вод с получением топливных брикетов: анализ современных подходов и перспективные направления	81
<i>Лапаник С. С.</i> Интенсификация первичного отстаивания	84
<i>Муравьёва Ю. В.</i> Разработка рекомендаций по применению ВМ-технологий при проектировании наружных сетей канализации	86
<i>Мушинская А. Д.</i> Организация поверхностного стока с урбанизированных территорий Брестской области (бассейн реки Западный Буг)	91

<i>Нестеренко Е. Ю.</i> Оптимизация технологических процессов обработки осадков сточных вод при реконструкции очистных сооружений.....	94
<i>Новикова О. К., Папков А. В.</i> Сравнительный анализ и технологическая оценка систем водоотведения малых населенных пунктов.....	97
<i>Ратникова А. М., Саянко И. А.</i> Оценка долговечности водопроводных сетей....	100
<i>Саянко И. А.</i> Использование энергетического потенциала осадка сточных вод.....	103
<i>Шайымов С. С.</i> Информационно-коммуникационные технологии в инженерных системах.....	106
<i>Юзенкова М. Д.</i> Очистка сточных вод с использованием мембранных биореакторов.....	108

Секция 2

Химия воды и прикладная экология

<i>Белоусова Г. Н.</i> Инновационные методы и материалы для восстановления трубопроводов и колодцев.....	112
<i>Белоусова Г. Н.</i> Прокладка городских трубопроводов методом горизонтального направленного бурения.....	117
<i>Борджаков Р. О., Бердыева Э. А.</i> Ресурсосберегающая технология комплексного освоения гидроминерального сырья Каспийского региона с получением высококислотного сульфата калия.....	121
<i>Волчек А. А., Усс Н. В.</i> Учет влияния ледовых явлений при проектировании и реконструкции водозаборов с учетом современных климатических изменений.....	124
<i>Бухаров С. Н., Кудина Е. Ф., Тулейко А. С.</i> Разработка экологически безопасного композиционного модификатора трения для снижения шума вагонных замедлителей.....	127
<i>Гриб А. А.</i> Нитчатое вспухание активного ила и его влияние на очистку сточных вод в сооружениях биологической очистки.....	132
<i>Дроздова Н. И., Ковалёва О. В.</i> Гидрохимические показатели качества питьевой воды в населенном пункте в районе размещения полигона твердых коммунальных отходов г. Гомеля.....	134
<i>Дударева А. В.</i> Содержание диоксида серы в атмосферном воздухе: источники, мониторинг и экологические последствия.....	137
<i>Карпенко А. Ф.</i> Динамика использования воды в Беларуси.....	142
<i>Кудина Е. Ф.</i> Влияние состава воды на процессы нефтедобычи.....	146
<i>Кудина Е. Ф., Ефимчик К. В.</i> Разработка экологически безопасных композиционных материалов на основе полиэтилена высокого давления.....	149
<i>Макеева Е. Н., Муравьева М. В.</i> Сезонная динамика показателей качества поверхностных вод на территории Гомельской области.....	153
<i>Мешик О. П., Борушко М. В., Хлывнюк А. Р., Протасевич А. С.</i> Прогнозные оценки увлажненности территории Белорусского Полесья.....	156
<i>Неверов А. С., Доценко Е. И.</i> Метод оценки водопоглощения и растворимости веществ в воде.....	161
<i>Осипенко Г. Л.</i> Анализ зависимости загрязненности водоема от степени урбанизации.....	165
<i>Пропольский Д. Э.</i> Влияние условий подачи азотной кислоты на эффективность выщелачивания соединений железа из осадков станций обезжелезивания.....	168
<i>Шибeka Л. А., Чигирь А. Ю.</i> Влияние сброса сточных вод предприятий молочной промышленности на качество водных ресурсов и пути минимизации загрязнений.....	171

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 697.34:004.94

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В. Н. КОВАЛЕНКО^{1,2}, В. А. МАЛОФЕЙ^{3,4}

*¹ Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь*

² ООО «ПроГИС», г. Москва, Российская Федерация, kovalbyu@gmail.com

³ Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

⁴ ООО «ПроГИС», г. Минск, Республика Беларусь, malofejvika315@gmail.com

Системы теплоснабжения относятся к критически важной инфраструктуре, от устойчивости функционирования которой зависит безопасность и качество жизни населения. Рост износа тепловых сетей, увеличение протяжённости коммуникаций и усложнение режимов эксплуатации приводят к повышению вероятности возникновения инцидентов и аварийных ситуаций. В современных условиях особую значимость приобретает применение цифровых технологий и имитационного моделирования, позволяющих прогнозировать развитие нештатных режимов, оценивать последствия аварий и разрабатывать мероприятия по их локализации.

В соответствии с требованиями приказа Минэнерго РФ № 2234 и постановления Правительства РФ № 154 теплоснабжающие организации обязаны обеспечивать готовность к отопительному периоду (далее – ОЗП), а также разрабатывать и актуализировать планы ликвидации аварийных ситуаций (далее – ПЛАС).

Ключевым элементом подтверждения готовности является обоснованный расчёт последствий возможных аварий, включая определение зон отключения, оценку устойчивости гидравлических режимов и прогноз снижения температурных параметров в зданиях. Цифровое имитационное моделирование позволяет выполнить данные требования в формализованном и проверяемом виде, обеспечивая:

- верификацию качества электронной схемы теплоснабжения;
- расчёт послеаварийных гидравлических режимов;
- подготовку материалов для комиссии по готовности к ОЗП;
- формирование доказательной базы для Ростехнадзора.

Таким образом, цель моделирования аварийных ситуаций заключается в обеспечении надлежащего уровня подготовки к возможным нарушениям теплоснабжения посредством прогнозирования масштабов и последствий отключений, определения зон и перечня затронутых потребителей, оценки величины тепловых нагрузок и социально значимых показателей, а также формирования исходных данных для разработки и реализации мероприятий по локализации и ликвидации аварий в соответствии с требованиями действующего законодательства [1].

Цифровое моделирование аварийной ситуации выполняется в пять этапов.

ШАГ 1. Верификация электронной модели теплоснабжения.

На первом этапе проводится проверка корректности цифровой гидравлической модели системы теплоснабжения:

- фактического расположения объекта моделирования;
- топологии сети и её соответствия требованиям программного обеспечения;
- требуемых атрибутивных данных.

Результатом этапа является подтверждение достоверности модели либо формирование перечня замечаний для её доработки и актуализации.

ШАГ 2. Формирование сценария аварийной ситуации на основе ПЛАС.

В цифровой модели формируется легенда аварии, включающая:

- место повреждения и его характеристики;
- тип аварии (разгерметизация, отказ оборудования и др.);
- время возникновения и обнаружения;
- метеорологические условия;
- режим работы системы.

Сценарий моделируется с учётом требований ПЛАС и должен отражать наиболее критичные условия эксплуатации в период ОЗП.

ШАГ 3. Реализация сценария и расчёт послеаварийных режимов.

На основе сформированного сценария выполняется расчёт и определяются:

- возможности организации перезапиток и переключений, места их проведения;
- зоны отключения потребителей тепловой энергии.

Графическим результатом является схема с выделением зоны и области отключения, а также переключаемых сетей (при наличии).

ШАГ 4. Оценка последствий для потребителей.

В соответствии с требованиями ПП РФ № 154 и процедурой подготовки к ОЗП определяется:

- перечень отключённых объектов с указанием адресов и категорий;
- социально значимые объекты (больницы, детсады, пансионаты и т. п.);
- численность населения в зоне отключения;

- расчёт тепловых нагрузок, попавших в зону риска;
- объёмы недоотпущенной тепловой энергии и теплоносителя.

Дополнительно выполняется расчёт снижения температур внутри зданий при заданной температуре наружного воздуха и времени устранения аварии.

Результатом этапа является количественная оценка:

- числа жителей в зоне риска;
- времени достижения критических температур, в том числе остывание теплоносителя, зданий и сооружений;
- степени угрозы для устойчивости системы.

ШАГ 5. Формирование материалов для комиссии по готовности к ОЗП.

По результатам цифрового моделирования формируются разделы ПЛАС, включающие:

- текстовое описание сценария аварии;
- схемы зон отключения;
- таблицы расчётных параметров;
- оценку допустимости последствий;
- этапы локализации и ликвидации аварии;
- предложения по повышению надёжности системы.

Материалы представляются:

- комиссии по готовности к ОЗП;
- специалистам Ростехнадзора;
- инженерно-техническому персоналу;
- публикуются на сайте «<https://veri-veri.ru>» и видны пользователю-заказчику.

Данное цифровое решение позволяет:

- обеспечить выполнение требований приказа Минэнерго № 2234 и ПП РФ № 154;
- формализовать процедуру подготовки ПЛАС;
- повысить обоснованность управленческих решений;
- минимизировать риски при прохождении проверки Ростехнадзора;
- сократить сроки подготовки документов к ОЗП.

Использование электронного моделирования переводит процесс анализа аварий из описательного в расчётно-доказательный формат, соответствующий современным требованиям к эксплуатации объектов теплоснабжения.

Список литературы

1 Коваленко, В. Н. К вопросу детализации цифровых двойников систем жизнеобеспечения / В. Н. Коваленко, А. И. Трипутько, А. Д. Гуринович // Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 31 окт. – 2 нояб. 2024 г. : в 2 ч. / Брест. гос. техн. ун-т, Брест. науч.-техн. парк ; под ред. Н. Н. Шалобыта (гл. ред.), С. Р. Онысько, О. П. Мешник [и др.]. – Брест, 2024. – Ч. 2. – С. 30–38.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ ЖКХ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. Н. ПЕХОТА¹, Р. Н. ВОСТРОВА², В. Н. ГРИБАНОВ³

*¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
rehota.an@bntu.by*

*²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
vostrova@tut.by*

³КПУП «Гомельводоканал», Республика Беларусь

Представлены результаты исследований физических свойств брикетированного топлива на основе древесных отходов и осадков сточных вод с приемлемым экологическим уровнем безопасности. Оригинальный вклад исследований заключается в том, что в случае их успешной реализации будет найдено комплексное решение эффективного использования вторичных возобновляемых материальных ресурсов и улучшения экологической обстановки территорий, прилегающих к городской черте.

Использование вторичных энергетических ресурсов приобретает актуальность в связи со снижением запасов ископаемых видов топлива и созданием неблагоприятных последствий при их сжигании, что приводит к глобальным изменениям климата и загрязнению окружающей среды. Использование древесины совместно с другими возобновляемыми видами топлива позволяет сократить выбросы углекислого газа в атмосферу [1]. Это окончательно не решает проблему изменений климата, но в совокупности с другими действиями может смягчить его катастрофические изменения.

Одной из проблем, требующей незамедлительного принятия решений, является экологически безопасное размещение осадков сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений в окружающей среде. Количество осадков, выделяющихся при очистке на современных очистных сооружениях, составляет от 2 до 10 % от расхода поступающих сточных вод [2].

В основном ОСВ складываются на территории очистных сооружений, что создает неблагоприятную экологическую ситуацию вблизи городской черты.

Одним из направлений комплексной схемы обращения с ОСВ является энергосберегающая технология прессования осадков с получением топливных брикетов, при этом ОСВ могут рассматриваться в качестве вторичного энергетического ресурса, который можно подвергать дальнейшему сжиганию в котельных. Механически обезвоженный осадок содержит 65–80 % воды. После термической сушки теплотворная способность может достигать 9–13 МДж/кг [3].

Переработка 1 тонны ОСВ (в расчете на сухую массу) позволит получить 500 кг условного топлива [4]. Добавление отходов производств, таких как лигнин, позволяет увеличить полноту сгорания, что, в свою очередь, приводит к снижению содержания вредных веществ в отходящих газах. После сжигания остается зола, которая может использоваться при производстве строительных материалов (керамзит, цемент) или в качестве дополнительного наполнителя при производстве асфальтобетона.

Несмотря на значительные капитальные затраты, связанные с созданием установки по производству брикетов с использованием ОСВ, в целом выигрыш будет больше, особенно если учесть экономический и экологический ущерб от складирования ОСВ на иловых картах [4]. Переход на местные виды топлива позволяет также создать рабочие места для обеспечения производства брикетов на очистных сооружениях, в котельных, в которых будут сжигаться брикеты.

Для решения проблем возврата богатых органикой отходов в народнохозяйственный оборот, весьма актуальными являются разработка и определение оптимальных составов, обеспечивающих получение брикетированного многокомпонентного твердого топлива (МТТ) на основе ОСВ и измельченных древесных отходов.

Коллективом ученых Белорусского государственного университета транспорта совместно с филиалом кафедры «Экология и энергоэффективность в техносфере» КПУП «Гомельводоканал» проведена работа по изготовлению твердого брикетированного топлива, а также исследованию его химического состава и теплотехнических характеристик с различными параметрами влажности брикетов на основе состава ОСВ гомельских очистных сооружений.

Определение основных физико-химических показателей составов топлива с целью поиска оптимальных компонентных параметров проводилось с участием аккредитованной лаборатории топлив, масел и кормов «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» Белорусского государственного университета.

Анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистических достоверных результатов проводился в топливной лаборатории Речицкой мини-ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго».

При разработке компонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам.

Возможность использования твердых видов топлива в определенных областях при сжигании в теплотехнических установках определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами.

Основным параметром, позволяющим судить об энергоэффективности различных видов топлива, является теплота его сгорания, которая определя-

ется количеством теплоты, выделяющейся при сгорании, и зависит от элементного состава.

Учитывая определение оптимального компонентного состава топливных брикетов, были разработаны составы четырёх образцов брикетов для определения диапазонов и соотношений химического состава соответствующему оптимальному качеству, пригодному для использования в хозяйственной деятельности КПУП «Гомельводоканал» с возможностью сжигания в котлах имеющейся промышленной котельной: марка 1 – из ОСВ – 50 % и опилок 50 %; марка 2 – из ОСВ – 75 % и опилок 25 %; марка 3 – из ОСВ – 100 %; марка 4 – из ОСВ – 33 % и опилок 67 %.

Основные результаты экспериментальных исследований по маркам МТТ обобщены и в виде информации о предельных значениях содержания углерода, водорода, азота, кислорода и серы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива, согласно протоколам испытаний

Вид топлива	Обозначение	Рабочий состав топлива (по массе), %				
		C	O ₂	H ₂	N ₂	S
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 50 %	Марка 1	40,3	34	2,3–5,3	1,77	0,54–0,6
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 25 %	Марка 2	39,4	24,6	2,3–5,4	2,24	0,61–1,09
МТТ ОСВ без содержания древесных отходов 0 %	Марка 3	40,4	12,7	2,3–5,7	2,38	1,16–1,18
МТТ ОСВ с содержанием древесных отходов 67 %	Марка 4	43,4	31,1	2,5–5,6	1,66	0,54–0,62

Сравнение полученных результатов исследования элементных составов горючей массы многокомпонентного топлива на основе ОСВ с другими видами твердого топлива представлены в таблице 2.

Исследование показателей зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводилось в лабораториях на образцах, а также моделировалось с использованием идентичных методов и методик определения показателей с применением программно-аппаратного комплекса калориметра модели В-08МА-К.

Результаты моделирования и аналитические данные, полученные при обработке зависимости изменения теплоты сгорания от влажности по каждой марке топлива, представлены в графическом виде на рисунках 1–4.

Таблица 2 – Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Рабочий состав топлива (по массе), %							Q, МДж/кг
	C	H ₂	N ₂	O ₂	S	A	W	
МТТ (с угле- водородсодержа- щими отходами)	59–62	4,6–6,5	0,2–0,3	31–36	0,3–0,7	4,5–10	10– 19,9	18–21
МТТ на основе ОСВ марка 1	50–52	2,3–5,1	1,5–2,5	16–20	0,6	21,4–22,7	10,4– 62,7	5,4– 16,3
МТТ на основе ОСВ марка 2	49–53	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,5–1,1	27,9–29,9	10,4– 57,2	6,1– 16,8
МТТ на основе ОСВ 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	5,3– 16,7
МТТ на основе ОСВ марка 4	50–52	2,5–5,1	1,5–2,4	20–22	0,57–0,6	21,0–21,4	10,4– 57,2	5,5– 15,6
Торф	25–60	2,6–6,0	1,1–3,0	15–40	–	6–50	0–95	8,0– 21,0
Древесина	48–52	6–7	0,1–0,6	43–45	–	–	60– 95	12,5

При этом 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.

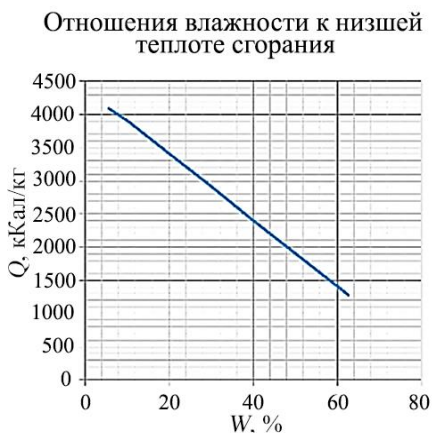


Рисунок 1 – Топливо марки 1

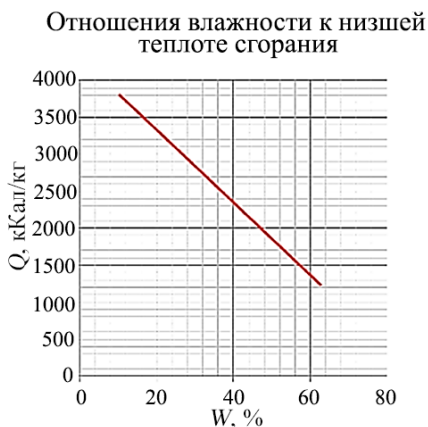


Рисунок 2 – Топливо марки 2

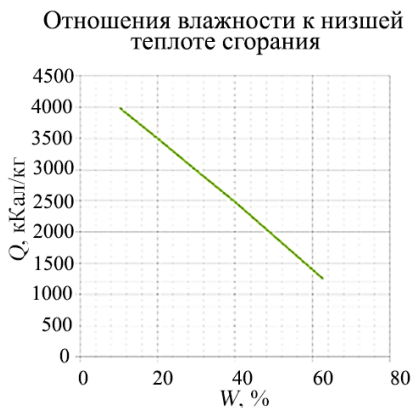


Рисунок 3 – Топливо марки 3



Рисунок 4 – Топливо марки 4

Показатели зависимости изменения теплоты сгорания от влажности многокомпонентного твердого топлива с использованием осадка сточных вод очистных сооружений г. Гомеля представлены в виде графика на рисунке 5.

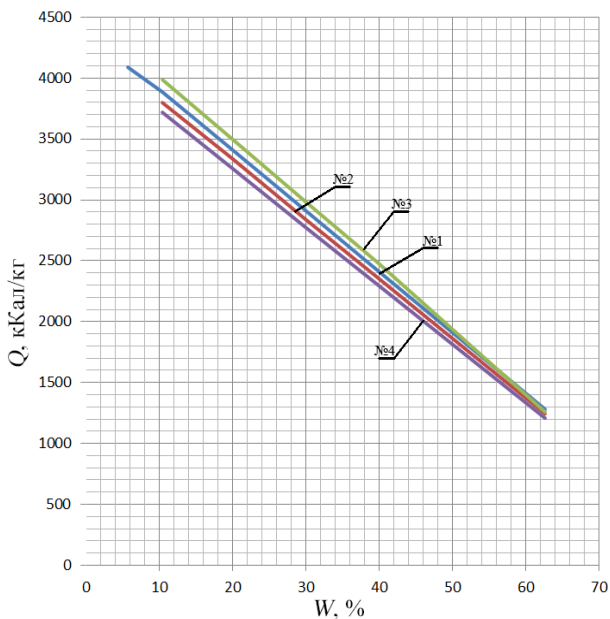


Рисунок 5 – Динамика изменения зависимости Q и W топлива с использованием ОСВ марок 1–4

Исследование содержания серы в составе топлива марки 3 (ОСВ – 100 %), показало значение равное 1,18 %, что в целом является несколько завышенным (около 20 %), однако добавление более чистого по составу компонента в виде древесных опилок снижает содержание серы до показателей 0,58–0,6 %, при допустимом нормативе – не выше 1 %.

Исследование показателей зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводилось в лабораториях на образцах, а также моделировалось с использованием идентичных методов и методик определения показателей с применением программно-аппаратного комплекса калориметра модели В-08МА-К.

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 50×50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 Ккал/кг. При этом наблюдается значительное изменение параметров зольности в сторону снижения, что является достаточно существенным показателем качественных характеристик топлива, т. к. зольность – нежелательный балласт.

Оценка полученных характеристик зольности показывает, что в целом этот параметр топлива на основе ОСВ, взятый с карты № 2 Гомельских очистных сооружений, без добавления древесных опилок (марка 3) находится в пределах среднего значения равного 35 %, что в целом является высоким показателем по сравнению с другими видами топлива, однако при этом теплота сгорания в параметрах влажности значительно выше, чем, например, у древесного топлива или торфа.

Добавление в состав брикетов древесных отходов позволяет снизить показатель зольности и получить многокомпонентное твердое топливо в пределах действующих нормативов, изложенных в СТБ 2202-2011.

Моделирование с использованием идентичных методов и методик определения показателей позволили получить значения теплоты сгорания при различной влажности брикетов, а также произвести расчет энергетической ценности относительно топливного эквивалента. Полученные данные представлены таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение топливного эквивалента с различными составами МГТ ОСВ при различной влажности топлива

Марка брикета	Состав брикета	Влажность W, %	Теплота сгорания Q, Ккал/кг	Калорийный эквивалент
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	10,4	3889	0,556
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	10,4	3800	0,543
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	10,4	3986	0,569
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	10,4	3719	0,531

Окончание таблицы 3

Марка брикета	Состав брикета	Влажность W, %	Теплота сгорания Q, Ккал/кг	Калорийный эквивалент
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	30	2911	0,416
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	30	2842	0,406
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	30	2986	0,427
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	30	2778	0,397
1	(50 % ОСВ – 50 % опилки)	40	2412	0,345
2	(75 % ОСВ – 25 % опилки)	40	2352	0,336
3	(100 % ОСВ – 0 % опилки)	40	2476	0,358
4	(33 % ОСВ – 67 % опилки)	40	2297	0,328

Снижение содержания в топливе серы является необходимостью, так как присутствие серы снижает качество твердого топлива, в первую очередь за счет того, что при сжигании топлива выделяются сернистые газы SO_2 и SO_3 , которые, соединяясь с водой, образуют серную кислоту, которая, в свою очередь, негативно влияет в том числе и на металлические части котла, а попадая в атмосферу, наносит вред окружающей среде. Как показали полученные данные экспериментальных исследований, данная проблема может быть решена добавлением древесных опилок.

Результаты отжига серы и образования золы представлены на рисунках 6, 7. Основные количественные показатели состава топлива, полученные в ходе исследований, приведены в таблице 4.



Рисунок 6 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 4



Рисунок 7 – Вид золы после сжигания топлива с использованием ОСВ марки 3

Таблица 4 – Полученные значения основных элементов топлива

Вид топлива	Зольность топлива $A^r, A^c, \%$	Массовая доля влаги $W^r, W^a, \%$	Массовая доля серы $S^r, S^a, \%$
МТТ ОСВ марка 1	21,4	3,4	0,58
	22,7	5,7	0,57
МТТ ОСВ марка 2	12,8	57,2	0,50
	29,9	6,5	1,09
МТТ ОСВ марка 3	12,9	62,7	1,18
	34,6	5,3	0,46
МТТ ОСВ марка 4	21,0	10,4	0,60
	23,4	8,4	0,62

На основе анализа полученных результатов проведенных исследований с использованием осадка сточных вод очистных сооружений КУП «Гомельводоканал» в качестве твердого топлива можно сделать следующие выводы:

1 Применение марки 1 позволяет получать многокомпонентное твердое топливо, которое отвечает действующим стандартам по основным показателям: зольность не превышает 23 %, массовая доля серы не превышает 0,6 %, низшая теплота сгорания не ниже 17120 КДЖ/кг. Марка 1 может применяться для сжигания с использованием действующих стандартов на лигнин гидролизный и топливный торф. Допускается сжигать гидролизный лигнин с влажностью 60 %, а торф топливный кусковой по СТБ 2202-2011 допускается к применению с влажностью 40 %.

2 Марка 2 и марка 3 также могут быть применены в качестве топлива, но для их применения необходимо разработать технические условия с указанием всех предельно-допустимых нормативов по основным характеристикам получаемого топлива.

3 Марка 4 по полученным результатам практически не отличается от марки 1: зольность и общая сера практически не изменяются (0,57–0,62 %) даже за счет большого содержания древесных опилок в составе топлива, при этом отмечено снижение теплоты сгорания до 14,97 МДж/кг.

Таким образом, сравнительный анализ позволил найти оптимальное соотношение компонентов в составе топлива и определить, что ОСВ Гомельских очистных сооружений обладает значительным энергетическим потенциалом, а проведенные исследования и полученные результаты, в том числе и по определению низшей теплоты сгорания сухого топлива, показывают, что ОСВ обладает значительными показателями энергоэффективности топлива с существенным КПД для альтернативных энергоресурсов, несмотря на повышенную зольность в рабочем составе топлива.

Список литературы

1 Буряк, О. В. Плюсы и минусы использования древесины как топлива в современных условиях / О. В. Буряк // Городское хозяйство. – 2008. – № 10. – С. 5–6.

2 **Вострова, Р. Н.** Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 43–45.

3 **Пехота, А. Н.** Многокомпонентное топливо на основе древесных отходов – одно из направлений решения задач энергосбережения / А. Н. Пехота // Вестник БрГТУ. Наука и транспорт. – 2010. – № 1. – С. 121–122.

4 **Томалла, М.** Сушка осадка сточных вод с помощью ленточных сушильных установок / М. Томалла, П. Прейфер // Сборник докладов 4-го Междунар. конгресса по управлению отходами. – М., 2005. – 250 с.

УДК 383.483

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОДНИКОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА В ВОСТОЧНОМ ПОЛЕСЬЕ

Е. Е. ПОРТНОЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
portnoy.e@ya.by*

Актуальность. Перспективность использования Полесья для туристической деятельности напрямую связана с водными объектами: крупными реками и озерами, т. к. появляется возможность устройства водных туристических маршрутов [1, с. 143]. Однако существуют риски, связанные с судоходностью и ограниченной емкостью водного транспорта (для поддержания инфраструктуры необходим регулярный поток клиентов).

Цель работы. Поиск акупунктурных инструментов для работы с идентичностью места, способствующих развитию туристической отрасли.

Основные результаты. На территории Восточного Полесья в количественном выражении преобладают сельские населенные пункты различного типа (агломерации, деревни, хутора и т. д.), которым необходимо предпринимать различные меры для поддержания численности населения и комфортной среды. Особенно остро стоит вопрос с созданием мест рекреации для сельских жителей, т. к. привычные для городского жителя виды досуга (кафе, кинотеатры, музеи и т. д.) сложноосуществимы в подобной местности в первую очередь с экономической точки зрения. При развитии рекреационных зон в сельской местности необходимо ориентироваться на использование ландшафта и животного мира, окружающих поселение.

С финансовой точки зрения желательно, чтобы вложения повышали благосостояние местных жителей (рост стоимости жилья, увеличение количества клиентов у производителей местной сельскохозяйственной продукции и т. д.), чему способствует развитие туристической деятельности.

Положительно повлияло бы соответствие цели развития в мастер-плане населенного пункта на нахождение поддержки идей развития туристиче-

ской отрасли у местного населения, т. к. без их одобрения и поддержки содержать созданные объекты будет затруднительно. Необходимо провести общественные слушания, где смогут быть услышаны различные мнения. Предварительно необходимо провести анализ качества воды.

Создание точки притяжения для «избалованных» туристов в настоящий момент является нетривиальной задачей, для которой необходимо проявить креативность и творческий подход. Исходными данными могут служить:

- 1) природные источники воды (родники, ключи и т. д.) (рисунок 1);
- 2) мифы, связанные с данным местом (которые при необходимости можно «создать») (рисунок 2);
- 3) религиозные артефакты / мифы (рисунок 3);
- 4) окружающий ландшафт (видовые точки, валуны и т. д.);
- 5) природный мир (ценные природные артефакты (старые деревья и т. д.); либо места постоянного жительства животных и птиц) (рисунок 4);
- 6) местное, не потоковое, производство сельскохозяйственных продуктов;
- 7) мосты, руины и т. д. (рисунок 5).



Рисунок 1 – Родник возле д. Победа
Великонемковского сельского совета
Ветковского района, 2025 г. [2]



Рисунок 2 – Капитальное кольцо
на роднике. Ветковский район,
2025 г. [3]

Благоустройство может быть проведено следующим образом:

- 1) оформлены информационные стенды, вывески, камни с обозначением маршрута и т. д.;
- 2) благоустроены мостики через каналы источника;
- 3) символично оформлены «места силы» для религиозных паломников;
- 4) благоустроен сам родник для обеспечения безопасного набора воды;
- 5) созданы условия для наблюдения за животным миром (птицами, бобрами и т. д.);
- 6) обустроены места рекреации (лавочки, места для кемпингов, автокемпингов, обозначить ближайшие туалеты);

7) использованы родники в качестве арт-объектов (для парка миниатюрных мостов и т. д.).



Рисунок 3 – Религиозные атрибуты на роднике, Ветковский район, 2025 г. [4]



Рисунок 4 – Этапы проведения архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий [2]



Рисунок 5 – Мост возле д. Новосёлки, Ветковский район, 2025 г. [5]

Хорошим примером использования в Республике Беларусь гидрологического памятника природы является «Голубая криница», родник в Славгородском районе Могилевской области, который объединил природные качества воды, легенды, традиции для создания полноценного места для рекреации (рисунок 6).



Рисунок 6 – «Голубая криница», Славгородский район, Могилевская область, 2025 г. [6]

Выводы. Родниковые источники воды на территории Восточного Полесья являются потенциальными точками туристического притяжения, полноценное использование которых ещё только предстоит. Для благоустройства подобных мест необходимо выбирать творческие концепции, которые бы усиливали информационную и рекреационную составляющую.

В зависимости от расположения родники могут быть сгруппированы в пешеходные, велосипедные либо автомобильные туры. Для реализации реконструкции можно проводить конкурсы среди учебных заведений либо использовать дипломные / курсовые проекты в качестве студенческой практики.

Список литературы

1 **Малков, И. Г.** Города и поселки Белорусского Полесья : монография / И. Г. Малков, , И. И. Малков, Н. Н. Власюк [и др.] ; под общ. ред. И. Г. Малкова. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 150 с.

2 Домашние родники Ледянки // Голос Ветковщины. – URL: <https://vetkagolos.by/2026/01/16/domashnie-rodniki-ledyanki/> (дата обращения: 03.02.2026).

3 Неглубские источники // Голос Ветковщины. – URL: <https://vetkagolos.by/2025/10/24/neglyubskie-istochniki/> (дата обращения: 03.02.2026).

4 Самый необычный родник Ветковщины // Голос Ветковщины. – URL: <https://vetkagolos.by/2025/10/04/samyj-neobychnyj-rodnik-vetkovshhiny/> (дата обращения: 03.02.2026).

5 Родник у старинного моста // Голос Ветковщины. – URL: <https://vetkagolos.by/2025/10/17/rodnik-u-starinnogo-mosta/> (дата обращения: 03.02.2026).

6 «Голубая Криница» под Славгородом: живая вода, легенды и место силы // belarus.travel официальный туристический портал Беларуси. – URL: <https://ru.belarus.travel/news/golubaya-krinica> (дата обращения: 03.02.2026).

**ВЛИЯНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА РАБОТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*И. В. ПРИХОДЬКО¹, Е. Ф. КУДИНА^{1,2}, Н. К. ТУРСУНОВ³,
П. А. КУРИЦЫН¹, ВЭНЬ ЦЗЮНЬЯН⁴, ЧЭНЬ ЛИ⁴*

*¹Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
iv_prihodko@mail.ru*

*²Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, г. Гомель*

*³Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан*

*⁴ООО «Компания Вэй Кай Контрольно-измерительные технологии»,
Гуанчжоу, Китайская Народная Республика*

В настоящее время все интенсивнее используется бытовая техника, механизированные орудия труда и транспорт. Современная техника и оборудование оказывает негативное воздействие и может привести к развитию профессиональных заболеваний. К таким видам воздействия относятся виброакустические внешние факторы, более часто встречающиеся под названиями «шум» и «собственная вибрация». Поэтому одним из наиболее актуальных направлений исследования влияния внешних воздействующих факторов является изучение собственной механической вибрации. Данный параметр оказывает вредное воздействие не только на людей, но и на сам объект – источник вибрации и на находящееся в достаточной близости другое, как работающее, так и неработающее, оборудование. Самыми распространенными источниками собственной вибрации, и в том числе на подвижном составе, являются тяговые и вспомогательные электрические машины. Длительное и интенсивное воздействие разбалансированных вращающихся частей с появившимися механическими неисправностями значительно увеличивает степень износа. Повышенные вибрации электрических машин являются одной из главных причин их преждевременного выхода из строя, в первую очередь это касается повреждения подшипников. Повышенная вибрация ведет к быстрому износу электрической изоляции обмоток, полумкам щеточно-коллекторных узлов (при их наличии) и появлению трещин на корпусе или на опорной раме. Недооцененность этого фактора при испытаниях может иметь последствия различного негативного характера [1].

Оценку уровней вибрации производят с целью установления надежности работы оборудования, и в зависимости от требований электрические машины подразделяются на машины с пониженной вибрацией и с жесткими требованиями. От этого зависят условия испытаний и критерии оценки качества работы оборудования. При диагностировании большинства механи-

ческих дефектов величину вибрации рекомендуется измерять в направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и осевом, ось z, x и y соответственно, на горизонтальном участке амплитудно-частотной характеристики в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц [2, 3]. Результаты измерения вибрации двигателя со стороны вала приведены на рисунке 1.

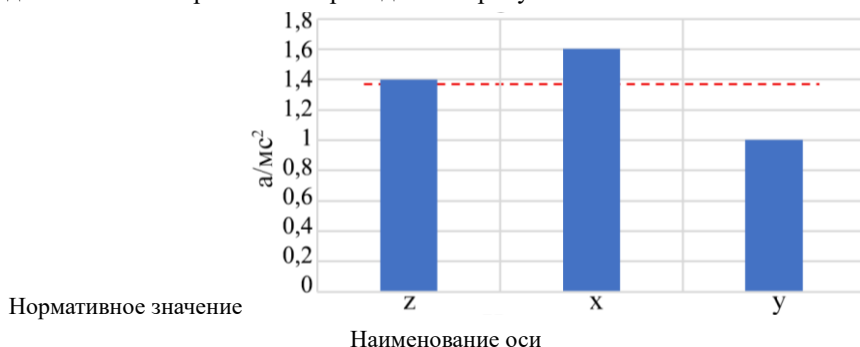


Рисунок 1 – Результаты измерения вибрации двигателя

Анализ данных показывает, что полученные результаты соответствуют нормативным значениям, и данную электрическую машину по показателю «собственная вибрация» можно допускать в эксплуатацию. Однако если учесть, что при эксплуатации в составе компрессорной установки на подвижном составе объект будет относиться к оборудованию группы M25 (внутрикузовного размещения), то он будет подвергаться параметрам внешнего воздействия приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальные значения механических внешних воздействующих факторов

Группа механического исполнения	Синусоидальная вибрация			Удары одиночного действия		
	Диапазон частот, Гц	Максимальная амплитуда ускорения a , $м/с^2$	Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение a , $м/с^2$	Длительность действия ударного ускорения τ , мс	Степень жесткости
M25	0,5–100	10	10б	30	2–20	1

В сравнении с данными таблицы полученное значение виброускорений собственной вибрации на порядок меньше максимального амплитудного значения, однако, частотный диапазон в этом случае рассматривается только до 100 Гц, что соответствует диапазону низких частот и не учитывает данных диапазонов средних и высоких частот. Согласно рисунку 2 гармонические составляющие спектра не ограничиваются пределом в 100 Гц и, по-видимому, могут встречаться и в более высоких диапазонах.

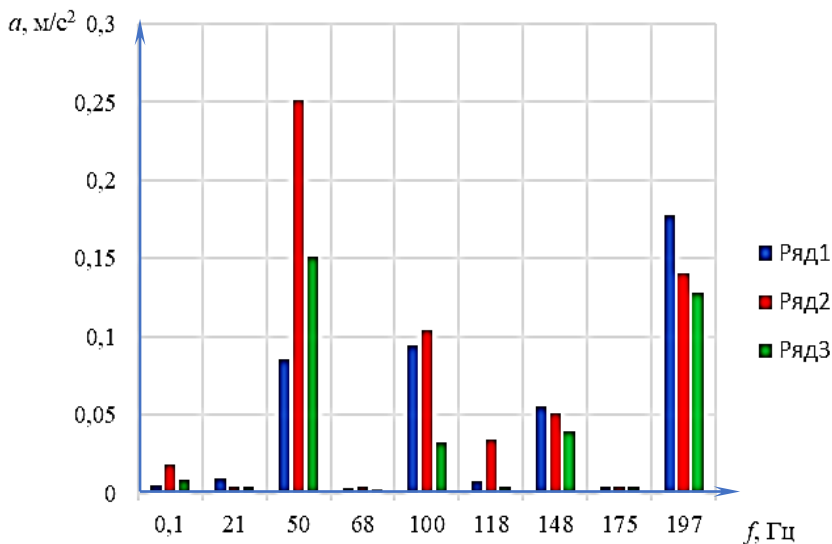


Рисунок 2 – Спектр распределения виброускорений:
 ряд 1 – вертикальное направление;
 ряд 2 – горизонтально-поперечное направление;
 ряд 3 – осевое направление

Существует необходимость дополнительного исследования уровней вибрации электрических машин в диапазонах средних и высоких частот, а главное, необходимо учитывать геометрическое суммирование вибрационных параметров от каждого из источников, что позволит понимать целостную вибрационную картину подвижного состава и оценивать вибрационную нагрузку как на оборудовании в целом, так и на работающем в нем персонале.

Выводы. Вибродиагностические методы контроля состояния электрических машин являются первым этапом в оценке качества производства, так как они позволяют анализировать параметры оборудования непосредственно во время его работы. Электрические машины, имеющие несоответствия по величине вибрационных параметров, не допускаются к эксплуатации и подлежат дальнейшей доработке или наладке. Таким образом, вибродиагностика электрических машин является важным критерием для оценки надежности и безопасности работы оборудования, а также условием оценки экологической обстановки подвижного состава.

Список литературы

1 Приходько, И. В. Влияние вибрации на надежность и безопасность электрических машин / И. В. Приходько // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 4. – С. 74–80.

2 Машины электрические вращающиеся. Ч. 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы жесткости вибраций : ГОСТ ИЕС 60034-14-2014. – Введ. 01.05.2017. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2017. – 16 с.

3 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия : ГОСТ 2582-2013. – Введ. 01.01.2015. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Стандартиформ, 2014. – 52 с.

УДК 551.4 (476.13)

ДАННЫЕ ПРЕЖДЕ ПРОЕКТА: ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ И ОБСЛЕДОВАНИЕ КОС КАК ЗАЛОГ УСПЕШНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

А. В. РОДЕНКО, А. А. РОДЕНКО

ООО «Гефлис», г. Гомель, Республика Беларусь, geflis2013@yandex.by

Актуальность. Модернизация канализационных очистных сооружений (КОС) – сложный инженерный процесс, направленный на повышение эффективности очистки, оптимизацию производительности и обеспечение соответствия ужесточающимся экологическим нормативам.

Значительная доля проектов реконструкции и модернизации КОС сталкивается с серьезными проблемами на этапе эксплуатации: недостижение проектных показателей очистки, перегрузка отдельных технологических узлов, несоответствие производительности фактическим нагрузкам, превышение планируемых энергозатрат и капитальных вложений. Основная причина – недостаточность или недостоверность исходных данных о фактическом состоянии объекта, его технологических и гидравлических возможностях.

Зачастую генпроектировщики и генпроектировщики начинают разработку проекта, опираясь на устаревшие нормативные расчетные показатели или кратковременные замеры, не отражающие реальную, часто сильно изменчивую, картину работы сооружений. Это приводит к принятию ошибочных технологических решений.

Цель работы. Обоснование ключевых причин, по которым комплексный мониторинг и обследование существующих КОС являются критически важным и неотъемлемым этапом, предшествующим любым проектным работам по их изменению.

Основные результаты. Проектная деятельность в области модернизации КОС традиционно начинается с анализа предоставленных заказчиком материалов. В их составе, как правило: устаревшие паспорта сооружений, схемы водопотребления и водоотведения территории (часто не актуализированные), справки о составе абонентов и в лучшем случае данные производственного экологического контроля за последние 1–2 года. Последние обычно представляют ежемесячные или ежеквартальные разовые пробы, не отражающие динамику.

Проектировщик вынужден принимать решения, опираясь на устаревшие паспортные данные, оторванные от реальности значения или результаты кратковременных замеров. В результате он неосознанно принимает на себя колоссальные риски, становясь потенциальным «должником» перед заказчиком, эксплуатирующей организацией и надзорными органами.

Для избегания таких проблем необходимо сместить фокус с немедленных расчетов на предварительный всесторонний сбор и анализ объективных данных о работе действующего объекта.

На основе анализа научной и проектной практики можно выделить следующие ключевые аспекты, на которые нужно обращать внимание до начала разработки проекта.

1 Выявление реальной производительности и фактических нагрузок.

Проектная документация часто устаревает, а данные оперативного журнального учета могут быть неполными. Исследования показывают, что фактические концентрации и расходы сточных вод часто не соответствуют данным в документации [1]. Реальный состав кардинально меняется при наличии сточных вод от пищевых производств, молокозаводов, животноводческих комплексов, медицинских учреждений, гаражных кооперативов, ассенизаторских машин.

Без учета специфических загрязнителей (жиры, поверхностно-активные вещества, аммонийный азот, хлориды, тяжелые металлы) любая технологическая схема обречена на неэффективность. Фактические расходы сточных вод могут отличаться от нормативных на 30–50 % и более из-за изменения демографической ситуации, инфильтрации грунтовых вод, подключения новых абонентов или потерь в сетях. Проектирование под неверный расход ведет к перегрузке или недогрузке сооружений.

Только непрерывный (не менее 2–4 недель) инструментальный мониторинг расходов воды, концентраций взвешенных веществ (ВВ), биохимического потребления кислорода (БПК), химического потребления кислорода (ХПК), азота, фосфора и других загрязняющих веществ позволяет установить истинную картину.

2 Оценка эффективности работы существующего оборудования и энергопотребления. Основными эксплуатационными расходами очистных сооружений являются затраты на электроэнергию [3]. Проект модернизации, не уделяющий внимания энергоэффективности, экономически неосостоятелен.

В рамках технологического аудита выполняется визуальный осмотр узлов с целью выявления признаков износа, утечек и коррозии, а также проводится сопоставление паспортных характеристик с фактическими показателями работы. Паспортные данные и фактические эксплуатационные характеристики оборудования, проработавшего 15–30 лет, почти всегда расходятся.

Для обеспечения точности оценки рекомендуется установка дополнительных приборов учёта на ключевых потребителях энергии, включая насосное оборудование, аэротенки и установки по обезвоживанию осадка. Основные риски, возникающие при отказе от проведения технологического аудита, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Риски при отсутствии технологического аудита КОС

Категория риска	Последствие	Экономический эффект
Недооценка мощности сооружений, не учтены режим, пиковые и залповые сбросы	Перегрузка технологических линий, снижение качества очистки, нарушение нормативов сброса	Дополнительные затраты на реконструкцию и штрафы за несоответствие нормативам
Неправильный выбор технологии	Снижение эффективности процессов, рост эксплуатационных затрат	Повторная модернизация, увеличение капитальных расходов
Отсутствие анализа энергопотребления	Работа оборудования в неэффективных режимах	Рост затрат на электроэнергию, снижение энергоэффективности
Игнорирование состояния узлов (износ, коррозия, утечки)	Повышение аварийности и частоты отказов	Увеличение расходов на ремонт и обслуживание

По результатам технологического аудита формируется заключение о целесообразности приобретения нового оборудования либо продолжения эксплуатации существующего с учётом его технического состояния и эффективности энергопотребления.

Выводы. Модернизация канализационных очистных сооружений, основанная на предположениях и устаревших нормативах, является источником высоких финансовых и экологических рисков. Современный подход требует признания простой истины: качество проекта прямо зависит от качества исходных данных. Внедрение в отраслевую практику обязательного комплексного технологического аудита как начальной неотъемлемой стадии каждого проекта реконструкции КОС позволяет:

- для заказчика – получить объективную картину состояния КОС, обосновать бюджет модернизации, избежать неэффективных инвестиций;
- для проектировщика – снять с себя необоснованные риски, получив исходные данные, которые полностью раскрывают состояние объекта модернизации и соответствуют действительности.

Таким образом, инвестиции в технологический аудит – это не дополнительные расходы, а стратегические вложения в успех всего проекта модернизации, обеспечивающие его технологическую, экономическую и правовую устойчивость.

Список литературы

1 Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М. : АСВ, 2019. – 697 с.

2 Кулаков, А. А. Достижение НДТ при модернизации малых КОС: технологические и конструктивные решения / А. А. Кулаков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 9. – С. 40–45.

3 Сергиенко, А. Е. Эффективный экономический расчёт очистных сооружений для оптимизации затрат и повышения продуктивности очистки воды / А. Е. Сергиенко, С. В. Федоров // Вестник науки. – 2023. – № 5. – С. 837–843.

УДК 613.31;628.16;644.61

ПИТЬЕВАЯ ВОДА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ. КАК УТОЛИТЬ ЖАЖДУ БЕЗ ОПАСНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ?

*В. В. САВИЧ¹, А. М. ТАРАЙКОВИЧ¹, Д. Ю. ВЕРБИЦКИЙ¹,
Р. П. ГОЛОДОК¹, Л. П. ПИЛИНЕВИЧ²*

¹Институт порошковой металлургии им. академика О. В. Романа, г. Минск, Республика Беларусь, savich.vadim@gmail.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Введение. Очистка воды интересовала людей с древних времен. Не могла не интересовать, ведь зависимость здоровья от качества потребляемой воды очевидна. Использовалась в первую очередь визуальная оценка чистоты и прозрачности, а также органолептическая оценка. С этой точки зрения родниковая вода, прошедшая естественную фильтрацию через грунт, имела безусловные преимущества и не требовала дополнительной очистки. Речная и озерная вода не всегда была пригодна для питья без хотя бы ее отстаивания и кипячения. Эффективным приемом стало рытье ямки на расстоянии 50–100 см вблизи берега водоема, реки, ручья. Вода, просачиваясь сквозь толщу земли, фильтровалась естественным образом (рисунок 1).

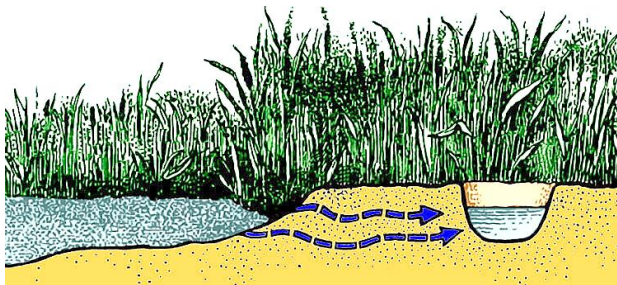


Рисунок 1 – Фильтрация воды через берег в ямку

Следующим шагом стало рытье колодцев – первых гидротехнических сооружений для добыwania и получения подземных вод из первого безнапорного водоносного пласта, вода в котором проходила очистку фильтрацией через грунт на глубине 3–4 м и более.

Оказаться в экстремальных условиях может каждый. Под экстремальными условиями следует понимать обитание в степи, в лесу, в горах или в иных полевых условиях без запасов еды и воды. И если без пищи человек может прожить до трех недель, то без воды, пригодной для питья, – не более трех суток. Как добыть питьевую воду в полевых условиях? Описание доступных методов получения воды – цель данной работы.

Получение воды из подземных источников. К подземным источникам относятся в данном случае природные родники. Вода в них, как правило, чистая, прозрачная, в той или иной степени минерализована.

Родниковая вода располагается глубоко под землей. Как минимум глубина залегания водоносных слоев составляет 10–20 м. Но обычно еще больше. Именно этим и обуславливается чистота родниковой воды. Во-первых, все загрязнения находятся на поверхности земли. На большую глубину, где залегают водоносные слои, они если и попадают, то в небольшом количестве. Во-вторых, родниковая вода проходит естественный процесс фильтрации. Своеобразным «фильтром» служат гравийные и песчаные слои. Пока вода пройдет через них, то очистится от всех тех немногих загрязнений, которые в ней содержатся. И на поверхность она поступает уже абсолютно чистой, обогащенной кислородом и микроэлементами. Главное отличие родника – он имеет естественный выход на поверхность.

Плюсов у родниковой воды много: сбалансированный химико-физический состав; большое содержание кислорода; отсутствие болезнетворных бактерий (они не размножаются в ней, так как ее температура очень низкая – не более 6 °C).

Родниковую воду нет смысла в большинстве случаев кипятить – никаких бактерий здесь нет, а потому она сразу пригодная для питья.

Однако за последние десятилетия ситуация с качеством воды в природных источниках существенно изменилась. Интенсивная хозяйственная деятельность человека, рост промышленного и сельскохозяйственного производства привели к ухудшению экологической обстановки. Это не могло не отразиться на состоянии подземных вод, питающих родники.

Основные факторы, влияющие на качество родниковой воды в наши дни: химическое загрязнение (пестициды, удобрения, промышленные отходы и другие химические вещества проникают в почву и грунтовые воды; микробиологическое загрязнение (рост населения, интенсификация сельского хозяйства повышают риск попадания патогенных микроорганизмов в подземные воды); изменение геологических условий (добыча полезных ископаемых, строительство и т. п. могут нарушать естественные процессы фильтрации воды через горные породы).

В результате этих факторов качество воды в некоторых родниках снижается, его надо повышать.

Бактериологическая очистка воды солнечным светом быстро завоевывает популярность в развивающихся странах [1].

Метод основан на прохождении солнечного света через прозрачные сосуды, которыми могут быть ПЭТ-бутылки разного объема, с которых удалены наклейки и этикетки. Обеззараживание воды солнечным УФ-излучением является довольно легким и эффективным методом, поэтому Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует его для применения в странах третьего мира, там, где есть дефицит качественной, чистой воды, но этот метод вполне применим и в условиях средней полосы. Для дезинфекции необходимо наполнить прозрачные ПЭТ-емкости водой, оставив четверть объема пустым. Поместить их на участок, освещаемый лучистой энергией солнца на промежуток времени от пяти часов в тропиках до шести часов в средних широтах. В этот период времени воздействие прямых лучей нагревает воду до 37–40 °С, что тоже способствует процессу обеззараживания. Перед тем как поместить бутылки с водой на солнце, их необходимо энергично растрясать в течение нескольких минут для качественного растворения кислорода в воде, который будет способствовать процессу обеззараживания (рисунок 2).

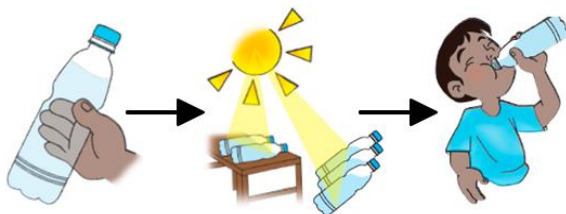


Рисунок 2 – Обеззараживание воды солнечным светом [1]

Способ обеззараживания воды солнечным светом был разработан для удаления бактерий и вирусов, вызывающих желудочные заболевания, такие как диарея и холера. Этот метод хоть и является дешевым методом бактерицидной очистки, но следует понимать, что эта технология неспособна удалить взвешенные вещества, снизить мутность, как например, фильтры. Если нет возможности использовать фильтры, то перед использованием **солнечного света для очистки воды**, ее следует пропустить несколько раз через чистую ткань.

1 Получение воды из поверхностных источников.

Водные ресурсы, которыми обладает Беларусь, одни из наиболее богатых на планете. Здесь протекает 20 800 рек общей протяжённостью 90 600 км,

находится 10 800 озер и более девяти тысяч болот, создано 136 искусственных водохранилищ [2, 3]. Поэтому поверхностные источники – основные в наших условиях. Как правило, вода из рек, озер, водохранилищ, вследствие антропогенного воздействия, интенсивного земледелия и животноводства, будет не вполне пригодной для питья. Необходима многоуровневая очистка.

2.1 Подручные способы сбора и фильтрации воды в полевых условиях: простейший – процедить воду через несколько слоёв чистой ткани; если кипятить нет возможности, можно процедить воду через раскалённый на солнце или костре песок; если добавить угли из костра, получается ещё большая степень очистки. Самодельный трёхступенчатый фильтр из подручных средств представлен на рисунке 3.

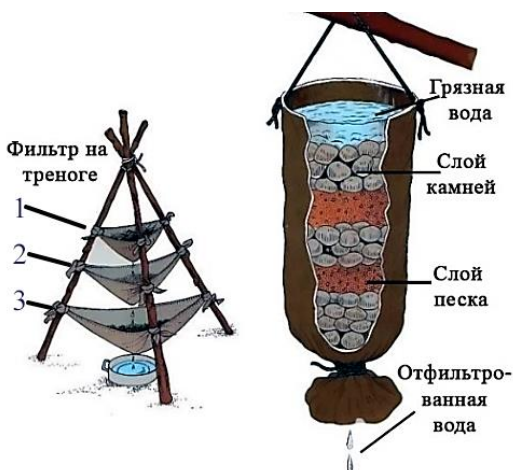


Рисунок 3 – Фильтр для воды подручными средствами:

1 – ткань с травой, древесными опилками, ватой; 2 – измельчённый уголь из костра; 3 – ткань или марля со слоем промытого и прокалённого на костре песка

Более эффективный фильтр – многослойный, в ПЭТ-бутылке или иной высокой ёмкости (рисунок 4). Бутылку можно заменить свёртком из бересты.

На наш взгляд, наиболее эффективная и простая конструкция фильтра для очистки воды в полевых условиях на основе ПЭТ-бутылки и стандартного сменного картриджа для кувшинного бытового фильтра (рисунок 5) [4]. Сменный картридж имеет цилиндрический или слегка конический корпус из пластика с отверстиями внизу и сверху [5]. Сначала вода проходит самотеком через сетку из полимера, которая удаляет крупный мусор. Далее она поступает в засыпку картриджа.



Рисунок 4 – Многослойный фильтр на основе ПЭТ-бутылки

Засыпка картриджа содержит следующие основные компоненты.

Ионообменная смола. Она смягчает воду, что не позволяет образовываться накипи. Ионы натрия на её поверхности образуют безопасный натрий.

Активированный уголь. Его цель – адсорбция органических элементов, хлора и пестицидов.

Каталитические материалы. Они быстро окисляют марганец и железо и убирают металлический вкус воды.

Инертный дисперсный материал помещён на дно картриджа и является дренажом. Производятся промышленно следующие виды картриджей для кувшина [5].

Классический. Хлор, тяжёлые металлы и органические соединения легко устраняются этим видом устройств, а также он борется с плохим запахом и вкусом воды.

С фторирующими элементами. Они добавляют в воду фтор, что полезно для здоровья. Умягчающий. Нейтрализует жёсткость воды.

С элементами, фильтрующими соединения железа. Помогает избавиться от осадка железа, неприятного металлического вкуса и запаха.

С бактерицидными свойствами. Способен нейтрализовать опасные бактерии, такие как кишечная палочка.

Сам картридж имеет малые габариты и массу и не займет много места в походном снаряжении. В то же время гарантирует качественную очистку.

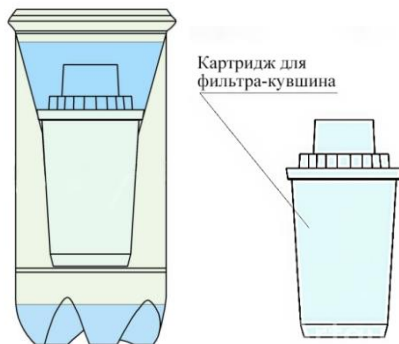


Рисунок 5 – Фильтр для очистки воды на основе ПЭТ-бутылки и картриджа бытового фильтра кувшинного типа

2.2 Промышленные фильтры для получения воды в полевых условиях. Фильтры состоят обычно из двух основных элементов: корпуса и картриджа. Последний представляет собой физический барьер, через который протекает вода, а большинство загрязнений остается снаружи или в нем. Чтобы обезопасить от возбудителей дизентерии и сальмонеллеза, а еще от таких паразитов, как лямблии, нужен барьер с порами диаметром 0,02 мкм. На рисунке 6 представлен типичный индивидуальный фильтр с пористым керамическим фильтрующим картриджем [6].



Рисунок 6 – Типовой индивидуальный фильтр с пористым керамическим фильтрующим картриджем

Физический барьер (картридж) – самая важная часть фильтра. Он бывает керамическим (металлическим), угольным, мембранным.

Керамический или металлический – представляет собой трубу, все загрязнения оседают на ее стенках. Такие картриджи имеют ресурс 2–50 тысяч литров, легко очищаются жесткой щеткой. Однако у них высокое гидравлическое сопротивление, из-за чего чаще всего используются в конструкциях фильтров с насосами.

Мембранный. Чаще всего – это пакет полых синтетических волокон, сложенных в виде буквы U (рисунок 7). Встречаются и плоские листовые мембраны.

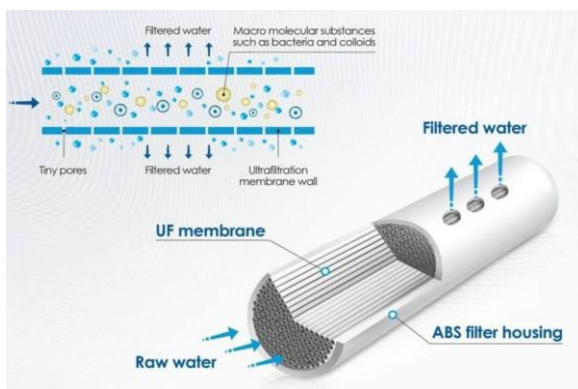


Рисунок 7 – Мембранный фильтр для очистки воды [6]

Угольный. Часто производители добавляют в индивидуальный фильтр картридж с адсорбентом (активированный уголь) для дополнительного улучшения уже очищенной воды. Уголь нейтрализует неприятный запах, нормализует вкус, а еще он способен убрать некоторые химические соединения. Однако без дополнительных ступеней механической или мембранной фильтрации практически не используется.

Фильтр для воды на треновой мембране ФТМ-Б5 (рисунок 8).

Фильтр предназначен для очистки и улучшения качества воды за счет удаления всех патогенных бактерий (кишечной палочки, холерного вибриона, штамма чумы, палочки коклюша, туберкулезной палочки, возбудителей тропической малярии, лихорадки и т. п.), снижения в ней концентрации радионуклидов, болезнетворных бактерий, тяжелых металлов, коллоидных частиц, механических и химических микропримесей и т. д. [7].

Основное назначение – очистка воды из колодцев, родников, рек и т. п.

Целесообразно использовать фильтр в походах, путешествиях, в чрезвычайных ситуациях: эпидемиях, землетрясениях, наводнениях и других стихийных бедствиях, а также в районах боевых действий.

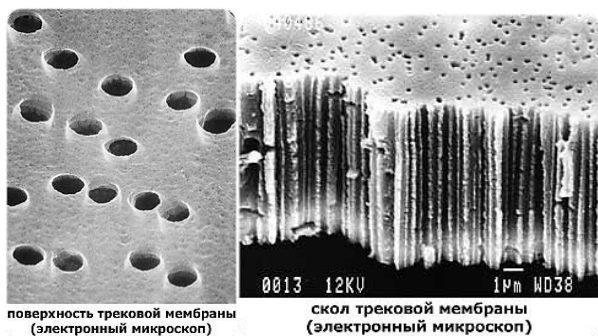


Рисунок 8 – Фильтр для воды на трековой мембране ФТМ-Б5

Фильтр ИФ-10 6Э1.

Индивидуальный фильтр для очистки воды ИФ-10 6Э1 (рисунок 9) входит в состав комплекта «Ратник» ВС РФ. Фильтр предназначен для очистки пресной воды из открытых водоёмов. Производительность не менее 6 л/ч. Ресурс работы фильтра от естественных загрязнений и БС не менее 15 л; от ОВ, РВ и СДЯВ – не менее 10 л.

В данном фильтре применена технология ультрафильтрации (блок половолоконных мембран), комбинированной со слоями мелкодисперсного активированного кокосового угля и полипропиленовой фильтровальной ткани.



Рисунок 9 – Фильтр для воды ИФ-10 6Э1

Походный фильтр для очистки воды *Filter Straw* (рисунок 10).

Предназначен также для индивидуального использования и фильтрации воды из рек, озер, ручьев и других источников пресной воды до состояния питьевой воды. Прост в использовании, неразборный и необслуживаемый, а также позволяет накручивать его на пластиковые бутылки для более удобного использования. Портативный фильтр для очистки воды с мембраной с размерами пор 0,1 мкм эффективно задерживает до 99,9999 % водных бактерий, простейших водных организмов и на 100 % механические частицы. Отличный выбор для туристов, рыбаков, путешественников, военных, для чрезвычайных ситуаций.



Рисунок 10 – Походный фильтр для очистки воды *Filter Straw*

Походный фильтр *Runlucky RL-W20*.

Runlucky RL-W20 (рисунок 11) позволяет обеспечить группу людей значительным запасом питьевой воды, избавляя от необходимости использования химических таблеток или переноски тяжелых запасов бутилированной воды.

Принцип фильтрации: многоступенчатая очистка. Включает полипропиленовый картридж для предварительной механической очистки и ультрафильтрационную мембрану. Степень очистки: глубина фильтрации полипропиленового картриджа составляет 5 мкм, что позволяет удалять крупные взвеси, песок, глину. Ультрафильтрационная мембрана обеспечивает тонкость фильтрации до 0,01 мкм. Такая степень очистки гарантирует удаление водорослей, 100 % бактерий, вирусов, цист простейших (лямблий, криптоสปоридий) и других паразитов, передающихся через воду. Может использоваться для очистки воды как из поверхностных (реки, озера, ручьи), так и из грунтовых источников (неглубокие колодцы, родники).

Фильтрация осуществляется за счет давления, создаваемого ручным насосом. Система полностью автономна и не требует электропитания.

Обслуживание: фильтрующий элемент легко меняется и быстро устанавливается. В комплекте поставляется прочная и удобная сумка для хранения и транспортировки.



Рисунок 11 – Походный фильтр Runlucky RL-W20

Мировые производители индивидуальных фильтров [8].

Известный производитель фильтров и средств очистки воды из Швейцарии **Katadyn Group** (рисунок 12). В гравитационных системах *Base Camp Pro 10L* и *Gravity Camp 6L* используется фильтр *Ultra Flow Filter* из *Glassfiber* (тонкость очистки 0,2 мкм).

Популярные модели *Hiker Pro* и *Hiker* идентичны по весу, размерам, используемому картриджу (*Glassfiber*, тонкость очистки 0,2 мкм, с активированным углем) и скорости фильтрации (1 л/мин), но благодаря защите картриджа в *Hiker Pro*, он может пропустить через себя 1150 л воды против 750 л у модели *Hiker*.

Модель *Vario* надевается на бутылку и быстро очищает воду благодаря двойному керамическому предфильтру в виде диска и *Glassfiber* картриджу (0,2 мкм) с заменяемым активированным углем. Два режима фильтрации. Ресурс – 2000 л. Модель *Katadyn Mini* имеет посеребренный керамический фильтр с порами 0,2 мкм, скорость фильтрации 0,5 л/мин. Ресурс – 7000 л.

Модели *Combi* и *Pocket* также используют посеребренные керамические картриджи. У *Combi* съемный многоразовый картридж с активированным углём, который можно самостоятельно заменить после 400 л. Гарантированный ресурс 50 000 л. Модель *Pocket* имеет детали из алюминиевого сплава, гарантию 20 лет.



Рисунок 12 – Фильтры компании *Katadyn Group*

Гравитационная система *Gravity Works* (рисунок 13) компании **Cascade Designs** создана в 1972 году. Система *Gravity Works* имеет простую конструкцию, скорость фильтрования – 4 литра за 3–4 мин. Система представляет собой две прозрачные ёмкости (одна – для грязной, другая – для чистой воды), фильтрующий картридж на основе *Hollow Fiber*, способного очистить 1500 л, соединительных трубок и чехлом для переноски. Качество воды можно улучшить, если систему дополнить фильтром *Carbon Element* (33 г на 300 л), содержащим гранулированный активированный уголь.

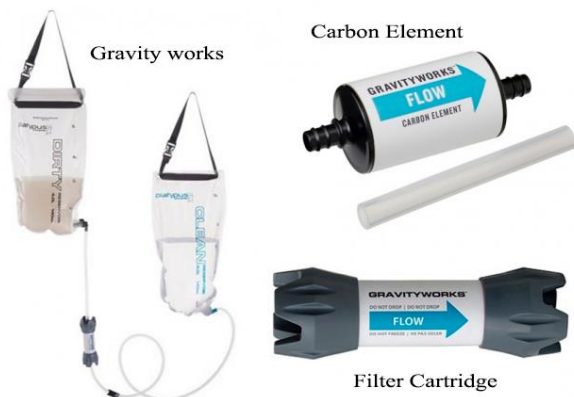


Рисунок 13 – Гравитационная система *Gravity Works*

Компания **General Ecology** (рисунок 14) была основана в 1973 году. Так появилась запатентованная технология «*Structured Matrix*», а затем и портативная система фильтрации *First Need XLE Elite*, которая может работать как в насосном, так и в гравитационном режиме. Оснащена предфильтром и картриджем с технологией *Structured Matrix 3-stage purification* с ресурсом 680 л.



Рисунок 14 – Фильтры компании *General Ecology*

Компания **Sawyer** (рисунок 15) основана в 1984 году. Для получения чистой воды компания разработала несколько систем на основе *hollow fiber* (0,1 мкм): карманный *MINI Water Filter*, набор *Squeeze Filter System*, гравитационная *Water Filtration System* на 2 и 4 л. Также есть фильтр *Point ZeroTWO* с мембраной 0,02 мкм для получения до 640 л воды. Система *Squeeze Filter System* представляет собой лавсановые непрозрачные пакеты объемом 0,47/0,95/1,9 л и навинчивающийся фильтр *PointONE* из *hollow fiber* (0,1 мкм).

Популярный бренд туристского снаряжения **MSR** (рисунок 16) не обошел вниманием и фильтры для воды. Первая система *Water Works Filter* появилась в 1990 году, а в 1996 году MSR разработала и внедрила в свои модели керамический фильтр *Marathon*. Модель *MiniWorks EX Microfilter* представляет собой ручной насос с технологией *Air Spring Accumulator* (1 л/мин) с фильтром *Marathon EX carbon/ceramic*, способный очистить до 2000 л воды (зависит от её исходного качества). Керамический элемент периодически необходимо кипятить не менее 5 минут, протирать. Обновленная в 2015 году гравитационная система *AutoFlow Microfilter* состоит из пластиковой ёмкости для воды, двух шлангов и фильтрующего картриджа с мембраной из *Hollow Fiber* с ресурсом 1500 л.



Рисунок 15 – Фильтры компании Sawyer



Рисунок 16 – Фильтры компании MSR

Компания **Vestergaard** (рисунок 17) основана в 1957 году. Сам «фильтр-соломинка» *Life Straw* появился в 2005 году, а с 2013 года фильтр *Life Straw Go* встраивается в специальные питьевые бутылки. При весе в 56 г и размере 22,5×2,5 см, фильтр *Life Straw* способен очистить до 1000 л воды. В основе его работы мембраны *Hollow Fiber*. К минусу можно отнести то, что фильтр работает только за счет всасывания воды человеком.



Рисунок 17 – Фильтры компании Vestergaard

Под брендом **Aquamira** (рисунок 18) в 1999 году впервые появилось средство *Water Treatment Drops* – обеззараживающие капли на основе диоксида хлора (2 %) и фосфорной кислоты. Две бутылочки идут в одном наборе и перед использованием их содержимое необходимо смешать в пропорции 1:1 (по 8 капель для обеззараживания 1 л воды). Имеются таблетки, которые рекомендуется использовать совместно с фильтрами *Frontier Emergency Filter System* или *Aquamira Water Bottle and Filter*.



Рисунок 18 – Фильтры компании Aquamira

Фильтры *Frontier Max* и *Frontier Pro* предназначены для индивидуального использования. Их можно использовать как с гидраторами и бутылками, так и отдельно как «соломинку» (как *Frontier Straw*). В основе конструкции – сменный картридж с активированным углём и технологией *Miraguard Antimicrobial*.

Компания **Hydro-Photon** с 1999 года предлагает портативные устройства **SteriPEN** (рисунок 19) для UV-обеззараживания воды в небольших ёмкостях. Принцип работы основан на «кварцевании» и лишении возможности микроорганизмов к размножению. К минусам **SteriPEN** можно отнести то, что эти устройства зависят от качественного электрического питания (литиевые батарейки или NiMH аккумуляторы), а также от мутности воды. В ассортименте пять гражданских моделей: *Aqua*, *Classic 3*, *Adventurer Opti*, *Ultra*, *Freedom* и две для военных: *Defender* и *Protector Opti*. Модели отличаются по размеру, весу (от 74 до 178 г), типа батарей (4 АА батарейки, CR123 или USB-зарядка), количества воды (30–150 л) и числа обработок (3–8 тыс. циклов), предусмотренных UV-лампой.



Рисунок 19 – Устройство **SteriPEN** для UV-обеззараживания воды

2.3 Химические средства для обеззараживания воды: таблетки и медицинские препараты. Основанная в 1984 г. компания *Medentech* выпускает шипучие таблетки *Aquatabs* (3,5; 8,5; 17; 33; 67; 167 мг). Принцип основан на воздействии *Sodium Dichloroisocyanurate* или *Troclosene Sodium* на микроорганизмы. Одну-две таблетки (67 мг) добавляют в 20 л воды и ждут 30 мин.

Существует довольно много разновидностей хлорсодержащих таблеток.

Вот некоторые из них.

Аквабриз – таблетки для обеззараживания воды производства ООО «Мир дезинфекции» (Россия). Обеззараживание питьевой воды производится в ёмкостях объёмом 1 л с завинчивающейся крышкой. В бутылку наливают 1 л воды, подлежащей обеззараживанию, и вносят таблетированные средства. После растворения таблетки крышку плотно закрывают и воду взбалтывают, после чего крышку немного (на ½ оборота) отвинчивают и несколько раз переворачивают ёмкость для того, чтобы растворённый препарат вместе с водой попал в резьбу крышки и ёмкости. Вода пригодна для питья через 30–60 мин после растворения таблеток.

Таблетки **Katadyn** производятся в США. Эффективны против бактерий, вирусов, *Giardia* и *Cryptosporidium*, причём независимо от состояния воды (грязная, чистая, холодная или тёплая, с примесями или нет). В одной упаковке 20 таблеток, одной таблетки хватает на один литр воды. Таблетка действует за 30 мин, если вода холодная – полное обеззараживание может занять до 4 часов. Практически не изменяют вкус воды, не оставляют неприятного привкуса.

Пантоцид – средство Ирбитского химико-фармацевтического завода. Подходит для обеззараживания воды, дезинфекции и обработки ран. Для проведения дезинфекции воды понадобится развести 1 таблетку в 0,5 или 0,75 л питьевой воды. В случае сильного загрязнения потребуется увеличить дозировку препарата вдвое. Длительность экспозиции составляет от 15 до 20 мин.

Таблетки **Хлорэксель** содержат в качестве действующего вещества (ДВ) натриевую соль дихлоризоциануровой кислоты, являющуюся источником активного хлора. Обладают антимикробным действием в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий, в том числе бактерий группы кишечных палочек, стафилококков, стрептококков, синегнойной палочки, сальмонелл и др., включая микобактерии туберкулёза, – тестировано на *Mycobacterium terrae*, возбудителей особо опасных инфекций, включая споры бацилл, вирусов (Коксаки, ЕСНО, полиомиелита, энтеральных и парентеральных гепатитов, ротавирусов, норовирусов, ВИЧ, гриппа типа А, в т. ч. А H5N1, А H1N1, аденовирусов и др. возбудителей ОРВИ, герпеса, цитомегалии), грибов рода Кандида, дерматофитов, плесневых грибов.

Средства для обеззараживания из бытовой аптечки.

Марганцовка (перманганат калия). Марганцовка является сильным окислителем и не только уничтожает бактерии, но и нейтрализует продукты их жизнедеятельности. Для обеззараживания воды нужно постепенно добавлять кристаллики, добиваясь воды нежно-розового цвета. Яркий цвет и нерастворённые кристаллики недопустимы – можно получить ожог слизистой желудка. Приготовив раствор, дать ему отстояться 15–30 мин в тёплое время года, или около часа – в холодное время, после чего воду можно ис-

пользовать. Для получения идеального результата можно добавить фильтр.

Йод при взаимодействии с водой образует около 10 активных соединений со сложными химическими реакциями. На 1 л воды потребуется 10–20 капель 10%-й спиртовой настойки, в зависимости от степени загрязнения, после чего воду отстаивают 30 мин летом или около 1 ч в холодное время. Для гарантированного уничтожения микроорганизмов, например, лямблий, требуется ещё более длительное время – до 4 часов. Расход 5%-й спиртовой настойки йода – 1 мл на 4 л воды (в 1 мл 5%-й настойки йода содержится 50 мг йода, а достаточная концентрация для обеззараживания – 10–12 мг йода на 1 л воды). Вкус воды после обработки йодом улучшают угольные фильтры. Если фильтра нет, запах и вкус йода можно убрать аскорбиновой кислотой (200 мг на 1 л) или иголками хвойных деревьев.

Марганцовка и йод эффективны практически против большинства микроорганизмов, но для уничтожения таких, как лямблии, криптоспоридии, требуется большее время.

Можно также использовать таблетки гидроперита, 4–5 таблеток на ведро воды (10 л), а также таблетки фурацилина из аптечки. После растворения таблеток воду отстаивают 20–30 мин.

Растительные средства.

Особенно эффективна рябина в природных условиях, когда требуется быстро очистить непригодную для питья воду. Есть в этом растении сорбиновая кислота, благодаря действию которой тормозится рост микроорганизмов, грибов и плесеней. Охотники пополняли запасы воды из рек, прудов, а порой и просто из луж. В емкость с такой водой они клали веточку красной рябины с листьями и ягодами. Через пару часов даже самая затхлая вода становилась питьевой, микробы уничтожались.

Некоторые другие растения, целиком, либо их составляющие, содержат вещества, препятствующие размножению патогенной микрофлоры: кора дуба, береста, кора ивы или верба. 100–150 г растительного сырья необходимо добавить в 10 л воды и далее прокипятить 30–40 минут, либо настоять в течение 6 ч.

Подойдут также молодые ветки ели, сосны или можжевельника. Необходимо добавить их в воду из расчёта 10–20 шт. на 2–3 л и настоять в течение 2 ч. Бурый нерастворимый осадок оставляют, а очищенную воду сверху – переливают в потребительскую тару.

Для большего бактерицидного эффекта при кипячении в воду можно добавить:

- 2–3 горсти хорошо промытого ягеля;
- лишайник, кору лесного или грецкого ореха – 50 г на 10 л воды;
- календулу или арнику (стебли и листья) – 150–200 г на ведро, кипятить 10–20 мин или настаивать не менее 6 ч.

Заключение.

1 Известен ряд производителей надёжных средств очистки воды в полевых условиях. О них можно узнать в данной публикации.

2 Есть несколько надежных приемов получить питьевую воду с помощью подручных средств – природных минералов и растительности.

3 Самым эффективным способом получения питьевой воды является механическая фильтрация, основанная на физическом задерживании всего, что больше пор самого фильтра (обычно 0,2 мкм), а также абсорбция углем и обеззараживание, например кипячением, использованием специальных таблеток, аптечных средств, местной растительности.

4 Современные комплексные средства очистки воды с использованием химических реакций, адсорбции и ультрафиолета образовали свой круг, а их эффективность в некоторых случаях может быть выше чисто фильтрующих.

Список литературы

1 Обеззараживание воды солнечным светом // Аквалюкс. – URL: <https://watertech-nologies.com.ua/stati/solnechnyj-svet-dlya-ochistki-vodyi> (дата обращения: 22.02.2026).

2 **Кудина, Е. Ф.** Химия и микробиология воды : учеб. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович, Ю. М. Плескачевский ; под ред. Ю. М. Плескачевского, А. С. Неверова. – Гомель, БелГУТ, 2010. – 335 с.

3 **Кудина, Е. Ф.** Вода – продукт потребления и жизнедеятельности человека : монография / Е. Ф. Кудина, В. В. Савич, А. М. Тарайкович. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 350 с.

4 Фильтры для воды своими руками // FILTER-WATER.BY. – URL: <https://filter-water.by/faq/filtr-dlya-vody-svoimi-rukami> (дата обращения: 22.02.2026).

5 Принцип работы фильтра-кувшина // KRAUSEN ENGINEERING. – URL: <https://krausen.by/blog/princip-raboty-filtra-kuvshina/> (дата обращения: 22.02.2026).

6 Как очистить и обеззаразить воду в походных условиях // X-ZONE. – URL: https://www.x-zone.com.ua/stati/voda.html?&lang_chose=ru (дата обращения: 22.02.2026).

7 Трековые мембраны – продукт высоких технологий // ИННИТ СТМ. – URL: <http://fitrem.ru/index.php?action=stat&idstat=3> (дата обращения: 22.02.2026).

8 Обзор производителей средств для очистки воды в полевых условиях // RISK.RU. – URL: <https://risk.ru/blog/206553> (дата обращения: 22.02.2026).

УДК 504.06:678.02

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОМПОЗИТЫ

В. М. ШАПОВАЛОВ, Н. С. ВИНДИКТОВА

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, г. Гомель, vik.shapovalov.blr@mail.ru*

Предпосылкой устойчивого развития экономики и качества жизни нынешних и будущих поколений является обеспеченность их ресурсами, так как экстенсивный рост потребления ресурсов способствует определённой сырьевой зависимости экономики и обострению экологических проблем,

связанных с воздействием на окружающую среду. Становление технологически развитой державы, интеграция в мировую экономику невозможны без поиска способов эффективного и экологически обоснованного использования природных и техногенных ресурсов. Эта задача может быть решена за счёт создания ресурсосберегающих и экологически чистых технологий и материалов, обеспечивающих решение экологических проблем и охрану окружающей среды [1].

Полимерные отходы являются «достоянием» человечества и представляют собой огромный рынок ценного сырья, способного заменить первичное сырьё. Примером реализации такого подхода представляется рециклинг вторичных полимерных материалов в ИММС НАН Беларуси, где исследования направлены на повышение способности вторичных полимеров к восстановлению. Решение этих проблем позволит создавать новые перспективные многокомпонентные полимерные системы на основе вторичного полимерного сырья, обеспечивающие решение задач эффективной утилизации полимерных отходов и получение на их основе качественной продукции [2]. К такой технологии следует отнести переработку вторичных термопластичных полимеров в полимер-песчаные изделия путем введения в композиции минеральных наполнителей и целевых добавок. Примером изделий на основе таких материалов могут служить: тротуарная плитка, бордюрный камень, колодцы, ливневая канализация и др.

Захоронение полимерных отходов приводит к загрязнению почвы, воды и негативному воздействию на живые организмы. Примером таких материалов являются одноразовые пластиковые пакеты и посуда, которые стали мировой экологической проблемой, в частности, в мировом океане. Их замена на биоразлагаемые материалы представляется хорошей альтернативой. Сегодня в мире существует более 100 видов биоразлагаемых пластиков способных к разложению на окись углерода и воду. Примером такого материала может служить полилактид (ПЛА). На сегодняшний день это один из наиболее распространенных биоразлагаемых пластиков, что в первую очередь обусловлено его высокими эксплуатационными и техническими характеристиками: термопластичность, высокая прочность, прозрачность, хорошая кислородопроницаемость, биосовместимость, способность к переработке на традиционном полимерном оборудовании в изделия широкого потребления (пленки, волокна и др.). ПЛА активно используется в медицине, а также области производства упаковки и одноразовой посуды. Еще одно преимущество ПЛА – его производство из возобновляемых источников сырья, что весьма актуально в условиях современного экологического кризиса. Однако существенным недостатком таких биоразлагаемых материалов является их высокая стоимость. Решением проблемы удешевления таких материалов занимаются в ИММС НАН Беларуси – ведутся разработки биоразлагаемых композиционных материалов на основе биоразлагаемого

связующего, в частности ПЛЖ, с использованием растительных наполнителей: древесной муки, гречневой и рисовой шелухи, льнокостры и др. [3].

В ИММС НАН Беларуси с 80–90-х годов XX века проводятся исследования по созданию высоконаполненных композитов (до 70–80 мас. %) на основе термопластичных полимеров и лигноцеллюлозных наполнителей (древесина, целлюлоза, лигнин, сельскохозяйственные культуры и др.) методом экструзионного формования древеснополимерных композитов (ЭДПК) [4]. Отличительной особенностью разработки ЭДПК представляется использование термопластичного полимерного связующего (ПЭНД – полиэтилен низкого давления, ПП – полипропилен, ПЭВД – полиэтилен высокого давления, ПВХ – поливинилхлорид), наполнителей в виде отходов деревообработки (мука, волокна, шлифпыль) и/или отходов изделий из других ДПК, а также технологических и целевых добавок. Используются как первичные, так и вторичные термопласты. ЭДПК предназначены для изготовления методом прямой экструзии профильно-погонажных и листовых изделий строительного или производственно-технического назначения, не контактирующих с пищевыми продуктами, а также для изготовления методом горячего прессования формуемых изделий, в том числе с использованием отделочных материалов.

Примером экологически чистых технологий являются фильтрационные системы. Особенно это касается предприятий топливно-энергетического и машиностроительного комплекса. Существует проблема очистки воздуха от конденсата (воды). Аналогичные проблемы существуют и при производстве и применении адсорбционных систем, применяемых для сбора различных загрязнений, в том числе разливов нефтепродуктов [5]. В ИММС НАН Беларуси развивается направление аэродинамического формования волокнисто-пористых материалов, а производственные мощности института позволяют осуществлять выпуск опытно-промышленных партий полимерных волокнисто-пористых фильтроматериалов и фильтроэлементов:

- фильтроэлемент типа ФЭП (ФЭП-1 и ФЭП-2), предназначенный для очистки технических масел от дисперсных загрязнений;

- фильтроэлемент для очистки лакокрасочной продукции, предназначенный для ее очистки от дисперсных загрязнений;

- фильтроэлемент патронного типа, предназначенный для фиксации фильтрующего наполнителя для очистки ионизированной воды;

- материал нетканый гидрофобный сорбирующий в виде «ваты» или «полотна», предназначенный для сбора разливов органических жидкостей с поверхности водоемов и почв;

- элемент, аэрирующий трубчатый, предназначенный для аэрации воды в системах биологической очистки стоков;

- элемент, аэрирующий дисковый и диспергирующий трубчатый, предназначенный для аэрации технической воды и бытовых сточных вод.

В ИММС НАН Беларуси развиваются также направления по получению

композитов с регулируемыми электромагнитными свойствами, технологии нанесения порошковых красок на металлические изделия, а также по разработке материалов медицинского назначения – биосовместимых полимерных покрытий на текстильные сосудистые имплантаты и др.

Таким образом, в связи с острой экологической ситуацией в мире, необходимость снижения количества отходов, развитие процессов переработки вторичных полимерных материалов и создание на их основе безотходных технологий приобретает первостепенное значение в области ресурсосбережения и экологии. Важность решения экологических проблем обусловлена жесткими требованиями к полимерам и технологиям их получения. В значительной степени этому может способствовать разработка технологий, обеспечивающих получение экологически чистых материалов, оказывающих минимальное влияние на окружающую среду. Надо также отметить, что правильная оценка последствий беспечного и неосторожного обращения с природой и своевременное их предотвращение будут создавать условия для улучшения экологической обстановки в регионах.

Список литературы

1 **Шаповалов, В. М.** Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь / В. М. Шаповалов // Полимерные материалы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 71–81.

2 **Шаповалов, В. М.** Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В. М. Шаповалов, З. Л. Тартаковский ; под общ. ред. чл.-кор. НАН Беларуси Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ИММС НАН Б, 2003. – 262 с.

3 **Винидиктова, Н. С.** Технологические аспекты формирования биоразлагаемых композиций на основе возобновляемого сырья / Н. С. Винидиктова // Полимерные материалы и технологии. – 2025. – Т. 11, № 4. – С. 55–63.

4 **Шаповалов, В. М.** Технология переработки высоконаполненных композитов / В. М. Шаповалов, В. Г. Барсуков, Б. И. Купчино; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.

5 Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В. А. Гольдаде, А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук [и др.] ; под науч. ред. Л. С. Пинчука. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В РАЗВИТИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

УДК 629.735

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ЗАИЛЕНИЯ
И ЗАНЕСЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА**

В. Н. АНУФРИЕВ¹, Г. А. ВОЛКОВА²

*¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
vladimir.anufriev@bntu.by*

*²Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь, vvit@bstu.by*

Актуальность. Водохранилища Республики Беларусь, используемые для энергетики, орошения, рыбного хозяйства, водоснабжения, регулирования стока, подвержены процессам заиления и занесения, которые снижают объем водоема. Поступление твердых примесей в водохранилища связаны с переносом наносов, абразии береговой линии под воздействием волн, водной и ветровой эрозии склонов, непосредственно прилегающих к водной поверхности водохранилища, с биологическими процессами, такими как зарастание макрофитами, а также эвтрофикации в результате отмирания сине-зеленых водорослей. Седиментационный баланс водохранилища позволяет получить данные для разработки стратегии эксплуатации водного объекта для оптимизации затрат.

Цель работы. Анализ основных факторов, определяющих интенсивность и характер отложений наносов в водохранилищах.

Основные результаты. Заиление водохранилищ представляет детерминированный динамический процесс, который в большинстве случаев рассматривается как однонаправленный, без учета возникающих размывов, переноса и переотложения наносов. Интенсивность и характер отложения наносов в водохранилищах определяются различными факторами: протяженностью, глубиной водохранилища, его плановой конфигурацией и проточностью, количеством и гранулометрическим составом наносов, переносимых водотоками, питающими водохранилище, устойчивостью берегов к волновому воздействию, интенсивностью процессов эвтрофикации.

Седиментационный баланс водохранилища включает наносы различного генезиса, которые влияют на интенсивность заиления. Наибольшей изменчивостью обладают так называемые аллохтонные наносы, поступающие в водохранилище извне, которые преимущественно обуславливают заиление подпорного бьефа. Однако в отдельные периоды эксплуатации преобладающую часть отложений в водохранилище могут вызвать формирующиеся внутри водоема автохтонные образования, в частности, при переработке берегов.

В общем виде уравнение седиментационного баланса водохранилища представлено в следующем виде:

$$V_R + V_{\text{вл}} + V_{\text{бер}} + V_{\text{ж}} + V_{\text{с}} + V_{\text{ст}} + V_{\text{п}} = V_{\text{з}} + V_{\text{н.б}}, \quad (1)$$

где V_R – объем взвешенных наносов, поступающих с водосборного бассейна, включая водную эрозию с площадей склонов, непосредственно прилегающих к водной поверхности водохранилища, м³/год; $V_{\text{вл}}$ – объем влекомых наносов, поступающих в водохранилище, м³/год; $V_{\text{бер}}$ – объем наносов, поступающих в водохранилище в результате процесса переработки берегов водохранилища, м³/год; $V_{\text{ж}}$ – наносы, формирующиеся в процессе жизнедеятельности и в результате отмирания растительных и животных организмов, м³/год; $V_{\text{с}}$ – объем наносов, получаемый в результате образования нерастворимых и малорастворимых химических соединений в воде водохранилища, м³/год; $V_{\text{ст}}$ – объем наносов, образующихся при сбросе в водохранилище сточных вод, м³/год; $V_{\text{п}}$ – поступление твердых частиц из атмосферы, при выпадении осадков и осаждении на зеркало водохранилища пылевых частиц, в том числе образующихся в результате ветровой эрозии, м³/год; $V_{\text{з}}$ – суммарный объем наносов, отложившихся в водохранилище, м³/год; $V_{\text{н.б.}}$ – объем взвешенных наносов, сбрасываемых в нижний бьеф, м³/год.

Как показывает уравнение (1), интенсивность деформации чаши водохранилища зависит не только от взвешенных наносов, поступающих с речными водами, но и от других источников поступления твердых веществ в подпорный бьеф. Значительное количество отложений может образовываться в результате переработки берегов водохранилища (объем наносов $V_{\text{бер}}$).

В публикациях, связанных с изучением абразивных процессов на водохранилищах, указывается на относительно незначительный объем такого рода отложений для малых равнинных водохранилищ. С другой стороны, по мере увеличения площади зеркала водохранилища возрастают и объемы отложений за счет переформирования берегов, которые в отдельные периоды времени могут превышать объем наносов, поступающих с водосборного бассейна [1, 3]. Как известно, процесс переработки берегов водохранилищ

носит затухающий характер, и поэтому средний годовой объем отложений от обрушения берегов $V_{\text{ср.бер}}$, м³/год, может определяться по формуле:

$$V_{\text{ср.бер}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\text{бер}i}}{n}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^n V_{\text{бер}i}$ – суммарный объем наносов в результате переработки берегов водохранилищ за время полного затухания абразионных явлений, м³; n – длительность периода от начала эксплуатации водохранилища до практически полного затухания абразионных явлений, лет.

Установлено, что на русловых водохранилищах (Осиповичское, Чигиринское, Чижовское, Витебской и Гродненской ГЭС и др.) переработка берегов составляет 25–40 % длины береговой линии и наблюдается в приплотинной части водоема. На водохранилищах озерного типа (Езерищенское, Селявское, Лепельское) переработке подвержено до 70 % берегов и верховых грунтовых откосов дамб и плотин [2]. Продолжительность периода интенсивных абразивных процессов при переработке берегов оценивается для водохранилищ небольших ГЭС периодом от 5 до 7 лет, после чего интенсивность переработки берегов водохранилищ резко снижается, а в течение последующих 10–15 лет практически полностью прекращается [1]. За это время в водохранилищах формируется полоса полупогруженных и надводных растений, которые снижают волновое воздействие на берега. Результаты наблюдений за процессом переработки берегов водохранилищ для небольших ГЭС на территории Республики Беларусь показывают, что активное обрушение происходило преимущественно в гидродинамически активной зоне с длиной разгона волны до 6 км и глубинами около 6 м. Объемы обрушения пород за счет переформирования приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Параметры переформирования берегов и поступления абразионного грунта в водохранилища

Водохранилище	Удельный объем обрушения на 1 м длины абразионного берега, м ³ /м	Общий объем обрушений, тыс. м ³
Тетеринское	1,87–4,41	3,92
Осиповичское	3,62–18,6	29,3
Чигиринское	3,18–31,05	154,2

Кратковременность стадии переформирования и дальнейшей стабилизации берегов водохранилищ в течение 10–15 лет объясняется относительно невысокими высотами волн, устойчивыми уровнями и ускоренным формированием аккумулятивной отмели. По мере затухания процесса переработки берегов происходило выравнивание береговой линии за счет заполнения

наносами небольших заливов. Пополнение аккумулятивных отмелей шло за счет отложения песчаных фракций, с выносом глинистых частиц в открытую часть водохранилища. В связи с чем береговая отмель у берегов, сложенных суглинками, образовывалась практически за счет врезки в берег с образованием песчаных или завалуненных отмелей, так как аккумулятивная часть от объема обрушений была незначительной. Формирование отмелей у песчаных берегов происходило как за счет врезки в берег, так и за счет аккумуляции продуктов разрушения. Оценка объемов обрушения берегов при прогнозировании может быть произведена при определении параметров переформирования берегов с учетом выноса части абразионного материала.

Отложения веществ биологического происхождения могут составлять в балансе значительную долю. Прогнозирование и количественное определение данных по отложениям такого рода весьма сложно в связи с многообразием трофических процессов в экосистеме водохранилища. В ряде источников приводятся данные о суммарных отложениях, продуцируемых фитопланктоном и высшей водной растительностью, которые составляют от 1 до 5,5 % от общего объема заиления [3].

При этом можно выделить два процесса, приводящих к продуцированию биологических отложений в водохранилище:

- зарастание макрофитами;
- продуцирование отложений за счет интенсификации процессов разложения фитопланктона, в основном сине-зеленых водорослей.

Поступление в водохранилище биогенных элементов, в том числе соединений азота и фосфора в условиях скоростей движения воды, ведет к интенсификации процессов эвтрофикации за счет массового развития водорослей. Прирост биомассы водорослей оценивается пропорционально содержанию питательных веществ. Так, при потреблении 1 г фосфора и 7,2 г азота продуцируется до 115 г биомассы водорослей [4]. При дальнейшем отмирании часть указанной массы минерализуется и откладывается в виде отложений.

Учитывая незначительную гидравлическую крупность данных биообразований, их значительная часть будет выноситься с водой и сбрасываться в нижний бьеф, другая часть осаждается на дно водоема при их отмирании и последующей минерализации.

Считается, что вероятность эвтрофикации становится существенной при концентрациях фосфора выше 0,01 и азота 0,3 мг/дм³. Влияние процесса на заиление может быть оценено по критической фосфорной нагрузке, аналогично при прогнозировании интенсивности эвтрофикации [5] по формуле

$$L_{кр} = 0,25 \frac{H_{ср}}{t_W} (1 + \sqrt{t_W}), \quad (3)$$

где $L_{кр}$ – критическая фосфорная нагрузка, г/(м²·год); $H_{ср}$ – средняя глубина водохранилища, м; t_w – время полного водообмена, год.

Таким образом, величина критической фосфорной нагрузки может указывать на существенность биологической продукции сине-зеленых водорослей, их возможное влияние на процессы заиления, которое должно рассматриваться более детально.

Интенсивность зарастания макрофитами варьируется в широких пределах. В районах фрагментарного зарастания продуктивность фитоценозов составляет от 0,5 до 2,0 кг/м² во влажном виде и от 0,2 до 0,8 кг/м² – в высушенном. Урожайность фитоценозов в районах сплошного зарастания достигает до 5–6 кг/м² при средней урожайности 2,8 кг/м² в сыром виде и 0,8 кг/м² – в высушенном. Следует учесть, что фитоценозы макрофитов и сине-зеленых водорослей в водохранилищах, как правило, являются конкурирующими биологическими сообществами, и интенсивное совместное протекание двух данных процессов практически не наблюдается.

Учитывается также объем наносов, получаемый в результате образования нерастворимых и малорастворимых химических соединений в воде водохранилища. Ионный сток (количество истинно растворенных веществ в тоннах), достигая в ряде случаев внушительных размеров, как правило, имеет транзитный характер, так как в нерастворимые химические соединения переходит относительно небольшая часть веществ. В частности, может происходить осаждение солей кальция, железа и ряда других за счет изменения гидрохимического состава воды вследствие поступления речного стока из разных речных систем и характеризующихся различным химическим составом, отведения сточных вод и т. д. Количественные параметры, характеризующие данный процесс, могут быть получены при оценке гидрохимического баланса поступления растворенных веществ в водохранилище и сброса из него.

Взвешенные вещества, поступающие со сточными водами, отводимыми в водохранилище (объем наносов $V_{ст}$), могут рассматриваться как существенные при сбросе сточных вод, включающих значительное количество нерастворимых примесей (например, неочищенные поверхностные сточные воды с большими концентрациями минеральных примесей). При отведении очищенных сточных вод после очистных сооружений биологической очистки содержание взвешенных веществ в отводимых сточных водах в большинстве случаев ниже или сопоставимо с мутностью речной воды.

Поступление твердых частиц из атмосферы при выпадении осадков и осаждении на зеркало водохранилища пылевых частиц, в том числе образующихся в результате ветровой эрозии, представляет значимую величину в регионах, где периодически возникают пыльные бури. В остальных случаях данная составляющая баланса в расчетах не учитывается.

Основной объем седиментации водохранилища обусловлен поступлением взвешенных и влекомых наносов, которые поступают в водохранилище с речными, дождевыми и талыми водами с площади боковой приточности. Кроме того, наносы образуются и в самом водохранилище при воздействии волн на склоны ложа в процессе переформирования берегов. Преимущественно наносы осаждаются в зоне выклинивания подпора вследствие уменьшения кинетической энергии потока. В верхней части водохранилища осаждаются более крупные, по акватории – более мелкие наносы [6].

Выводы. Среднюю продолжительность службы водохранилища, прогноз его заиления и занесения производят на основании анализа седиментационного баланса водохранилища. Основными составляющими приходной части баланса являются: приток наносов, поступающих с водосборного бассейна и с прилегающих склонов (V_R), наносов, поступающих в водохранилище в результате процесса переработки берегов водохранилища ($V_{\text{бер}}$), отложения веществ биологического происхождения (наносы, формирующиеся в процессе жизнедеятельности и в результате отмирания растительных и животных организмов $V_{\text{ж}}$), а расходной части баланса – накопление осадка и объем взвешенных наносов, сбрасываемых в нижний бьеф ($V_{\text{н.б.}}$). Для прогноза срока заиления и занесения водохранилища необходимо количественно оценить все составляющие, входящие в уравнение (1).

Список литературы

- 1 Широков, В. М. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций / В. М. Широков, П. С. Лопух. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
- 2 Левкевич, В. Е. Закономерности развития береговых процессов на водохранилищах гидроэлектростанций Беларуси / В. Е. Левкевич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2018. – Т. 61, № 5. – С. 463–478.
- 3 Молдованов, А. И. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах / А. И. Молдованов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1978. – 128 с.
- 4 Лукиных, Н. А. Методы доочистки сточных вод / Н. А. Лукиных, Б. Л. Липман, В. П. Криштул. – М. : Стройиздат, 1978. – 156 с.
- 5 Фашчевский, Б. В. Основы экологической гидрологии / Б. В. Фашчевский. – Минск : ЭКОИНВЕСТ, 1996. – 239 с.
- 6 Мишон, В. М. Прогноз заиления и занесения воронежского водохранилища продуктами разрушения берегов, фитопланктона и высшей водной растительности / В. М. Мишон // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 92–97.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Р. Н. ВОСТРОВА, К. Д. ЛАЗЕЧНАЯ, В. А. МАЛОФЕЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
vostrova@tut.by*

Одной из многочисленных экологических проблем современности является утилизация отходов производства и потребления, в том числе осадков сточных вод (ОСВ) городских очистных сооружений, что превращает их в очаг бактериологической и токсикологической опасности.

Хранение ОСВ осуществляется в пределах очистных сооружений на иловых картах. При несвоевременном удалении ОСВ с площадок данные действия влекут как экологические, так и экономические последствия. Накопленный осадок способствует появлению неприятного запаха, приводит к загрязнению подземных вод и почвы, а также и к другим значительным рискам.

В то же время ОСВ перспективно использовать в зеленом строительстве, в том числе и при формировании откосов автомобильных дорог. Перспективно готовить компосты из смеси ОСВ с органосодержащими материалами.

Если на очистных сооружениях ежедневно образуется около 18 т ОСВ, они составляют ежегодно 6500 т в год и около 1000 т обезвоженного ОСВ вывозится на полигон твердых бытовых отходов на захоронение в случае, если они имеют IV класс опасности.

Плата за размещение отходов в пределах установленных лимитов, руб.:

$$P_p = M_{\text{осв}} \cdot P_{\text{осв лим}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{осв}}$ – фактическое размещение ОСВ в пределах лимита на полигоне твердых бытовых отходов, т (м^3); $P_{\text{осв лим}}$ – норматив платы за размещение 1 т ОСВ IV класса опасности в пределах лимитов, руб./т [1];

$$P_p = 1000 \cdot 104,29 = 104290 \text{ руб.}$$

Плата за транспортные расходы перевозки ОСВ на полигон $P_{\text{тр}}$, руб., рассчитывается по формуле

$$P_{\text{тр}} = K_p \cdot C_p, \quad (2)$$

где K_p – количество рейсов; C_p – стоимость одного рейса, 2,5 руб./км.

$$\Pi_{\text{тр}} = 2,5 \cdot 1000 / 5 = 500 \text{ руб.}$$

Плата за негативное воздействие на окружающую среду в пределах лимитов $\Pi_{\text{пл}}$, руб., рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\text{пл}} = M_{\text{л}} \cdot T_{\text{пл}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{л}}$ – масса размещенных отходов на иловых картах в количестве, равном или менее установленных лимитов на размещение отходов, т; $T_{\text{пл}}$ – тариф платы за негативное воздействие на окружающую среду в пределах лимитов, 0,26 руб./т [1].

$$\Pi_{\text{пл}} = 0,26 \cdot (18 \cdot 365) = 1708,2 \text{ руб.}$$

Плата за размещение на полигоне и хранение на иловых картах, руб.

$$\Pi = \Pi_{\text{р}} + \Pi_{\text{тр}} + \Pi_{\text{пл}}, \quad (4)$$

$$\Pi = 104290 + 500 + 1708,2 = 106498,2 \text{ руб.}$$

Таким образом, отход, являющийся важным источником органических, питательных и биологически активных веществ, хранится на иловых картах и вывозится на полигон твердых бытовых отходов, не принося пользы народному хозяйству. Кроме этого, в течение года предприятия ЖКХ выплачивают значимые суммы и терпят издержки.

Вместе с тем использование ОСВ в качестве компонента для приготовления почвоулучшающих композиций решает важную проблему восстановления нарушенных земель, применение компостов в зеленом строительстве, в том числе: высадки многолетних трав для укрепления откосов автомобильных дорог.

При применении технологии компостирования на захоронение будет направляться, например, 100 % годового поступления на полигон ОСВ меньше. Кроме того, отпадает необходимость вывозить около 1000 т отхода на захоронение. Соответственно, плата за размещение ОСВ на иловых картах, где ОСВ обезвоживается естественным путем, составит, руб.:

$$\Pi_1 = \Pi - (\Pi_{\text{р}} + \Pi_{\text{тр}}), \quad (5)$$

$$106498,2 - 104790 = 1708,2 \text{ руб.}$$

Экологический эффект при применении технологии компостирования составит, руб.:

$$\Pi_3 = (\Pi_p + \Pi_{тр}), \quad (6)$$

$$\Pi_3 = (104290 + 500) = 104790 \text{ руб./год.}$$

Оптимальные сроки компостирования составляют 1,5 месяца от начала экспозиции. Выдерживание менее 1,5 месяцев недостаточно для микробиологического разложения исходного сырья и отходов, а после 3 месяцев наблюдается снижение микробиологической активности [2].

Компосты можно закладывать на свободных иловых картах, имеющих дренажи для отвода лишней воды.

Очистные сооружения, как правило, имеют трактор в автопарке, необходимо только приобретение ворошителя, стоимость которого составит $P_v = 118919$ руб.



Рисунок 1 – Ворошитель для получения компоста 3,3 м – АТОМ 3300

В качестве добавки к ОСВ можно использовать торф. Стоимость 1 т торфа составит 100 руб., доставка 10 руб. за 1 т, итого 110 руб., торф можно добавлять в компост в соотношении 1 часть ОСВ и 1 часть торфа.

Тогда, затраты на приобретение торфа

$$\Pi_t = 1000 \cdot 110 = 110000 \text{ руб.}$$

Ежегодно с целью формирования откосов предприятия по строительству автомобильных дорог закупают грунт для высаживания травы на откосах. Если заменить закупку грунта на закупку компоста на основе ОСВ весом 1500 т (т. к. ОСВ имеет 98 % влажности, то при компостировании с торфом

получим 1500 т компоста) и учесть, что средняя стоимость грунта на рынке 100 руб., то выгода за продажу компоста ежегодно составит

$$П_{осв} = 1000 \cdot 110 = 110000 \text{ руб./год.}$$

Оценка эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий основывается на соотношении затрат и выгод. Эффективность природоохранного мероприятия может быть определена как полученный от проведения мероприятия эффект, отнесенный к величине затрат, которые обеспечили его достижение.

Выгоды и затраты включают экономическую и экологическую составляющие с учетом установления принципа их равнозначности, что позволяет перенести экологическую составляющую затрат в экономическую категорию. Выгоде соответствует комплекс экономических и экологических результатов. Затратам соответствует совокупность расхода материально-финансовых ресурсов, характеризующихся размером экологического ущерба, возникающего в процессе реализации природоохранного мероприятия.

Эколого-экономическая эффективность внедрения системы компостирования, руб./руб.,

$$Э_{ээ} = P / И \quad (7)$$

где P – эколого-экономический эффект применения технологии компостирования; $И$ – совокупность всех дополнительных затрат на реализацию мероприятия.

Величина интегрального эколого-экономического эффекта в общем виде может быть определена как разность между выгодами от реализации применения технологии компостирования и дополнительными затратами на проектирование, строительство и эксплуатацию

$$P = П_{осв} + П_{э}, \quad (8)$$

Эколого-экономический эффект применения технологии компостирования

$$P = 110000 + 104790 = 214790 \text{ руб.}$$

Совокупность всех дополнительных затрат

$$И = П_{т} + P_{в}, \quad (9)$$

$$И = 110000 + 118919 = 228919 \text{ руб.}$$

Величина интегрального эколого-экономического эффекта в общем виде может быть определена как разность между выгодами от реализации при-

менения технологии компостирования и дополнительными затратами на проектирование, строительство и эксплуатацию

$$\text{Э}_{\text{э}} = 214790 / 228919 = 0,94.$$

Вывод. Полученная экономическая эффективность указывает на то, что компостирование ОСВ положительно скажется на снижении расходов очистных сооружений по размещению ОСВ на полигоне.

Список литературы

1 Изменения в ставках экологического налога : Закон Республики Беларусь «Об изменении законов» НК 25 от 13.12.2024 № 47-3 гл. 21.

УДК 574.5/6:628.3

РОЛЬ ГИДРОБИОЛОГИИ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Р. Н. ВОСТРОВА, Б. В. МАЗУРОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современном обществе человек активно использует множество химических веществ, которые зачастую попадают в сточные воды и поступают на очистные сооружения городов. Это может негативно сказываться на микроорганизмах, отвечающих за процессы активного ила в водоемах. Кроме того, в сточных водах наблюдается значительный рост концентраций азота и фосфора, что усугубляет экологические проблемы.

Ухудшение состояния окружающей среды и строгие требования по снижению негативного воздействия на природу требуют поиска новых эффективных технологий. Включение инновационных решений с использованием современного энергосберегающего оборудования может способствовать улучшению состояния водных экосистем, а именно биологической очистки. Биологическая очистка перед другими методами имеет довольно много важных преимуществ [1].

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать для своего питания находящиеся в сточных водах органические вещества, такие как спирты, кислоты, белки, жиры и другие вещества. Например, азот, который необходим бактериям для жизнедеятельности, извлекается из аммиака, нитратов, аминокислот, фосфора и калия – минеральных солей, содержащихся в сточных водах.

Гидробиология изучает биоту и взаимодействия различных видов микроорганизмов, таких как бактерии, водоросли и грибы, благодаря которым можно разлагать органические вещества и удалять загрязняющие компоненты из сточной воды. Также изучает отдельные виды микроорганизмов (гид-

робионтов) и взаимодействие их со сточной водой. Цель гидробиологии может быть определена как изучение водных экосистем, их обитателей и взаимодействий между ними, а также анализ влияния экологических факторов на биологическое разнообразие и функционирование водных сред. Организмы растительного и животного происхождения, приспособленные к существованию в водной среде, называются гидробионтами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Микроскопические гидробионты

На основе гидробиологических исследований разрабатываются эффективные методы биологической очистки сточных вод, такие как активный ил, биофильтры и другие технологии, использующие микробные сообщества для удаления загрязняющих веществ.

Для улучшения условий гидробионтов в сточных водах используется многоступенчатая очистка, снижение токсичности и повышение уровня растворенного кислорода. Основные методы – использование загрузки, биофильтров, очистку от озона и фосфора, а также контроль за выбросами промышленных отходов.

Одним из главных методов является загрузка. Использование микробиоты для интенсификации работы очистных сооружений получает наибольшую популярность и распространение во многих странах.

Для решения многих задач носители размещают в сооружениях, например, в первичных отстойниках они выполняют роль фильтрующих элементов, в биофильтрах на них развивается биопленка, в аэротенках носители поддерживают необходимую дозу активного ила для эффективной очистки.

Критериями выбора носителя являются: большая поверхность, пористость, механическая прочность и химическая стойкость, способность обеспечивать устойчивую жизнедеятельность микробиоты и самоочищение [2].

При использовании загрузки в зонах нитрификации на поверхности и внутри загрузочного материала образуется биопленка, которая обеспечивает дополнительную биомассу, увеличивающую окислительную способность аэротенка.

Увеличение рабочей концентрации активного ила за счёт иммобилизованной биомассы позволяет повысить эффект биологической очистки. В зонах нитрификации, оснащенных волокнисто-пористым полимерным носителем, достигается большая доза ила по сравнению с зонами со свободноплавающим илом. Это способствует более интенсивному изъятию загрязнений из сточных вод, обеспечивает глубокое протекание нитрификации.

При иммобилизации повышается устойчивость организмов активного ила к воздействию токсикантов. При гибели активного ила от воздействия токсичных веществ в системах с загрузкой происходит быстрое его восстановление [3]. Применение кассет полимерной загрузки сокращает риск вспухания активного ила в аэротенках.

Технологическая эффективность и эксплуатационная надежность зависят от материала носителя и его конструктивного исполнения. Стационарная загрузка, в отличие от плавающей, позволяет культивировать сообщества микроорганизмов, соответствующих качеству сточных вод и реализуемых биохимических процессы в конкретных точках аэротенков.

В настоящее время хорошо себя зарекомендовал носитель биомассы производства ООО «Гефлис» (Гомель, РБ), который обладает высокой однородностью волокнисто-пористого слоя, высокой сорбционной емкостью к биомассе, устойчивостью функциональных свойств и стабильными режимами биологической очистки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Кассеты с носителем биомассы производства ООО «Гефлис»

Носитель биомассы выполняется в виде волокнисто-пористого нетканого материала из синтетических волокон, соединенных между собой когезионными спайками в местах контакта, с объемной плоскостью $0,2\text{--}0,3 \text{ г/см}^3$. Полимерные волокна получают методом пневмоэкструзии с индексом текучести расплава полимера не менее 25 г/10 мин . Носитель выполнен в виде

полого цилиндрического элемента с толщиной стенки 5–10 мм, внутренним диаметром 45–55 мм и пористостью 65–80 %.

Срок службы кассет с носителем биомассы производства ООО «Гефлис» составляет не менее 10 лет при соблюдении технических правил обслуживания, а это: отсутствие длительного воздействия ультрафиолетового облучения, т. к. происходит деструкция материала кассет; недопущение протекания процессов замораживания и размораживания. Срок окупаемости кассет (при их внедрении на все четыре линии аэротенков) составляет около 29 месяцев.

Применение полимерной загрузки [4] производства ООО «Гефлис» позволяет: увеличить дозу активного ила без ухудшения работы вторичных отстойников; существенно увеличить эффективность очистки по основным загрязнениям; добиться стабильных значений по иловому индексу; увеличить концентрацию бактериальной массы и организмов высших трофических уровней, что целесообразно при реконструкции существующих аэротенков для повышения производительности и эффективности их работы.

Иммобилизационная загрузка играет ключевую роль в процессе очистки сточных вод, обеспечивая данные для разработки и оптимизации биологических методов очистки. Исследования в этой области позволяют изучать микроорганизмы и их взаимодействие с загрязняющими веществами, что способствует созданию эффективных и устойчивых технологий очистки.

Список литературы

1 Особенности биоценоза активного ила, находящегося в свободном состоянии и иммобилизованного на полимерном носителе / Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, А. В. Роденко, Р. Н. Вострова // Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2013. – № 4. – С. 219–223.

2 **Вострова, Р. Н.** Использование волокнисто-пористого носителя биомассы производства ООО «Гефлис» для интенсификации процессов биологической очистки сточных вод / Р. Н. Вострова, А. В. Роденко, Д. В. Макаров // Educatio. – 2015. – № 2 (9)-2. – С. 105–108.

3 **Ульрих, Д. В.** Биоинженерные сооружения для очистки загрязненных поверхностных стоков / Д. В. Ульрих // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2 (45). – С. 148.

4 Патент ЕА 007088. Носитель биомассы для фильтров биологической очистки сточных вод: № 200500433 : заявл. 30.03.2005 : опубл. 30.06.2006, Савицкий Н. Е., Лисицин В. Л., Кравцов А. Г.; заявитель ООО «Полимер». – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biotsenoza-aktivnogo-ila-nahodyaschego-sya-v-svobodnom-sosto-yanii-i-immobilizovannogo-na-polimernom-nositele> (дата обращения: 20.02.2026).

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А. А. ДРОЗДОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
drozdovaanastsia@gmail.com*

Современные высотные здания объединяют под одной крышей множество функциональных пространств: жилые помещения, торговые объекты, предприятия общественного питания и другие сервисы. Благодаря этому их можно рассматривать как универсальные комплексы, требующие продуманного подхода к созданию условий, отвечающих потребностям разных категорий пользователей.

В связи с этим при проектировании таких комплексов необходимо решение следующих задач: повышение надежности систем хозяйственного и питьевого водоснабжения, активное применение оборотных систем водоснабжения, внедрение автоматизированных систем управления зданием, а также обеспечение гарантированной и бесперебойной подачи воды потребителям. Не менее важной задачей является снижение общего уровня водопотребления здания.

Согласно вышеизложенному, в современных условиях систему внутреннего водоснабжения высотного здания необходимо проектировать с учётом ряда ключевых требований. Прежде всего, она должна обладать высокой долговечностью – срок её эксплуатации до наступления предельных состояний должен составлять не менее 50 лет. Важным условием является обеспечение сохранности имущества потребителей в случае протечек или аварийных ситуаций. Существенное значение имеет и высокий уровень пожарной безопасности объекта. Кроме того, необходимо предусматривать оборотные системы водоснабжения, автоматизированные системы управления зданием, а также гарантированную и бесперебойную подачу воды потребителям.

Высотные здания отличаются значительной этажностью, поэтому процесс эвакуации из них сопряжён с рядом сложностей и при возникновении чрезвычайных ситуаций может существенно осложняться. В связи с этим на системы противопожарного водоснабжения возлагается особая ответственность: они должны обеспечить оперативное сдерживание и ликвидацию возгорания, способствуя сохранению имущества и жизни людей. Система противопожарного водоснабжения предусматривает установку водонапорных баков с резервным неприкосновенным запасом воды на случай прекращения подачи воды в здание [2].

Для повышения надёжности рекомендуется проектирование кольцевой магистрали, обеспечивающей бесперебойность водоснабжения. Число вводов определяется расчётом, однако их должно быть не менее трёх, с прокладкой в разных частях здания [1].

В настоящее время в ряде реализованных объектов практически внедрены автоматические системы пожаротушения непосредственно в жилых помещениях. Такой подход предлагается использовать и в других высотных зданиях. Под потолком прокладывается сеть трубопроводов со спринклерами, которые при повышении температуры вскрываются и подают воду на очаг возгорания. Для отвода воды после срабатывания системы вдоль стен помещений целесообразно предусмотреть специальные лотки, закрытые декоративными решётками. По уклону вода направляется к трапу, соединённому с канализационным стояком.

Оборотные системы водоснабжения позволяют многократно использовать воду в различных внутренних процессах здания. Одним из рациональных решений является применение комбинированных санитарно-технических приборов, например умывальника, встроенного в сливной бачок унитаза. Принцип работы такой системы заключается в том, что после мытья рук вода из смесителя направляется для последующего использования в системе смыва. Такие системы экономят 85–95 % воды, исключают сброс стоков, снижают затраты на водопотребление и загрязнение водоемов.

Система автоматизации здания позволяет значительно обеспечить наиболее эффективное использование систем внутреннего водоснабжения, снижение вероятности передачи инфекций, а также достижение водосбережения. Система автоматизации водоснабжения здания – это комплекс технических средств (датчики, контроллеры, насосы, клапаны), направленных на управление процессом подачи воды без непосредственного участия человека.

Она должна обеспечить следующие основные функции и задачи.

1 Поддерживание давления: автоматическая регулировка давления воды в системе с помощью частотных преобразователей, исключая перепады при увеличении или уменьшении водоразбора.

2 Управление насосами: автоматическое включение/выключение основного, резервного или пожарного насоса в зависимости от текущей потребности и давления.

3 Поддерживание уровня: контроль уровня воды в накопительных баках и резервуарах (автоматическое наполнение).

4 Защита от «сухого хода»: автоматическое отключение насоса при отсутствии воды в источнике, чтобы предотвратить перегрев и поломку двигателя.

5 Защита от утечек: автоматическое перекрытие стояков или общей трубы при обнаружении протечки датчиками (система защиты от протечек).

6 Защита от аварий: мониторинг давления (защита от скачков, гидроударов) и аварийное перекрытие при превышении допустимых параметров.

7 Энергосбережение: оптимизация работы насосов (использование частотно-регулируемых приводов – ЧП), что снижает потребление электроэнергии.

8 Экономия воды: снижение потерь за счет точного поддержания давления и быстрого обнаружения утечек. Автоматический режим: работа системы по заданным алгоритмам без постоянного присутствия оператора.

9 Диспетчеризация и сигнализация: вывод данных о состоянии системы (давление, расход, работа насосов) на пульт оператора или в систему «Умный дом», выдача аварийных сигналов (звуковых, SMS/push-уведомлений).

10 Учет ресурсов: автоматический сбор показаний расхода воды (счетчики) и передача данных [3].

Таким образом, надёжность, долговечность и пожарная безопасность должны стать приоритетными принципами при проектировании. Особую роль играет внедрение автоматизированных систем управления, обеспечивающих стабильность работы оборудования, предотвращение аварийных ситуаций, энергосбережение и рациональное использование водных ресурсов. Применение оборотных схем водоснабжения, систем повторного использования воды и водосберегающих приборов позволяет существенно снизить уровень водопотребления и эксплуатационные затраты.

В современных условиях основной задачей становится постоянное совершенствование технологий водоснабжения высотных зданий, направленное на повышение их безопасности, экологичности и ресурсной эффективности. Только комплексный подход к проектированию инженерной инфраструктуры позволит создать комфортную, устойчивую и безопасную среду для проживания и работы в высотных комплексах.

Список литературы

1 Белоусова, Г. Н. Санитарно-техническое оборудование зданий : лаб. практикум / Г. Н. Белоусова, А. М. Ратникова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 64 с.

2 Астахов, Н. Н. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения жилых зданий : учеб. пособие / Н. Н. Астахов, С. В. Писарев. – Электросталь : ЭИ (ф) МПУ, 2018. – 36 с.

3 Телицкий, Г. А. За пределами автоматики: что нужно инженерным системам для реальной экономии? / Г. А. Телицкий // АВОК. – 2026. – № 1. – С. 36–37.

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНТЕНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ

А. С. ЖАЛАБКЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. В условиях глобального роста энергопотребления и истощения запасов ископаемого топлива особую актуальность приобретает поиск альтернативных возобновляемых источников энергии. Примерно 88 % производимой в мире энергии по-прежнему базируется на ископаемом топливе, что усугубляет проблему энергетической безопасности, учитывая политическую нестабильность в регионах добычи. В этом контексте биомасса, в частности органические отходы, рассматривается как перспективное сырье. Понятие «биомасса» охватывает вещества растительного и животного происхождения, а также продукты их переработки, и является эффективным и возобновляемым источником энергии.

Одним из эффективных методов очистки сточных вод с получением энергии является анаэробное сбраживание в метантенках. Однако внедрение таких технологий требует не только учета потенциальной энергетической выгоды, но и тщательного анализа технологических ограничений, состава перерабатываемого сырья и экологических последствий утилизации продуктов сбраживания [1]. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью системной оценки факторов, влияющих на очистные сооружения.

Цель работы. Анализ технологических решений и подходов, определяющих целесообразность использования метантенков для сбраживания осадков сточных вод.

Основные результаты. Метантенки представляют сооружения (преимущественно цилиндрической или яйцевидной формы), предназначенные для анаэробной стабилизации осадков, образующихся при очистке сточных вод. Основным технологическим процессом является сбраживание смеси осадка из первичных отстойников и избыточного активного ила в термофильных или мезофильных условиях.

В ходе этого процесса под действием анаэробных микроорганизмов сложные органические соединения последовательно проходят стадии гидролиза, кислотообразования и метаногенеза с образованием конечных газообразных продуктов – метана и диоксида углерода [1].

Эффективность метантантенового сбраживания в значительной степени детерминируется морфологическим и химическим составом исходного субстрата. Высокое содержание легкоокисляемых органических соединений (липиды, углеводы, белки) способствует интенсификации газообразования,

тогда как наличие инертных или трудноразлагаемых компонентов, таких как лигнин или некоторые синтетические полимеры, снижает удельный выход целевого продукта. Скорость и полнота деструкции органического вещества также зависят от доступности субстрата для ферментативных систем микроорганизмов, что связано с дисперсностью частиц и их способностью к гидролизу.

При анализе материальных балансов установлено, что основная масса органического углерода перераспределяется между газовой фазой (биогаз) и обезвреженным твердым остатком. Степень конверсии органического вещества варьирует в зависимости от гидравлической нагрузки и времени пребывания массы в метантенке. Увеличение нагрузки сверх определенного предела может приводить к накоплению летучих жирных кислот и снижению рН среды, что угнетает метаногенную микрофлору. Стабильность процесса сбраживания достигается при соблюдении определенного соотношения углерода и азота в загружаемой смеси; отклонение от этого соотношения требует корректировки состава путем совместного сбраживания разнотипных субстратов или введения добавок [1, 3].

Значительным резервом повышения эффективности является совершенствование конструкции реакторов и режимов сбраживания. Двухфазное сбраживание, при котором процессы гидролиза с кислотообразованием и метаногенеза пространственно или временно разделены, создает более благоприятные условия для развития специализированных микроорганизмов на каждой стадии. Такая организация процесса позволяет достичь более полной деградации органического вещества и повышения содержания метана в биогазе по сравнению с традиционной одноступенчатой схемой.

Важную роль в обеспечении эффективности сбраживания играет система перемешивания субстрата в метантенке. Перемешивание способствует равномерному распределению свежего субстрата и бактериальной биомассы по объему аппарата, выравниванию температурного поля, предотвращению образования поверхностной корки и осаждения плотных фракций, а также удалению пузырьков образовавшегося газа из толщи жидкости. Применение гидравлического (рециркуляционного) перемешивания для реакторов большого объема обеспечивает непрерывность процесса, снижает долю застойных зон и упрощает техническое обслуживание за счет наружного расположения насосного оборудования, что исключает необходимость вскрытия корпуса для ремонта.

Конструктивная форма метантенка также оказывает влияние на гидродинамику потоков и эффективность использования объема. Яйцевидная форма, характерная для ряда крупных сооружений, способствует лучшей циркуляции осадка, уменьшает площадь зеркала жидкости для образования корки и обеспечивает более равномерный температурный режим по высоте аппарата.

Энергоэффективность комплекса обработки оценивается возможностью использования биогаза в когенерационных установках. Биогаз, содержащий в качестве основного горючего компонента метан, после очистки от сероводорода и влаги может быть подан в газопоршневые двигатели или газовые турбины. Тепло, образующееся при охлаждении двигателей и утилизации выхлопных газов, направляется на подогрев свежего осадка и поддержание технологической температуры в метантенках, что позволяет существенно снизить внешнее энергопотребление.

На отдельных объектах внедрение систем сбора и утилизации биогаза обеспечивает не только полное теплоснабжение самих реакторов, но и генерацию избыточной электрической энергии, которая может быть использована для питания насосного и воздуходувного оборудования либо передана во внешнюю сеть. Энергетический потенциал получаемого биогаза может быть реализован как непосредственно на площадке для покрытия собственных нужд, так и путем промышленной генерации электроэнергии.

Помимо энергетической ценности, биогаз рассматривается как продукт, утилизация которого позволяет сократить выбросы парниковых газов в атмосферу по сравнению с открытым хранением нестабилизированных осадков. Образующийся сброженный остаток характеризуется сниженной концентрацией органических соединений, улучшенными седиментационными свойствами и отсутствием неприятного запаха. Данный остаток содержит соединения азота, фосфора и калия и может быть использован в качестве удобрения или структурообразователя почв при условии контроля содержания тяжелых металлов и патогенной микрофлоры [2].

Вывод. Проведенная оценка позволяет рассматривать метантеновое сбраживание как технологически состоявшийся метод обработки органических осадков, обеспечивающий их стабилизацию и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Эффективность данного метода определяется комплексом взаимосвязанных факторов, охватывая состав исходного субстрата, гидравлический режим, температурные условия и конструктивные особенности реактора. С экологической точки зрения метод обеспечивает сокращение неконтролируемых выбросов парниковых газов и позволяет получать стабилизированный остаток, пригодный для дальнейшего использования в агротехнических целях при соблюдении соответствующих нормативных требований. Целесообразность применения метантантенового сбраживания наиболее полно реализуется в составе крупных централизованных систем водоотведения и агропромышленных комплексов с гарантированным притоком субстрата.

В таких условиях достигается баланс между капитальными затратами на сооружение реакторов, энергетической эффективностью процесса и экологическим эффектом от утилизации осадков.

Список литературы

1 **Пуринг, С. М.** Особенности использования биогаза, образующегося на очистных сооружениях / С. М. Пуринг, Д. Н. Ватузов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сб. ст. 79-й Всерос. науч.-техн. конф., Самара, 2022 г. ; Самарский гос. техн. ун-т. ; под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, А. К. Стрелкова. – Самара, 2022. – С. 715–720.

2 **Москвичева, А. В.** Канализационные очистные сооружения. Механическая очистка / А. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, А. А. Геращенко. – Волгоград, 2018. – 186 с.

3 **Ковалев, Д. А.** Влияние нагрузки по органическому веществу на процесс биоконверсии предварительно обработанных субстратов анаэробных биореакторов / Д. А. Ковалев, А. А. Ковалев, Ю. В. Литти [и др.] // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 12. – С. 9–13.

УДК 551.4(476.13)

СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ В МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

П. Г. КУРЛОВИЧ, А. М. ЗИМИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
kurlovich.pk@gmail.com, alexandrachimich@gmail.com*

Проблема качественного водоснабжения не теряет актуальности на протяжении многих лет. Активное развитие и строительство водозаборных сооружений, станций водоподготовки и водопроводных сетей проводилось в 1970-1980-х годах. Состояние таких водопроводных систем не соответствует современным требованиям. Проблема заключается в том, что некоторые скважины выработали эксплуатационный срок работы, закольматировались или частично разрушены, насосное оборудование устарело. Водопроводные сети прокладывались из чугунных и металлических труб, в настоящее время они частично разрушены, стенки истончены, образовались железистые накопления внутри труб, что приводит к уменьшению условного прохода трубы (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Внутренние отложения труб

При устройстве некоторых систем водоснабжения в малых населенных пунктах станции водоподготовки не применялись, что обусловлено хорошим качеством воды в источнике водоснабжения. При современном состоянии водоносных горизонтов и нормах водоснабжения такие сооружения необходимы [1].

Системы водоснабжения по общему составу сооружений и их работе, а также в части подачи и распределения воды потребителям имеют особенности режима работы. Особенность режима водопотребления проявляется при определении степени неравномерности водопотребления по часам суток, зная который можно выбирать наиболее приемлемую схему питания сети и общую схему водоснабжения. Малые сельские посёлки и посёлки городского типа характеризуются резко выраженной неравномерностью суточного водопотребления, когда $K_{\text{час.нер.}} = 1,5 \dots 2,2$, а также неравномерностью водопотребления по сезонам года [2].

Сооружения системы водоснабжения, подающие воду потребителю – водопроводные сети, водонапорные башни, насосные станции второго подъёма безбашенных систем – следует рассчитывать с учётом часовых колебаний. Расходы на полив зелёных насаждений относят на часы минимального и среднего хозяйственно-питьевого водопотребления. Максимальный часовой расход воды находят по суммарному графику водопотребления.

При таком режиме водопотребления принимается башенная система питания сети (рисунок 2), которая является наиболее экономически целесообразной, но не всегда правильно используется на практике.

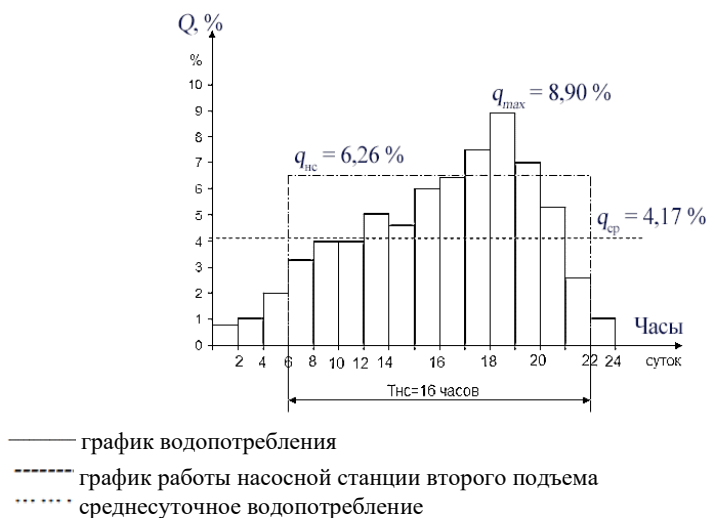


Рисунок 2 – График водопотребления и работы насосной станции второго подъёма (башенный вариант)

По действующим в настоящее время нормативным документам [3] для систем водоснабжения любой категории по проекту не должно приниматься меньше 2 скважин (1 рабочая, 1 резервная). Однако часто в действующих системах водоснабжения работает одна скважина и при выходе её из строя, без питьевой воды остаётся полностью населённый пункт. Если рассматривается такая схема, необходимо учитывать ограничения в отношении объёма и высоты башни, её конструкции и возможности строительства с учётом сейсмичности района расположения объекта.

Необходимо также учитывать возможность использования типовых проектов, применение которых ограничено в силу больших расчётных объёмов и высот водонапорных башен.

Безбашенная схема водоснабжения целесообразна для обеспечения водой посёлков городского типа и городов с разным составом водопотребителей (промпредприятия, строительные объекты и т. д.).

В случае равномерного водопотребления по часам суток башенная схема водоснабжения не применяется, за исключением отдельных пригородных районов с малым количеством водопотребителей. График водопотребления при безбашенной схеме более пологий в силу большей численности населения и круглосуточного режима работы предприятий [2]. При таких схемах работу насосов необходимо назначать при соответствующем обосновании по строительной стоимости и эксплуатационным затратам. Возможны варианты с последовательным включением нескольких насосов, отличающихся расходами, мощностью и эксплуатационными затратами на электроэнергию. Количество насосов при выборе должно быть по возможности меньшим, при этом предпочтение отдаётся насосам с большим коэффициентом полезного действия, работающим длительное время. Учитывая необходимость взаимозаменяемости насосов, принимаются насосы одинаковой марки. Количество резервных насосов принимается по количеству рабочих насосов в соответствии с классом насосной станции, который зависит от количества водопотребителей [3].

Безбашенная система водоснабжения представляет современное техническое решение, при котором вода подается потребителям напрямую от насосного оборудования, минуя водонапорную башню. В отличие от башенных схем, где регулирующий объем воды составляет около 15 % от суточной производительности, безбашенные системы работают по прямоточной схеме с использованием частотно-регулируемых приводов насосных агрегатов.

Ключевым преимуществом таких систем выступает значительное повышение качества воды, поскольку вода из скважины поступает в водопровод по замкнутому циклу. Стабильное давление в сети поддерживается автоматически за счет плавного регулирования оборотов насоса, а не циклическим включением-выключением. Это позволяет экономить электроэнергию на 10–20 % и продлевает срок службы насосного оборудования.

Принципиальным недостатком безбашенной схемы является отсутствие запаса воды. При отключении электроэнергии подача воды прекращается полностью, создавая риски в зимний период. Поэтому на практике часто применяются комбинированные решения: зимой система работает в безбашенном режиме, а летом, при возрастании водопотребления, башни подключаются обратно.

Достоинством башенных систем является автономность и надежность. Наличие резервуара гарантирует создание необходимого запаса воды, что особенно ценно в условиях перебоев с электроснабжением или при авариях на насосном оборудовании. Вода в башне может отстаиваться, что в некоторых случаях улучшает ее качество, например, способствует удалению сероводорода. Кроме того, простая и понятная автоматика, управляющая насосами по уровню воды, не требует сложного обслуживания.

К недостаткам башенной системы можно отнести высокие капитальные затраты на строительство и монтаж, а также значительные эксплуатационные расходы, включающие регулярное обслуживание, очистку, антикоррозийную обработку и ремонт. Металлические конструкции подвержены коррозии [4], что со временем ухудшает качество воды и снижает надежность сооружения.

Однако для многих сельских и удаленных поселений башенная схема остается востребованной благодаря способности обеспечивать гарантированную подачу воды при нестабильном энергоснабжении и относительно простой эксплуатации.

Водоснабжение малонаселенных пунктов остается одной из ключевых задач, стоящих перед современным обществом. Обеспечение доступа к чистой воде является неотъемлемым правом каждого человека и важным фактором улучшения качества жизни в удаленных и малонаселенных регионах.

В условиях глобальных изменений климата и роста населения поиск эффективных и устойчивых решений для обеспечения водных ресурсов становится особенно актуальным.

Таким образом:

- системы водоснабжения с различным количеством водопотребителей могут резко отличаться по составу сооружений;
- при выборе схемы водоснабжения необходимо учитывать режим водопотребления и на его основе рассматривать возможный состав сооружений.

Список литературы

1 **Помогаева, В. В.** Комплексная оценка строительства систем водоснабжения для малых населенных пунктов / В. В. Помогаева, К. А. Солнцева. – 11-е изд. – Воронеж: E-Scio, 2021. – 62 с.

2 **Сомов, М. А.** Наружное водоснабжение : учеб.-метод. пособие / М. А. Сомов, Л. А. Квитка. – М. : Инфрам, 2007. – 287 с.

3 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : СН 4.01.012-2019. – Введ. 31.10.2019. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 381 с.

4 Кудина, Е. Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е.Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.

УДК 628.35

ОБ ОБЪЕМАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ НА МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. Ф. КАРПЕНКО

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, kaf51@list.ru*

Актуальность. Жизнедеятельность человека во многом обусловлена качеством окружающей среды. Природа щедро одарила Беларусь природными ресурсами. Например, на Гомельщине леса занимают около 45 % территории. Область отличается высоким уровнем обеспеченности запасами пресной воды. Она располагает 54 % от всего речного стока страны, по территории области протекает более 400 рек и ручьев, имеется более 250 прудов, озёр и водохранилищ [1]. Для Беларуси характерно высокое развитие промышленности. Интенсивно развивается агропромышленный потенциал.

В агропромышленном производстве основополагающей является молочная промышленность, обеспечивающая население множеством пищевых продуктов (молоко, сухое молоко, масло, сыр и др.). Однако при их изготовлении образуются достаточно большие объемы твердых и жидких отходов. В этой связи переработка молока является одним из главных источников концентрированных и сложных по составу сточных вод, обусловленных высоким показателем водопотребления предприятий, высокой биологической и химической потребностью сточных вод в кислороде, большим содержанием белков, жиров, лактозы, а также детергентов и дезинфицирующих средств. Без правильно организованной очистки такие воды могут вызывать серьезные экологические проблемы при поступлении в окружающую среду [2].

Цель работы. Рассмотрение водопотребления на молокоперерабатывающих предприятиях республики.

Основные результаты. В Беларуси молочное производство является не только базовой основой продовольственной безопасности, но и занимает одно из ведущих мест в пищевой промышленности. В республике в 2023 г. было получено 8,33 млн т молока, что на 5,9 % превысило показатель 2022 г. Достигнуть этого удалось благодаря увеличению продуктивности коров на 327 кг, которая за год составила 5803 кг. Производство молока в расчете на душу населения за период с 2000 по 2023 год увеличилось с 450 до 908 кг [3].

Молочнопромышленный сектор пищевой промышленности включает предприятия по выработке молочных продуктов: животного масла, сыров, консервированных и замороженных изделий, сухих смесей и др. Этот сектор выполняет важнейшую роль в экономике страны, обеспечивает ежегодный прирост производства молочной продукции на внутренний рынок, активно осваивает экспортные направления.

Ассортимент продукции молочного сектора превышает 1500 наименований молочных товаров высочайшего качества. В условиях усиливающейся конкуренции предпочтения потребителей обеспечиваются непрерывным обновлением ассортимента.

В последнее десятилетие в республике молочная промышленность бурно развивается, что подтверждается стабильной динамикой увеличения производственных мощностей, а также увеличением объемов переработки молока.

При этом необходимо подчеркнуть, что увеличение объемов переработки молока влияет, прежде всего, на объемы использования воды на производственные нужды и объемы сброса сточных вод. Известно, что в молочной промышленности среднегодовой расход воды на переработку 1 т молока составляет около 15,0 м³ и образуется около 14,8 м³ сточных вод. Простой расчёт показывает, что для переработки 8,33 млн т молока молочным предприятиям республики необходимо около 120 млн м³ воды, что составляет примерно 10 % от объема изымаемой из поверхностных водоёмов и добываемой из подземных источников [3]. К этому следует добавить, что объемы производства молока предусматривается увеличивать до 9–10 млн т. В этой связи анализ водопользования на предприятиях молочной промышленности в нынешних условиях особенно актуален, так как позволяет искать пути оптимизации водопотребления и водоотведения, снижающие удельное водопользование на единицу производимой продукции либо перерабатывающего сырья. В настоящее время в молочной промышленности проводится работа по строительству и реконструкции канализационно-очистных сооружений. На многих предприятиях сети очистных сооружений представляют собой примитивные локальные устройства, рассчитанные лишь на механическую очистку. Примерно только на 19 % заводов очистные сооружения работают удовлетворительно, а на 20 % предприятий они или не работают или не соответствуют санитарно-техническим требованиям [4]. Например, сырзавод, перерабатывающий в день около 50 т молока и спускающий всю сыворотку в канализацию, равнозначен хозяйственно-бытовому стоку города с населением 50 тыс. человек.

Не имея эффективных очистных сетей, предприятия вынуждены допускать периодический сброс вод, сильно загрязненных органическими веществами, а также слив в канализацию сыворотки, которая не только ухудшает работу очистных устройств, но и пагубно влияет на все живое при попадании в водоемы.

В данной ситуации, учитывающей актуальность проблемы очистки сточных вод и нереальность быстрого строительства очистных сооружений, необходим самый жесткий контроль за соблюдением экологических требований спуска сточных вод и содержания в них вредных веществ.

В настоящее время в Беларуси действует Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности, утвержденная заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [4]. В ней даны основные методические положения и рекомендации по разработке нормативов водопотребления и водоотведения, методика определения расходов воды на производственные нужды, на санитарную обработку, на нужды вспомогательного производства, на хозяйственно-бытовые нужды, а также методика определения безвозвратного потребления и потерь воды.

Для выполнения рекомендаций, и в соответствии с данной Инструкцией, на предприятиях молочной промышленности систематический контроль за количеством и состоянием сточных вод должна обеспечивать хорошо налаженная работа производственных лабораторий.

Национальной стратегией управления водными ресурсами до 2030 года в области охраны окружающей среды Республики Беларусь предусмотрены такие показатели, как увеличение в промышленности объемов расхода воды в системах оборотного и повторного водоснабжения до 95 %; прекращение отведения неочищенных сточных вод в водные объекты; сокращение сброса в водные объекты тяжелых металлов и стойких загрязнителей на 95 %, азота и фосфора на 50 % [5]. Следовательно, действующие в настоящее время в республике стратегические документы в области использования и охраны водных ресурсов требуют от предприятий молочной промышленности дополнительные обязательства в части экологизации производства. Поэтому вопросы оптимизации водопользования на предприятиях молочной промышленности в нынешних условиях особенно актуальны.

Выводы. Для снижения расхода воды, выполнения экологических требований в области охраны окружающей среды необходимы строгие нормирование и контроль водопользования со стороны предприятий молочной промышленности. Контроль за потреблением воды должен начинаться с каждого индивидуального технологического процесса, учитывающих объем сырья, объем и ассортимент выпускаемой продукции, объем водопотребления и водоотведения, качество сточных вод.

Список литературы

1 Синило, Л. М. Состояние окружающей среды Гомельской области, приоритетные задачи и направления природоохранной деятельности / Л. М. Синило // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2014. – С. 3–10.

2 **Васильев, Л. Г.** Гигиеническое и противоэпидемиологическое обеспечение производства молока и молочных продуктов / Л. Г. Васильев, Н. И. Абрамова-Оболенская, В. А. Павлов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 302 с.

3 Статистический ежегодник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 14.02.2024).

4 Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности : утв. первым заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь 19 декабря 2007 г. – Минск : Институт мясо-молочной промышленности, 2007. – 57 с.

5 Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь № 91 от 22.02.2022. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/ (дата обращения: 14.02.2025).

УДК 628.356.39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ В АЭРОТЕНКАХ

М. В. КЛИМЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. В современных условиях наблюдается тенденция к рациональному водопотреблению населением, что обуславливает снижение нормы водоотведения. Данный фактор приводит к возрастанию концентраций загрязняющих веществ в сточных водах. Увеличение загрязнений сточных вод создает дополнительные технологические барьеры для их эффективной очистки, что актуализирует необходимость интенсификации работы очистных сооружений.

Биологическая очистка является основным методом обработки сточных вод. Основным сооружением биологической очистки сточных вод является аэротенк. Одним из методов улучшения качества очистки сточных вод в аэротенках является увеличение дозы активного ила.

Повышение дозы ила достигается установкой в аэротенк носителей биомассы с большой поверхностью для обрастания биопленкой. Это приводит к формированию биоценоза, образованного на инертных синтетических носителях, и к существенному росту общей концентрации биоценоза в аэротенке-биореакторе.

Цель работы. Определение эффективности использования загрузки для интенсификации работы аэротенков.

В последнее время научно-технический прогресс в области очистки сточных вод ориентирован на гибридные процессы с совместным существованием свободного ила и биопленки. Применение загрузки интенсифицирует накопление биомассы в аэротенке без негативного влияния на величину илового индекса.

Основные результаты. Научные и практические разработки последних лет демонстрируют эффективность различных материалов, таких как каркасная, плавающая и ершовая загрузка.

Присутствие загрузочных элементов в аэротенке обеспечивает пространственное разделение процессов нитрификации и денитрификации глубинных слоев биопленки. В глубинных слоях формирующейся на поверхности носителя биопленки, характеризующихся ограниченной диффузией кислорода, создаются аноксидные микрозоны, благоприятствующие протеканию денитрификации. Имобилизованные на загрузке нитрифицирующие бактерии, в отличие от свободноплавающих форм, сохраняются в системе вне зависимости от снижения температуры и при высоких гидравлических нагрузках

Каркасная загрузка обладает жесткой конструкцией и способностью удерживать значительную биомассу при относительной простоте монтажа и регенерации. При применении каркасных блоков очистка осуществляется двумя биоценозами ила: биоценозом активного плавающего ила, находящимся в иловой смеси, и биоценозом имобилизованного ила, сформированным на инертной каркасной загрузке. Биоценоз, прикрепленный к загрузке, в меньшей степени подвержен влиянию периодически поступающих угнетающими активностью ила веществами. Прикрепленный к инертной синтетической загрузке имобилизованный ил обеспечивает относительно равномерное его распределение по объему аэротенка, что способствует наличию фиксированной кинетики окисления загрязняющих веществ.

В исследованиях Кулькова В. Н. и Солопанова Е. Ю. рассмотрено применение каркасной загрузки для формирования имобилизованного биоценоза. Такой подход обеспечивает развитую поверхность для прикрепления микроорганизмов и позволяет интенсифицировать процессы окисления органических веществ за счет увеличения концентрации биомассы в зоне реакции.

Показана хорошая динамика формирования имобилизованного ила на загрузке, размещенной в центральной зоне биореактора, которая описывается экспоненциальной зависимостью. Неравномерное распределение адсорбированного ила по объему каркасной загрузки вызвано гидродинамическими потоками в поперечном сечении аэротенка. Эффективность воздушной регенерации имобилизованного ила составляет ~96 %. Кинетика БПК в аэробных условиях проходит через четыре фазы: отсутствие изменений при адаптации ила; экспоненциальное уменьшение; замедление скорости уменьшения БПК и самоокисление ила при эндогенном дыхании при постоянной величине БПК. Зависимость динамики скорости очистки стоков, по выделенным фазам изменения БПК, имеет экстремальный характер с максимумом. В финальной зоне, характеризующейся недостатком питательных веществ, скорость очистки стоков уменьшается с 29,7 до 9,3 мг/(г ч) [2].

Плавающая (подвижная) синтетическая загрузка находится в свободном движении в объеме аэротенка, обеспечивая развитую поверхность для иммобилизации микроорганизмов.

Эффективность работы аэротенков с плавающей загрузкой в значительной степени определяется гидродинамической обстановкой в реакторе. Гидродинамика играет ключевую роль в регулировании характеристик биопленки, включая ее толщину, развитие и площадь поверхности. Недостаточная проработка гидродинамических аспектов приводит к снижению производительности реактора с точки зрения удерживания жидкости и массопереноса, включая распределение загрузки по объему сооружения.

Плавающая загрузка также увеличивает производительность станции биологической очистки, делает биологические сооружения более устойчивыми к резким сбросам загрязнений и способствует процессу нитрификации [3].

Процесс формирования биопленки на плавающей загрузке проходит несколько стадий: аккумуляция органических веществ и микроорганизмов на поверхности носителя, массовая колонизация, формирование зрелой биопленки с внеклеточными полимерными веществами и частичное отслаивание.

Использование подвижных носителей (как правило, из полимерных материалов) способствует постоянному обновлению биопленки в результате истирания и обеспечивает хороший массообмен. Такие системы часто применяются в аэротенках-смесителях для очистки высококонцентрированных стоков [4].

Ершовой загрузка представляет совокупность ершей из капроновой лески, закрепленных вдоль нержавеющей проволоки. Такая конструкция обеспечивает создание идеальных условий для размножения микроорганизмов за счет развитой поверхности и возможности удержания биопленки.

На основании исследований видового состава биоценоза иммобилизованного ила, проведенных Кульковым В. Н., Солопановым Е. Ю., Камаловым Р. Т., было установлено, что при использовании ершовой загрузки уменьшилось количество коловраток, колониальных и прикрепленных инфузорий, малощетинковых червей и сосущих инфузорий, но увеличилось число бентосных амёб, круглых червей, нематод и водорослей, что свидетельствует о загнивании иммобилизованного ила. Количество микроорганизмов всех видов в течение десяти суток существенно меняется – от 28 до 38 шт., что составляет ~26 %. Количество нематод возрастает до 9 шт. (100 %) за 6 дней при одновременном зеркальном уменьшении количества колониальной инфузории, что свидетельствует о загнивании ила [1].

Выводы. Применение загрузочных материалов в аэротенках представляет одно из приоритетных направлений развития систем водоотведения. Методы иммобилизации микрофлоры на каркасных, плавающих и ершовых носителях обеспечивают решение широкого спектра технологических задач – от интенсификации окисления органических соединений до достижения

устойчивой нитрификации-денитрификации. Опыт реконструкции очистных сооружений свидетельствует, что организация специализированных зон и интеграция загрузочных материалов позволяют повысить качество очистки в несколько раз при одновременном увеличении производительности. Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией типов носителей для обработки специфических производственных стоков и совершенствованием методов утилизации избыточной биопленки.

Список литературы

1 **Кульков, В. Н.** Динамика и видовой состав биоценоза иммобилизованного ила на ершовой загрузке. / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, Р. Т. Камалов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 60–66.

2 **Кульков, В. Н.** Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 753–763.

3 Прогнозирование параметров регенерации плавающей загрузки в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, В. И. Дударев, А. К. Майновская // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 635–644.

4 Обзор усовершенствованных гидродинамических систем в биореакторах с подвижным слоем (Moving Bed Biofilm Reactors, MBBR) для очистки сточных вод: перспективы развития // ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343725014472> (дата обращения: 20.02.2026).

УДК:551.4(476.13)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Ю. КОРШУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проведение работ по восстановлению изношенных трубопроводов сопряжено с проблемами обеспечения безопасности, в том числе экологической, и восстановления благоустройства территории, нарушенного в результате прокладки инженерных сетей, а также с вопросами рационального использования финансовых ресурсов. Способ реконструкции трубопроводов путем открытой перекладки изношенных труб может успешно применяться для межпоселковых трубопроводов, в сельской местности, в небольших городах и населенных пунктах на улицах с минимальной плотностью подземных коммуникаций и неинтенсивным движением транспорта, проезд по которым несложно на некоторое время перекрыть.

Бестраншейные технологии по многим параметрам (экономичности, скорости строительства, экологичности и другим) превосходят открытый способ строительства, ремонта и реконструкции подземных трубопроводов любого назначения.

Основные преимущества бестраншейных технологий: возможность применения при наличии личных естественных и искусственных препятствий (реки, озера, овраги, лесные массивы и т. п.); длина участка, реконструируемого *бестраншейной* за один проход, может достигать 400 и более метров; применимость в нестабильных или тяжелых грунтовых условиях; отсутствие необходимости в проведении работ по водопонижению и откачке в условиях высокого стояния грунтовых вод; снижение риска повреждения существующих коммуникаций; исключение затрат на перенос существующих коммуникаций вследствие отсутствия необходимости проведения данного комплекса мероприятий; сохранение целостности твердых дорожных покрытий и зеленых насаждений, так как котлованы для монтажных операций устраиваются только в начале и конце восстанавливаемого участка трубопровода либо необходимость в котлованах полностью отсутствует ввиду возможности проведения работ между существующими колодцами [1].

При этом следует отметить, что применение полимерных материалов позволяет частично или даже полностью отказаться от антикоррозионных мероприятий, в том числе устройства электрохимической защиты (ЭХЗ) старой трубы и увеличения срока службы трубопровода, которые повышают его ремонтпригодность и удобство обслуживания. Реконструированные при помощи полимерных материалов трубопроводы обладают значительно более высокой, по сравнению со стальными, надежностью.

Указанные преимущества обуславливают тот факт, что в последние десятилетия при восстановлении изношенных трубопроводов все больше применяются бестраншейные технологии с применением полимерных материалов. Качественно проведенная реконструкция позволяет предотвратить внутреннюю коррозию металлических стенок трубопровода, обеспечить *высокий* уровень надежности без изменения основных технических характеристик, сохранить или улучшить качество транспортируемой среды [2].

В мировой практике известны следующие виды бестраншейной реконструкции изношенных трубопроводов: протяжка длинномерной трубы; протяжка плотно прилегающей к стенке изношенного трубопровода длинномерной полимерной трубы; протяжка заготовки в виде шланга (рукава), предварительно пропитанной специальной смолой, с последующим отверждением в форме трубы; протяжка короткими патрубками, свариваемыми в процессе санации; протяжка импрегнированных рукавов с нанесением на наружную поверхность адгезива; протаскивание нового трубопровода в поврежденный старый; нанесение различных покрытий на внутреннюю поверхность восстанавливаемого трубопровода; нанесение местных (не сплошных) покрытий [3]. Сравнительная оценка технологий прокладки наружных сетей приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная оценка технологий прокладки наружных сетей

Показатель	Траншейный метод	Бестраншейные технологии (ГНБ, прокол)
Время монтажа, дн./100 м	12–15	6–8
Нарушение благоустройства	Высокое	Низкое
Уровень шума и вибраций	Высокий	Средний
Срок службы, лет	30–40	40–50
Экологическое воздействие (1–5)	4,5	2,0
Применимость в плотной застройке	Ограниченная	Хорошая

Таким образом, бестраншейные технологии показали наилучшее сочетание технических и экологических характеристик.

Применяемые в бестраншейных технологиях трубы можно классифицировать на протягиваемые и продавливаемые. Бестраншейные технологии можно разделить на «рукавные» и с «напыляемыми покрытиями». Первый вариант подразумевает протаскивание в трубопровод полимерного рукава, например, ПЭ100-RC (трубы, шланга, чулка), который формирует «трубу в трубе», его фиксацию, восстановление подсоединений и т. д., а второй – напыление на внутреннюю поверхность старой трубы защитного покрытия. Для напыления используют цементные и цементно-песчаные, жидкие полимерные твердеющие покрытия, а также полимербетоны [3, 4].

Область применения метода центрирующего протяжного приспособления широка – диаметры санируемых трубопроводов могут быть от 150 до 1500 мм, причем величина давления в трубопроводе не ограничена. Технология внутренней цементно-песчаной облицовки труб эффективно применяется при восстановлении работоспособности (санировании) изношенных подземных стальных и чугунных трубопроводов хозяйственно-питьевого, горячего водоснабжения и напорной канализации для санирования старых, инкрустированных и корродированных труб, а также как защита от коррозии для новых труб и трубопроводов из стали и чугуна.

Работы по нанесению цементно-песчаных покрытий должны включать проведение подготовительных технических мероприятий, а также подготовку и приготовление компонентов смеси. Санация трубопровода методом цементно-песчаного покрытия приведена на рисунке 1.

Все технологии бестраншейной реконструкции можно разделить на сопровождаемые разрушением или удалением старых труб (например, технологии пайпбарстинга, либо способы с применением установок для горизонтального направленного бурения (ГНБ)) и сохраняющие старые трубы (например, релайнинг, «Феникс»).

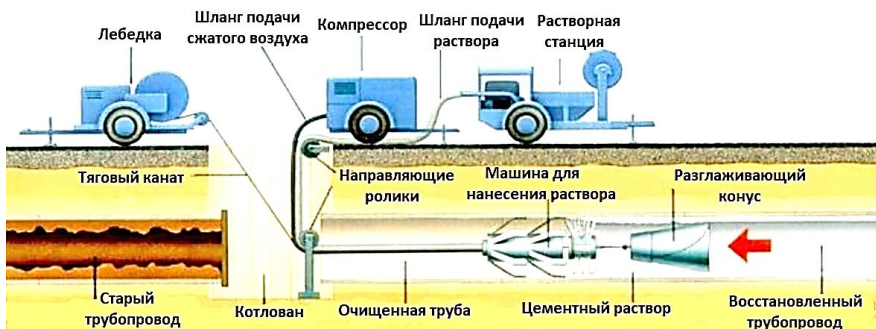


Рисунок 1 – Санация трубопровода методом цементно-песчаного покрытия

Каждому способу присущи как достоинства, так и ограничения, характерны определенные: состояние реконструируемого трубопровода; площадь защищаемой поверхности (зависит от того, реконструируется ли трубопровод по всему сечению или защитное покрытие наносится частично); стоимость; скорость реконструкции; климатические условия проведения работ и дальнейшей эксплуатации реконструированного трубопровода; стоимость используемого оборудования и материалов; потребность в квалифицированных специалистах и т. п.

Восстановление изношенных трубопроводов требует соблюдения экологической и технической безопасности, а также рационального использования финансовых ресурсов.

Бестраншейные технологии, напротив, обладают существенными преимуществами: они экономичнее, быстрее, экологичнее и позволяют выполнять реконструкцию без вскрытия дорожных покрытий и переноса существующих коммуникаций. Эти методы эффективны в сложных грунтовых условиях, при высоком уровне грунтовых вод и на участках с естественными и искусственными препятствиями.

Использование полимерных материалов в бестраншейной санации повышает долговечность и надёжность трубопроводов, снижает необходимость антикоррозионной защиты и улучшает эксплуатационные характеристики. Благодаря этому в последние десятилетия бестраншейные методы с применением полимерных рукавов, покрытий и протягиваемых труб получили широкое распространение в мировой практике.

Разнообразие технологий – от протяжки длинномерных труб до рукавной санации и нанесения внутренних покрытий – позволяет выбирать оптимальный способ восстановления в зависимости от состояния трубопровода и условий трассы, обеспечивая требуемый уровень надёжности и качества транспортируемой среды.

Список литературы

- 1 Храменков, С. В. Реконструкция трубопроводных систем / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2008. – 216 с.
- 2 Храменков, С. В. Стратегия модернизации водопроводной сети / С. В. Храменков – М.: Стройиздат, 2005. – 398 с.
- 3 Кудина, Е. Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.
- 4 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko, S. N. Bukharov, E. Kudina [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Edited by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – Pp. 169–189.

УДК 628.336:662.8

КОМПЛЕКСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Д. И. ЛАГУН¹, Р. Н. ВОСТРОВА¹, А. Н. ПЕХОТА²

¹ *Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

² *Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
pehota.an@bntu.by*

Проблема обращения с осадками сточных вод (ОСВ) остаётся одной из наиболее острых в сфере экологии и городского хозяйства. Ежегодный прирост объёмов ОСВ, достигающий 2–10 % от количества поступающих на очистку вод, в сочетании с низким уровнем их полезного использования (не более 5 %) приводит к накоплению миллионов тонн отходов на иловых площадках и полигонах.

Это сопровождается эмиссией парниковых газов, загрязнением почв и подземных вод, а также отчуждением значительных территорий. В то же время осадки содержат до 80 % органических веществ и обладают теплотворной способностью, сопоставимой с традиционными видами твёрдого топлива – торфом и бурым углём [1–3]. Это позволяет рассматривать их как перспективный вторичный энергоресурс, вовлечение которого в хозяйственный оборот соответствует принципам циркулярной экономики и способствует снижению импортозависимости в энергетической сфере.

Установлено, что валовой состав ОСВ варьируется в широких пределах в зависимости от источника образования. Содержание углерода составляет 40–52 %, водорода – 2,3–5,7 %, кислорода – 12–34 %, азота – 1,5–2,5 %, серы – 0,5–1,2 %. Зольность колеблется от 21 до 35 %, исходная влажность достигает 70–80 % даже после механического обезвоживания [4]. Высокая

влажность и присутствие тяжёлых металлов (Zn, Cu, Ni, Cr) в концентрациях, превышающих нормативы многих стран, ограничивают прямое использование осадков в сельском хозяйстве и требуют разработки альтернативных методов утилизации [4].

Наиболее технологически проработанным направлением является производство многокомпонентных топливных брикетов. Исследованы составы с различным соотношением ОСВ, древесных опилок и нефтешламов. Показано, что оптимальная влажность брикетируемой смеси составляет 30–40 %, что позволяет отказаться от энергозатратной предварительной сушки [5]. Математическое моделирование процесса позволило получить регрессионные зависимости производительности и плотности брикетов от долевого состава компонентов; установлены интервалы, обеспечивающие наилучшие показатели: ОСВ – 32–48 %, древесные отходы – 48–53 %, нефтешламы – 3–8 % [5].

Тепловые свойства брикетов зависят от состава и от влажности. Если влажность 10–12 %, то тепловая энергия от сгорания составит 16–17 МДж/кг. Если влажность поднимется до 30 % (12–14 МДж/кг), как у торфа или бурого угля. Если добавить опилки, то золы и серы станет меньше (зола с 34 % упадёт до 21–23 %, а сера с 1,2 % до 0,5–0,6 %).

Вредные вещества в отходящих газах определены замерами: содержание NO_2 и SO_2 ниже, если опилок больше половины при высоте дымовых труб 35–40 метров. Анализ показал: топливо горит ровно и догорает почти полностью. По расчётам, тонна брикетов стоит 60–100 бел. руб., а оборудование для их изготовления окупится за 2–3 года.

Имея банк данных по качественным характеристикам ОСВ очистных сооружений Республики Беларусь, т. е. проводя паспортизацию, можно было бы изготавливать брикеты прямо на очистных сооружениях и использовать их в местных котельных, где котлы переведены на альтернативные, местные виды топлива.

Брикетиrowание можно совмещать с термической переработкой (пиролизом или газификацией). Тогда брикеты будут не только топливом, но и сырьём для пиролизных установок. Продукты пиролиза – газ, жидкость и углеродистый остаток (полукокс) – можно использовать в технологических процессах. Углеродистый остаток можно использовать для очистки сточных вод от органики и тяжёлых металлов. Так можно объединить сразу два способа утилизации – энергетический и сорбционный.

Зола, остающаяся после сжигания брикетов, может быть использована в строительстве автомобильных дорог и при производстве строительных материалов (керамзит, цемент, асфальтобетон).

Важно, чтобы водоочистные и осадкообрабатывающие процессы работали вместе. Очистные сооружения тратят много энергии на очистку воды. Если установить на них энергоблоки, где брикетированный осадок будет сжигаться в котельной, тепловую энергию от сжигания направить на нагрев

воды до парообразования и направить на лопасти турбины, то можно не только избавиться от отходов, но и получать энергию.

Развивать это направление нужно, переходя от небольших проектов к крупным опытно-конструкторским разработкам и формированию системных ресурсосберегающих технологий полного цикла – от концентрирования осадка до переработки его в товарные продукты заданных свойств. Это обеспечит не только экологическую безопасность, но и энергоресурсную независимость локальных потребителей – что вписывается в тренд устойчивой экономики.

Необходима единая нормативная база для всех субъектов внедрения технологий для определения стандартов качества сырья для производства топливных брикетов из ОСВ, порядка проведения проверок, а также требований к пожарной и технологической безопасности при хранении и сжигании. Развитие этого направления должно вести к полному технологическому циклу.

Разработка и внедрение этих технологий, возможно, помогут уменьшить ущерб для окружающей среды, а также сделать производство более независимым от повышения цен на энергоресурсы. Развитие таких технологий прямо соответствует созданию замкнутого цикла и принципам устойчивого развития.

Список литературы

1 **Коваленко, В. Н.** Экономический анализ применения осадка сточных вод как альтернативы классическим видам твёрдого топлива / В. Н. Коваленко, А. М. Денисенко, Е. А. Пехота // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2021. – С. 100–102.

2 **Вострова, Р. Н.** Определение теплотворной способности брикетов на основе осадков сточных вод / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, В. А. Малофеев // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 93–95.

3 **Вострова, Р. Н.** Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 43–45.

4 **Вострова, Р. Н.** Изготовление брикетов на основе осадка сточных вод методом прессования / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, Я. С. Васильев // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 84–88.

5 **Вострова, Р. Н.** Шнековое прессование осадков сточных вод (ОСВ) при изготовлении топливных брикетов / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, П. А. Матвеева // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 89–92.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПЕРВИЧНОГО ОТСТАИВАНИЯ

С. С. ЛАПАНИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. В современном мире при ужесточении экологических требований особую актуальность приобретает повышение эффективности работы сооружений механической очистки сточных вод, включая первичные отстойники. Большинство действующих очистных сооружений было построено во второй половине XX века и не обеспечивают современные требования качества очищения сточных вод, что требует поиска новых технологических решений, совершенствования конструкции сооружений и применения эффективных реагентов.

Технологическая схема очистки предусматривает поступление сточных вод после песколовок в первичные отстойники, где происходит осаждение взвешенных веществ, накопление плавающих органических примесей и удаление образующегося осадка. Осветленная вода после первичного отстаивания направляется на биологическую очистку, что указывает на важность обеспечения высокой степени очистки на данном этапе [2].

Цель работы. Анализ и обоснование направлений интенсификации первичного отстаивания сточных вод путем совершенствования процессов седиментации, конструкций первичных отстойников и гидравлических режимов их работы, а также рассмотрение эффективности применения тонкослойного отстаивания и реагентных методов для повышения качества механической очистки перед биологической стадией очистки.

Основные результаты. При анализе существующих методов повышения эффективности первичного отстаивания сточных вод установлено, что наибольший эффект достигается при комплексной интенсификации механической очистки, оптимизации процессов седиментации и стабилизации гидравлического режима работы сооружений. Обоснована целесообразность применения тонкослойного отстаивания как эффективного способа повышения производительности отстойников и улучшения качества осветления воды без увеличения площади сооружений.

Седиментация является простым, экономичным и низкзатратным методом отделения взвешенных веществ от сточных вод. Под действием гравитационных сил нерастворенные примеси оседают на дно сооружений или всплывают на поверхность, что лежит в основе функционирования первичных отстойников [1]. Добавление реагентов, таких как алюможелезный коагулянт, способствует увеличению скорости осаждения взвешенных веществ при очистке сточных вод. Однако данный метод требует тщательного подбора и поддержания определенных пропорций, а также хранения реагентов.

Важным направлением повышения эффективности первичных отстойников является совершенствование устройств для сбора и удаления плавающих веществ с поверхности, а также частое удаление осадка для предотвращения процессов брожения осадка, сопровождающихся выделением газов, способных поднимать частицы осадка и ухудшить качество очистки сточных вод [1]. Отделение осадка на дне от очищаемых сточных вод повысит эффективность очистки и предотвратит повторное попадание взвешенных веществ в сточные воды.

Важным фактором повышения эффективности очистки при высоком коэффициенте неравномерности притока является выравнивание качественного и количественного состава притока сточных вод. Применение резервуаров-накопителей позволяет обеспечить стабильный режим работы очистных сооружений, снизить энергозатраты и повысить качество очистки. Однако данный метод может повысить капитальные затраты на строительство и увеличить площадь занимаемой территории.

После первичного отстаивания сточные воды поступают на биологическую очистку, поэтому эффективность механической стадии напрямую влияет на работу аэротенков или биофильтров.

Тонкослойное отстаивание является эффективным методом интенсификации процессов осаждения взвешенных веществ, основанным на разделении потока очищаемой воды на систему тонких слоев с помощью наклонных пластин или трубчатых элементов. Осаждение частиц происходит в малом слое воды, образуемом наклонными элементами, расположенными под углом около 60° , что существенно сокращает путь их движения до поверхности осаждения. Частицы загрязнений оседают на поверхности пластин и под действием силы тяжести сползают в зону накопления осадка. Уменьшение высоты потока способствует снижению турбулентности и формированию ламинарного режима движения жидкости, необходимого для эффективного выпадения взвешенных веществ [1].

Конструктивно тонкослойные отстойники оснащаются модульными блоками, создающими развитую поверхность осаждения и обеспечивающими эффективное задержание как грубодисперсных, так и мелкодисперсных примесей. Применение тонкослойных элементов позволяет значительно повысить производительность сооружений, улучшить качество осветления воды и сократить время отстаивания по сравнению с традиционными отстойниками. Одним из главных этапов увеличения эффективности может служить совершенствование конструкции модульных блоков за счет оптимизации расстояния между пластинами и формы каналов для движения воды. Уменьшение межпластинного расстояния увеличивает удельную площадь осаждения и сокращает путь движения частиц до поверхности, однако должно сопровождаться обеспечением равномерного распределения потока, чтобы предотвратить засорение и образование застойных зон.

Биофлокуляция и биокоагуляция, несмотря на их потенциальную эффективность при удалении взвешенных и коллоидных загрязнений, в настоящее время мало применимы в практике очистки сточных вод из-за сложности управления биологическими процессами и нестабильности их протекания. Эффективность данных методов существенно зависит от состава сточных вод, температуры, pH среды и наличия токсичных примесей, которые могут подавлять жизнедеятельность микроорганизмов и снижать образование биофлокулов. В условиях переменных нагрузок, характерных для реальных очистных сооружений, обеспечить стабильную работу таких процессов затруднительно.

Также проблемой является необходимость поддержания определенных условий для роста и активности биомассы, что усложняет эксплуатацию сооружений и увеличивает требования к контролю за технологической схемой.

В отличие от реагентных методов коагуляции, биокоагуляция протекает медленнее и хуже поддается регулированию, что снижает ее востребованность для объектов, где требуется надежная и постоянная эффективность очистки. Поэтому в современных технологиях чаще используются физико-химические и механические методы интенсификации осаждения, обладающие большей надежностью и устойчивостью результатов.

Вывод. Применение данных методов повышает эффективность очистки сточных вод, и интенсификация первичного осаждения достигается за счет модернизации механической очистки, оптимизации процессов седиментации, совершенствования конструкций отстойников, регулирования гидравлических режимов и улучшения биологической стадии очистки.

Список литературы

- 1 **Парамонова, Л. Н.** Пути повышения эффективности очистки сточных вод / Л. Н. Парамонова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – URL: <https://izvestiapgups.org/archive/> (дата обращения: 22.02.2026).
- 2 **Эдимова, С. Р.** Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на канализационных сооружениях города Красноперкопска / С. Р. Эдимова, Э. И. Салиев // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 16 (68). – URL: <http://stroy-technobez.ru/archives/> (дата обращения: 24.02.2026).

УДК 551.4 (476.13)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВМ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Ю. В. МУРАВЬЁВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
yulia_muraveva@list.ru*

Актуальность. Применение ВМ-технологий при проектировании наружных сетей канализации обусловлено необходимостью повышения

качества проектных решений, сокращения сроков проектирования и снижения количества ошибок при строительстве и эксплуатации инженерных коммуникаций. В современных условиях наружные сети канализации прокладываются в плотной городской застройке, где требуется учитывать большое количество пересечений с существующими инженерными сетями, дорогами и сооружениями. При традиционном 2D-проектировании в среде *Autodesk AutoCAD* возрастает риск несогласованности данных между планами и профилями, а внесение изменений требует значительных временных затрат и увеличивает вероятность ошибок. Использование программного комплекса *Autodesk Civil 3D* позволяет перейти к параметрическому 3D-проектированию, автоматизировать построение продольных профилей, управлению уклонами трубопроводов, формированию спецификаций и ведомостей объёмов работ, что делает процесс проектирования более точным и эффективным. В связи с этим разработка рекомендаций по применению BIM-подходов на базе *Autodesk AutoCAD* и *Autodesk Civil 3D* является актуальной задачей для повышения уровня цифровизации проектирования наружных сетей канализации.

Цель работы. Разработка практических рекомендаций по применению BIM-технологий при проектировании наружных сетей канализации с использованием программных средств *Autodesk AutoCAD* и *Autodesk Civil 3D*, направленных на повышение точности проектных решений, сокращение трудоёмкости проектирования и улучшение качества проектной документации.

Основные результаты. В настоящее время технологии информационного моделирования зданий и сооружений *BIM (Building Information Modeling)* занимают всё более значимое место в современной практике проектирования инженерной инфраструктуры. В основе концепции *BIM* лежит не просто трёхмерный чертёж, а единая цифровая модель объекта, в которой хранится вся проектная информация: геометрия конструкций, технические характеристики материалов, взаимосвязи между элементами. Любое изменение в такой модели автоматически отражается на всех связанных с ним данных, что принципиально отличает её от набора разрозненных чертежей, которые при традиционном подходе нужно обновлять вручную в каждом затронутом документе [1]. Несмотря на широкое распространение данного подхода при проектировании зданий, его применение к линейным объектам инженерной инфраструктуры, в частности к наружным сетям канализации, остаётся недостаточно методически проработанным, хотя именно возможности цифровой модели могут дать наибольший практический эффект.

Специфика наружных канализационных сетей как объекта *BIM*-проектирования определяется их линейным характером и необходимостью постоянного учёта внешних факторов: рельефа местности, геологического строения основания и расположения существующих подземных коммуникаций – водопроводом, кабелями, газопроводом. При традиционном проектирова-

нии в среде *Autodesk AutoCAD* согласование глубины прокладки трубопровода с данными топографической съёмки, контроль пересечений с другими сетями и актуализация продольного профиля при изменении трассы выполняются вручную, именно это является накоплением ошибок, которые обнаруживаются уже в ходе строительства и влекут за собой переделки и удорожание работ [2].

Autodesk Civil 3D реализует этот принцип через единую связанную среду, где цифровая модель рельефа, трасса коллектора и трубопроводная сеть образуют ассоциативную структуру: программа автоматически вычисляет отметки лотков и верха трубы, строит продольный профиль и обновляет его при любом изменении трассы. Каждый элемент сети – участок трубы, смотровой колодец, фасонная часть – является параметрическим объектом, хранящим полный набор технических характеристик. Эти данные программа использует для автоматического формирования спецификаций и выполнения автоматической проверки пересечения проектируемых трубопроводов с уже существующими подземными коммуникациями [2]. Именно такая связанность данных внутри модели, а не трёхмерная визуализация сама по себе, и составляет реальную ценность ВІМ при проектировании наружных сетей канализации.

Вместе с тем анализ практики внедрения ВІМ-технологий в проектных организациях выявляет характерную закономерность: наличие современного программного обеспечения само по себе не гарантирует перехода на качественный новый уровень проектирования. Отсутствие унифицированных регламентов работы закономерно приводит к системным сбоям. На практике это выражается в методологической разнородности: часть специалистов использует параметрические объекты с атрибутивными данными, тогда как другие ограничиваются созданием линейных примитивов, лишенных информационной нагрузки. Модели разных разделов проекта не сводятся в единую общую модель и существуют параллельно вплоть до финальной сдачи документации. Каждый из этих сбоев нивелирует работу, выполненную в ВІМ-среде, и является фактором возникновения рисков при традиционном проектировании в условиях применения передовых технологий [3]. Именно поэтому ключевым результатом внедрения ВІМ должно стать не приобретение программного обеспечения, а разработанный и утверждённый внутренний регламент – нормативный документ организации, устанавливающий обязательный порядок работы с цифровой моделью.

В отличие от методических рекомендаций, носящих совещательный характер, регламент является обязательным для исполнения всеми участниками проекта и служит основой для контроля качества на каждом этапе проектирования. Его разработка обусловлена тем, что ВІМ-процесс охватывает одновременно нескольких специалистов и несколько разделов проекта, и без зафиксированных правил взаимодействия между ними неизбежно воз-

никают информационные разрывы, устранение которых требует значительных временных затрат [4]. Состав регламента определяется логикой проектного цикла и включает четыре взаимосвязанных блока.

Первый раздел регламента устанавливает требования к исходным данным. Данные топографической съёмки должны передаваться в форматах, пригодных для прямой загрузки в *Civil 3D* без необходимости ручной отрисовки – в виде структурированного массива пространственных точек или иных совместимых структурированных форматов. Сведения о существующих подземных коммуникациях оформляются как трёхмерные объекты с указанием глубины их залегания: без этого параметра проверка на пересечения невозможна. Регламент фиксирует единую систему координат и высот для всего проекта, поскольку несоответствие систем координат в исходных документах – одна из наиболее частых причин смещений при объединении моделей [3]. Важно учитывать, что в *BIM*-среде ошибка в исходных данных не остаётся локальной, как при традиционном черчении, а распространяется на все зависимые объекты модели – отметки колодцев, глубины заложения, уклоны трубопроводов.

Второй раздел регламента посвящён порядку разработки цифровой модели. Здесь закрепляется обязательное требование создавать все трубопроводы и колодцы исключительно как параметрические объекты специальными инструментами для проектирования инженерных сетей, а не как элементарные геометрические объекты. Каждый объект должен содержать заданный набор свойств: диаметр, материал, класс прочности, отметки верха и лотка. Регламент также определяет корпоративный шаблон проекта со стандартизированными стилями отображения объектов и параметрами продольного профиля, а также библиотеку типовых элементов – труб, смотровых колодцев и фасонных частей. Применение единого шаблона и библиотеки обеспечивает однородность моделей, выполняемых разными специалистами, и делает возможным их последующее объединение без дополнительных настроек [4].

Третий раздел регламентирует порядок проверки на пересечения – коллизийного анализа. Поскольку канализационная сеть является частью комплексного проекта, её модель должна регулярно объединяться с моделями других разделов: водоснабжения, электроснабжения, конструктивных решений. Для этого используется *Navisworks*, принимающий модели из разных источников через форматы *NWC* и открытый стандарт *IFC* и находящий все точки их пространственного пересечения. Регламент устанавливает периодичность такого анализа и порядок документирования выявленных конфликтов с передачей их на устранение ответственным исполнителям. Тем самым коллизийный анализ превращается из разовой финальной процедуры в регулярный инструмент контроля качества на протяжении всего проектного цикла [5].

Четвёртый раздел определяет требования к модели на завершающей стадии работы. По завершении проектирования модель должна содержать полный проверенный и подтверждённый набор параметров по всем элементам сети. После строительства и внесения фактических данных о выполненных работах она передаётся эксплуатирующей организации в структурированном цифровом виде и служит электронным паспортом объекта, содержащим точные сведения о местоположении, диаметрах, материалах и глубине залегания трубопроводов на весь срок их службы. Установление этого требования в регламенте является ключевым, так как определяет отношение к *BIM*-модели не как к инструменту получения чертежей, а как к долгосрочному информационному ресурсу объекта [5].

В результате разработка внутреннего регламента применения *BIM* при проектировании наружных канализационных сетей является не технической формальностью, а содержательным инструментом управления качеством проектного процесса. Регламент переводит *BIM* из области индивидуальных навыков отдельных специалистов в область воспроизводимого организационного процесса, результат которого не зависит от того, кто именно ведёт конкретный проект. Именно в обеспечении такой системности, а не в освоении отдельных функций программного обеспечения состоит фактическая значимость перехода к информационному моделированию для объектов канализования.

Выводы. Применение *BIM*-технологий при проектировании наружных сетей канализации обеспечивает переход от традиционных *2D*-чертежей к единой цифровой модели, позволяющей автоматически согласовывать все элементы проекта, сокращать трудоёмкость проектирования и минимизировать ошибки. Вместе с тем эффективное внедрение *BIM* требует разработки внутреннего организационного регламента, регулирующего порядок работы с моделью на всех этапах проектного цикла, что превращает информационное моделирование из инструмента отдельных элементов в воспроизводимый процесс, обеспечивающий стабильно высокое качество проектной документации.

Список литературы

- 1 Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
- 2 Autodesk. Civil 3D: проектирование трубопроводных сетей : [офиц. документация]. – URL: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/RUS/> (дата обращения: 15.02.2026).
- 3 Сунгатуллин, А. Р. Применение технологии информационного моделирования при проектировании объектов водоснабжения и канализации / А. Р. Сунгатуллин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 7. – С. 45–51.
- 4 Шуберт, Ю. Е. К вопросу внедрения BIM-технологий в учебный процесс / Ю. Е. Шуберт // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Международ. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 168–169.
- 5 Карасёв, В. Н. Коллизионный анализ в Autodesk Navisworks при проектировании наружных инженерных сетей / В. Н. Карасёв // CADmaster. – 2022. – № 98. – С. 22–28.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ (БАССЕЙН РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ)

А. Д. МУШИНСКАЯ

*Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина,
Республика Беларусь, nastyia.mushinskaya@bk.ru*

Актуальность. Исследование поверхностного стока с урбанизированных территорий и его влияние на экологическую систему водоприемника на сегодняшний день имеют особую актуальность, поскольку поверхностные сточные воды с территории современного города являются серьезным источником загрязнения гидросферы.

Цель работы. Исследование организации поверхностного стока с урбанизированных территорий Брестской области в пределах водосборной территории бассейна реки Западный Буг.

Основные результаты. В рамках I этапа разработанной ранее архитектуры исследования [1] выполнены работы по установлению фактического расположения источников сброса поверхностного стока на местности и выполнен отбор объектов для последующего лабораторного исследования поверхностных сточных вод с анализируемой территории.

Очередность всех этапов проводимого исследования, по биоэкологической оценке, качества поверхностного стока с урбанизированных территорий представлена на рисунке 1. Основные методы исследования данного этапа: анализ документов и опрос через официальные письма.



Рисунок 1 – Этапы проведения исследования

Стоит отметить, что согласно [2] территориально в состав бассейна реки Западный Буг входит 5 административных районов Брестской области полностью (Брестский, Малоритский, Жабинковский, Кобринский, Каменецкий), 2 района частично (Пружанский, Дрогичинский) и частично 1 район Гродненской области (Свислочский).

Население на анализируемой водосборной территории в основном сосредоточено в городах Брест – 346 061 человек, Кобрин – 52 432 человек, Пружаны – 18 824 человек, Жабинка – 14 497 человек, Малорита – 12 593 человек, Каменец – 8 133 человек [3] и почти все сконцентрировано в бассейне реки Муховец [2].

В ходе изучения Плана управления бассейном реки Западный Буг [2] установлено, что в пределах Брестской области в поверхностные водные объекты бассейна реки Западный Буг поверхностный сток сбрасывают следующие предприятия: КУП «Брестское ДЭП», КУМПП ЖКХ «Малоритское ЖКХ», КУМПП ЖКХ «Жабинковское ЖКХ», КУМПП «Кобринское ЖКХ», СЗАО «КварМелПром», ОАО «Тепличный комбинат «Берестье», КУМПП ЖКХ «Каменецкое ЖКХ», КУПП «Кобринрайводоканал», Брестская таможня, СП «Санта Бремор», ОАО «Брестский комбинат строительных материалов», Пружанское КУПП «Коммунальник», РДУП по обеспечению нефтепродуктами «Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт», ГП «Белаэронавигация» (Брестский филиал), ОАО «Брестское пиво», ОАО «Пружанский молочный комбинат», ОАО «Брестоблавтотранс», ИООО «БРВ-Брест», филиал РУП «Брестэнерго» Пружанские электрические сети.

В работе [2] отмечено, что общей проблемой для всего бассейна реки Западный Буг является низкий процент оснащённости очистными сооружениями выпусков поверхностного стока в водные объекты.

При изучении информации и предоставленных данных в ответ на официальные запросы в адрес профильных организаций Брестской области установлено следующее.

Сеть дождевой канализации г. Бреста имеет 59 выпусков в три поверхностных водотока – рр. Мухавец, Лесная, Западный Буг. На 30 из них поверхностные сточные воды подвергаются механической очистке [1].

Для лабораторного исследования определены следующие выпуски: на территории центральной части г. Бреста – № 5, 2, в промзоне – № 16, 16А, 27; многоэтажной застройки – № 23, 25; частный сектор – № 56.

Сети и сооружения ливневой канализации в г. п. Домачево Брестского района на балансе КУМПП ЖКХ «Брестское ЖКХ», согласно официальному ответу предприятия, отсутствуют, соответственно, данная территория из области исследования исключена.

В г. Жабинка сбор поверхностных сточных вод с территории населенного пункта осуществляется посредством наружной дождевой канализации закрытого типа. Сброс поверхностных сточных вод с территории г. Жабинка

осуществляется через 5 выпусков, два из которых оборудованы очистными сооружениями.

Месторасположение выпусков поверхностных сточных вод КУМПП ЖКХ «Жабинковское ЖКХ»:

- выпуск № 1 в районе ул. Свободы – ул. Кирова – выпуск в р. Жабинка;
- выпуск № 2 в районе ул. Молодежная – выпуск в р. Жабинка;
- выпуск № 3 в районе ул. Центральная – ул. Мира – выпуск в р. Жабинка;
- выпуск № 4 в районе ул. Мира – выпуск в р. Жабинка;
- выпуск № 5 в районе ул. Молодежная – ул. Лесопарковая – выпуск в р. Муховец.

Выпуск № 3 оборудован очистными сооружениями механической, физико-химической очистки производительностью 65 л/с.

Выпуск № 5 оборудован очистными сооружениями механической, физико-химической очистки производительностью 864 м³/сут (10 л/с).

Для проведения лабораторного исследования качества поверхностного стока, отводимого в поверхностные водные объекты с территории г. Жабинка определены выпуски № 1 и 5.

КУМПП «Кобринское ЖКХ» осуществляет сброс ливневых вод в поверхностные водные объекты и мелиоративные каналы:

- выпуски № 1–8, 48, 50 – в мелиоративный канал Бона;
- выпуски № 9–14, 17 – в р. Муховец;
- выпуски № 15 и 16, 18–47 – в р. Кобринка.

Выпуски КУМПП «Кобринское ЖКХ» № 9–14, 17, 48 и 50 оборудованы очистными сооружениями.

Для исследования качества поверхностного стока определены выпуски КУМПП «Кобринское ЖКХ» № 15 и 17.

В Каменецком районе в 2022 году предприятием ООО «Агропродукт» обеспечено устройство системы дождевой канализации, поверхностные сточные воды после очистки через два выпуска сбрасываются в реку Пульва [4]. В то же время на большей части выпусков поверхностных сточных вод в г. Каменец, находящихся на балансе КУМПП ЖКХ «Каменецкое ЖКХ», не установлены системы очистки поверхностных сточных вод, отводимых в р. Лесная [2].

Для исследования определена 1 точка отбора проб на выпуске поверхностного стока в р. Пульва и 1 точка отбора проб на выпуске в р. Лесная.

На территории г. Пружаны сброс поверхностного стока осуществляют: Пружанское КУПП «Коммунальник» – в р. Муховец, ОАО «Пружанский молочный комбинат» – в р. Муховец, р. Баба, при этом более 90 % выпусков не оборудованы очистными сооружениями. Для исследования качества поверхностного стока определен 1 выпуск Пружанского КУПП «Коммунальник» – в р. Муховец.

По выбранным объектам для проведения лабораторных исследований определен следующий перечень показателей:

– рН, ХПК, БПК₅, нефтепродукты, взвешенные вещества, АПАВ, аммоний-ион, сульфаты, хлориды, нитраты, нитриты, фосфат-ион;

– тяжелые металлы – свинец, кадмий, цинк, железо, медь, хром, ртуть.

Выводы. В результате работ I этапа исследования собраны данные, которые стали основой для построения точного дизайна диссертационных исследований. Опираясь на статистические методы, которые позволяют определить количество точек отбора проб, для лабораторного исследования определены объекты общим количеством 15 выпусков в поверхностные водные объекты бассейна реки Западный Буг на территории Брестской области, в том числе расположенные в г. Бресте – 7 точек отбора проб, г. Жабинке – 2 точки, Кобринском районе – 2 точки, в Каменецком районе – 2 точки, в Пружанах – 1 точка отбора проб. Результаты лабораторных исследований по выбранным объектам позволят получить объективные данные для последующей оценки влияния поверхностного стока с урбанизированных территорий на экосистему водоприемника.

Список литературы

1 **Мушинская, А. Д.** Оценка качества поверхностного стока с урбанизированных территорий: подходы к построению архитектуры исследования (на примере Брестской области) // XXVII Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 14 мая 2025 г. : электрон. сб. материалов / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. М. А. Богдасарова. – Брест, 2025. – С. 34–37.

2 Об утверждении Плана управления бассейном реки Западный Буг : решение Брестского и Гродненского областных исполнительных комитетов от 10.12.2019 № 735/739. – 178 с.

3 Численность населения на 1 января 2025 г. и среднегодовая численность населения за 2024 год по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов, поселков городского типа : стат. бюл. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2025. – 30 с.

4 О выполнении мероприятий, предусмотренных Планом управления бассейном реки Западный Буг по состоянию на 01.01.2025 // Брест. областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды. – URL: https://priroda-brest.by/wpcontent/uploads/2025/04/basseinovy-sovet_4-kvartal.pdf (дата обращения 24.02.2026).

УДК 551.4 (476.13)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е. Ю. НЕСТЕРЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
youngnea5ty888@yandex.by*

Актуальность. Оптимизации технологических процессов обработки осадка сточных вод при реконструкции очистных сооружений обусловлена

необходимостью внедрения ресурсосберегающих технологий, позволяющих минимизировать объем образующихся осадков и трансформировать их во вторичные продукты.

Цель работы. Разработка научно обоснованных рекомендаций по оптимизации технологических процессов обработки осадков сточных вод на очистных сооружениях направлена на снижение их объема и трансформацию во вторичные материальные ресурсы.

Основные результаты. Обработка осадка занимает промежуточное и завершающее место в технологической схеме очистки сточных вод, но от этого не становится менее важной. Осадок, образующийся в результате отстаивания после механической очистки, и уплотнения после биологической, транспортируется в приемные резервуары, проходя тем самым дополнительную доочистку перед тем, как подвергнуться стадии обезвоживания и стабилизации, путем применения современных методов [2]. Это облегчает его транспортировку и дальнейшую утилизацию или переработку. После обработки осадок может использоваться как удобрение, источник биогаза, либо утилизироваться на специализированных полигонах с контролем экологической безопасности.

Обработка осадка важна не только как завершающий этап очистки, но и как основа экологической защиты: она способствует уменьшению объема отходов и снижению площади для их захоронения, снижает количество вредных веществ, включая патогены и тяжелые металлы, и обеспечивает безопасное использование продуктов переработки [1].

Кроме того, обработка осадка повышает общую эффективность очистных сооружений, снижая затраты на транспортировку и утилизацию отходов и позволяя получать дополнительные ресурсы, например биогаз или удобрения. Экономическая целесообразность данного этапа заключается в снижении расходов и открытии новых направлений получения дохода за счет повторного использования полученных продуктов. Также данная практика способствует выполнению экологических нормативов и повышению ответственности предприятий [2].

В последние годы акцент сделан на развитие инновационных технологий обработки осадков, включая автоматизированный контроль технологических параметров, использование биологических и химических методов стабилизации, а также внедрение энергоэффективных систем. Эти решения позволяют повысить качество обезвреживания и снизить влияние на окружающую среду, обеспечивая при этом устойчивое развитие очистных систем [3].

Основным направлением по оптимизации технологических процессов обработки осадков сточных вод является применение декантерных центрифуг.

Первый и важнейший шаг по оптимизации обработки осадка – выбор оптимальных режимов работы декантерной центрифуги. Регулировка ча-

стоты вращения ротора позволяет добиться максимальной эффективности разделения кека от жидкости. Важно подбирать такой режим, который обеспечит наиболее эффективное отделение и одновременно снизит энергозатраты. В этом же контексте необходимо регулировать подачу осадка по расходу и консистенции. Перегрузка центрифуги или неравномерная подача могут привести к ухудшению качества обработки и ускоренному износу оборудования.

Следующий важный шаг – автоматизация и системный мониторинг. Внедрение современных систем контроля параметров технологического процесса, таких как скорость вращения, давление, уровень подачи и влажность полученного осадка, позволяет обеспечить стабильную работу оборудования и своевременное выявление отклонений. Использование датчиков и автоматики делает работу центрифуги более надежной и уменьшает человеческий фактор, что крайне важно для повышения эффективности и снижения затрат.

Энергетическая эффективность также играет важную роль в оптимизации работы декантерных центрифуг. Для этого целесообразно применять приводы с возможностью регулировки оборотов, а также оптимизировать циклы запуска и отключения оборудования. Такой подход позволяет значительно снизить энергозатраты без ущерба для качества обработки [1].

Важным шагом является подготовка осадка перед его подачей в центрифугу. Использование коагулянтов и флокулянтов позволяет предварительно сгруппировать мелкие частицы, что повышает скорость и качество разделения. Кроме того, внедрение систем предварительного обезвоживания, например фильтр-прессов или сушилки, способствует снижению влажности осадка и, как следствие, увеличению эффективности последующей обработки на декантерных центрифугах.

Также не менее важна модернизация конструктивных элементов декантерной центрифуги. Установка новых, более износостойких и герметичных компонентов обеспечивает более долговременную и стабильную работу оборудования. Применение современных материалов снижает трение, уменьшает износ и повышает общую надежность системы.

Выводы. Интеграция декантерных центрифуг в комплексную систему очистки играет ключевую роль в обеспечении эффективности всей технологической схемы. В технологической цепочке очистных сооружений обработка осадка занимает важное место между первичной и последующей обработкой. Улучшение процессов обработки осадков способствует снижению токсичности отходов, уменьшению их объема и площади утилизации. Своевременная и качественная обработка осадков значительно влияет на работу всей системы водоочистки и способствует ее экологически безопасной и устойчивой эксплуатации. Это – важный этап, обеспечивающий экологическую безопасность и экономическую эффективность всей системы очистки.

Список литературы

1 **Трейман, М. Г.** Экономическая оценка инновационных технических решений в области обработки осадка на примере отечественных и зарубежных ресурсоснабжающих предприятий / М. Г. Трейман // Экономика и экологический менеджмент. – 2019. – № 3. – С. 155–162.

2 **Новикова, О. К.** Обработка осадков сточных вод / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.

3 **Вострова, Р. Н.** Особенности использования осадков сточных вод очистных сооружений города Гомеля в качестве удобрений / Р. Н. Вострова, Р. Н. Мохарева // Вода. – 2008. – № 9. – С. 12.

УДК 628.2/3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

О. К. НОВИКОВА, А. В. ПАПКОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
olanov2007@mail.ru*

Актуальность. Современная эксплуатация очистных сооружений должна обеспечивать надежное функционирование инженерных сетей с учетом рационального использования ресурсов и охраны водных объектов. Однако в малых населенных пунктах темпы развития систем водоотведения существенно отстают от потребностей населения.

Основной причиной негативных экологических последствий (этерификация водных объектов) является износ сетей водоотведения. Значительная часть сетей нуждается в замене (ежегодно аварийными признаются около 3 % сетей, а заменяется не более 1–2 %). Отсутствие своевременной диагностики состояний систем водоснабжения и водоотведения, а также применение типовых решений без учета локальных условий приводят к снижению эффективности очистки.

Цель работы. Комплексный анализ технического состояния и проблем эксплуатации систем водоотведения малых населенных пунктов.

Основные результаты. Анализ состояния систем водоотведения и очистки сточных вод в малых населенных пунктах свидетельствует о наличии комплекса устойчивых технических, технологических и организационных проблем. К основным из них относятся высокий уровень физического и морального износа сетей и сооружений, недостаточный охват населения централизованными системами водоотведения, а также несоответствие фактических режимов работы очистных сооружений проектным и нормативным требованиям.

В зависимости от рельефа местности, плотности застройки и гидрогеологических условий применяются различные системы водоотведения сточных вод (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ систем водоотведения

Преимущества	Недостатки
<i>Самотечная</i>	
Простота устройства и подключения канализуемых объектов	Небольшой расход электроэнергии. Большое заглубление сети или увеличение диаметра труб
<i>Напорная</i>	
Возможность прокладки сети на минимальных глубинах. Предотвращение газовой коррозии вследствие гидрозатвора и примесей в сточной воде	Необходимость устройства значительного количества насосных установок и их обслуживания. Значительный расход электроэнергии
<i>Вакуумная</i>	
Не происходит засорение труб благодаря высокой скорости движения сточных вод. Использование гибких труб позволяет обходить препятствия и снижать стоимость прокладки. Возможность прокладки рядом с дождевой канализацией, водопроводом и в водоохранной зоне. Предотвращение газовой коррозии. Электроэнергия необходима только для работы центральной вакуумной станции	Ограничение протяженности сети (3–4 км при плоском рельефе) из-за потери напора. Обеспечение герметичности канализационных трубопроводов. Необходимость применения биологической очистки воздуха (сероводород). Постоянное профилактическое обслуживание и замена изношенных деталей вакуумного клапана. Привлечение специалистов высокого уровня для проектирования и эксплуатации
<i>Децентрализованная</i>	
Отсутствие необходимости строительства и эксплуатации протяженных канализационных сетей	Необходимость устройства очистных сооружений на каждом объекте

В условиях рассредоточенной застройки в малых населенных пунктах традиционные самотечные сети часто работают в безрасчетном режиме (отсутствуют самоочищающиеся скорости). Внедрение вакуумной канализации рассматривается как перспективная альтернатива, предотвращающая заиливание и снижающая объемы земляных работ, однако она требует высокой компетентности персонала.

Технические решения, основанные на применении напорных и вакуумных систем канализации, а также децентрализованных схем водоотведения, характеризуются рядом эксплуатационных преимуществ в условиях малых населенных пунктов: позволяют существенно минимизировать объемы земляных работ за счет укладки трубопроводов малого диаметра на небольших глубинах, исключают инфильтрацию грунтовых вод в канализационную сеть и предотвращают процессы заиливания благодаря поддержанию оптимальных скоростей транспортировки сточных вод [1].

При проектировании данных систем необходима комплексная оценка, учитывающая не только ожидаемое снижение капитальных затрат на этапе строительства, но и прогнозируемый рост эксплуатационных издержек. Последние обусловлены энергозависимостью напорных насосов и центральных вакуумных станций, потребностью в регулярном специализированном обслуживании сложного оборудования (например, вакуумных клапанов и насосов-измельчителей), а также жесткими требованиями к герметичности коммуникаций. Следовательно, надежная работа таких систем напрямую зависит от наличия высококвалифицированного персонала и бесперебойного электроснабжения.

Основным фактором, оказывающим влияние на эффективность работы систем канализации малых населенных пунктов, является высокий коэффициент суточной и сезонной неравномерности притока сточных вод [2]. В отличие от крупных городов, где происходит естественное усреднение и взаимное разбавление сточных вод, сети водоотведения малых населенных пунктов подвержены резко выраженным (утренним и вечерним) пиковым нагрузкам, чередующимся с периодами практически нулевого притока.

Неравномерность притока сточных вод оказывает воздействие на стабильность процессов биологической очистки. Залповые сбросы провоцируют гидравлические перегрузки сооружений, что ведет к выносу активного ила из вторичных отстойников и сокращению времени контакта микроорганизмов с загрязнителями. Резкие колебания концентраций органических веществ (по показателям ХПК и БПК) и периодическое поступление токсичных компонентов (поверхностно-активных веществ от стиральных машин) приводят к ингибированию ферментативной активности биоценоза, подавлению чувствительных процессов нитрификации и денитрификации, а в ряде случаев – к полной деградации активного ила. Для нивелирования данного негативного эффекта технологическая схема очистки в обязательном порядке должна предусматривать наличие резервуаров-усреднителей, способных сглаживать пиковые колебания до подачи сточных вод в аэротенки или на биофильтры.

Рассмотрение основных методов очистки сточных вод показало, что в малых населенных пунктах при расходах до $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ наибольшее распространение получили сооружения, основанные на механических и биологических процессах, включая компактные установки, поля фильтрации, грунтово-растительные площадки и биологические пруды. При отсутствии централизованной системы канализации для очистки сточных вод отдельно стоящих зданий применяются септики (при расходах до $20 \text{ м}^3/\text{сут}$). При расходах более $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ используются сооружения биологической очистки с искусственно созданными условиями: аэротенки, биофильтры).

В условиях характерной для малых населенных пунктов выраженной неравномерности гидравлических нагрузок и состава сточных вод данные сооружения не способны гарантировать стабильное достижение современных нормативных показателей, особенно в части удаления соединений азота и фосфора. Следовательно, обеспечение экологической безопасности водных объектов и устойчивого функционирования инженерных систем диктует необходимость отказа от неадаптированных типовых проектных решений.

Модернизация и реконструкция локальных очистных сооружений должна осуществляться на базе индивидуального подхода, предполагающего учет специфики местных природно-климатических факторов, гидрогеологических условий и внедрение технологий интенсификации процессов биологической очистки.

Список литературы

1 **Урицкая, А. В.** Сравнительная оценка вакуумной и гравитационной систем канализации / А. В. Урицкая, О. К. Новикова // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа : в 2 ч. Ч. 1 / Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С 268–269.

2 **Новикова, О. К.** Системы канализации малых населенных пунктов: текущая ситуация и проблемные аспекты / О. К. Новикова, А. Б. Невзорова // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2020. – № 2 – С. 183–188.

УДК 628.14

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

А. М. РАТНИКОВА, И. А. САЛЯНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
ratnikova@bsut.by, ila80112@gmail.com*

Актуальность. Функционирование современных городов и промышленных предприятий неразрывно связано с надежностью соответствующих систем водоснабжения. Водопроводные сети, являясь важным звеном системы, испытывают интенсивное воздействие целого спектра нагрузок – механических, гидравлических. Это вызывает кумулятивный эффект накопления дефектов, что в конечном итоге приводит к снижению надежности и аварийным ситуациям.

Несмотря на постоянное обновление сетей, средний уровень износа коммунальной инфраструктуры остается достаточно высоким. В этих условиях особую актуальность приобретает задача прогнозирования технического состояния трубопроводов.

Цель работы. Определение влияния различных факторов на срок службы полиэтиленовых трубопроводов систем водоснабжения.

Основные результаты. Для прогнозирования срока службы в определенных условиях принят участок трубопровода холодного водоснабжения со следующими характеристиками: материал ПЭ 100 (*MRS* 10 МПа), *SDR* 17 (номинальное давление *PN* 10 бар), номинальный срок службы – 50 лет, температура воды – постоянная, плюс 10 °С. Температура является величиной постоянной, поэтому при расчете учитывается давление в сети и внешние факторы. Исходя из этих условий, приняты следующие режимы работы сети:

1) базовый – трубопровод работает при давлении до 6 бар (0,6 МПа) (80 % времени);

2) номинальный – наблюдается повышение рабочего давления в часы максимального водоразбора до 10 бар (номинальное давление) (15 % времени);

3) повышенного давления – незначительные колебания давления (кратковременные пики), не превышающие 12 бар (4,997 % времени);

4) аварийные или пиковые нагрузки – труба испытывает пиковые нагрузки до 15 бар (гидроудары и сезонные нагрузки (0,003 % времени (около 15 минут в год))).

Для ПЭ 100 при 10 °С существуют нормативные кривые длительной прочности, показывающие, сколько лет труба выдержит при непрерывном действии данного давления [2]. С учетом коэффициента запаса (для ПЭ обычно 1,25), расчетное напряжение для *PN* 10 выбрано так, чтобы при указанном давлении, равном 10 бар, труба служила 50 лет.

Значения «напряжение – время до разрушения» для материала ПЭ 100 составляют (при условии постоянного воздействия указанного давления):

– для давления 8 бар (t_1) при таком низком напряжении срок службы огромен, условно принят 300 лет;

– 10 бар (t_2) – срок службы 50 лет (номинальный).

– 12 бар (t_3) – срок службы снижается до 20 лет;

– 15 бар (t_4) – увеличиваются кольцевые напряжения, срок службы составляет 0,5 года (6 месяцев) [2].

Согласно разделу 5 [1], суммарное годовое повреждение *TYD*, %, рассчитывается как сумма долей повреждений:

$$TYD = \sum a_i / t_i, \quad (1)$$

где a_i – доля времени воздействия режима за год, %; t_i – срок службы (в годах) при непрерывном действии этого режима.

Расчет сведен в таблицу 1.

Анализируя результаты таблицы 1, можно сделать вывод, что значение *TYD* = 0,8226 %, т. е. за каждый год эксплуатации участок наружной сети при данном режиме эксплуатации исчерпывает 0,8226 % своего ресурса.

Таблица 1 – Расчет накопленного повреждения для участка наружного водопровода холодного водоснабжения

Режим эксплуатации	Рабочее давление, бар	Доля времени от года a_i , %	Срок службы при непрерывном действии данного давления t_i , лет	Ежегодная доля повреждения a_i / t_i , %
Базовый	6	80,0	300	$80 / 300 = 0,2667$
Номинальный	10	15,0	50	$15 / 50 = 0,300$
Повышенного давления	12	4,997	20	$4,997 / 20 = 0,2499$
Аварийные или пиковые нагрузки	15	0,003	0,5	$0,003 / 0,5 = 0,006$
Итоговое суммарное годовое повреждение (TYD)	—	—	—	0,8226

Максимально допустимое время эксплуатации t_x (до полного исчерпания ресурса, когда сумма повреждений достигнет 100 %) рассчитывается по формуле

$$t_x = 100 / TYD = 100 / 0,8226 \approx 121,56 \text{ лет.}$$

Полученное значение (более 120 лет) свидетельствует о том, что при данных условиях эксплуатации трубопровод имеет огромный запас прочности. Для условий наружного холодного водоснабжения с давлением, не превышающим номинальное (и лишь кратковременно его слегка превышающим), механизм усталостного разрушения по правилу Майнера не является лимитирующим. Реальный срок службы трубопровода из материала ПЭ 100 при температуре транспортируемой воды 10 °С будет ограничиваться не правилом Майнера, а другими механизмами разрушения, которые необходимо рассматривать отдельно:

- деградация полимера;
- распространение трещин;
- внешние механические повреждения (земляные работы, просадки грунта).

Выводы. Применение методики, приведенной в ГОСТ [1], к наружным сетям холодного водоснабжения показывает, что при корректном выборе SDR (класса давления) и отсутствии систематических гидроударов, накопление усталостных повреждений трубопроводов весьма мало. Расчет подтверждает, что основными факторами, влияющими на надежность полимерных наружных сетей, являются качество монтажа, внешние факторы и долговременная химическая стойкость, а не циклическое изменение давления воды в трубопроводе.

Список литературы

1 Трубы из пластмасс для транспортирования жидкостей под давлением. Правило Майнера. Метод расчета накопленного повреждения : ГОСТ ISO 13760-2024. – Введ. 29.11.2024. – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2024. – 8 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/845/84540.pdf?ysclid=mflioz13fx109124102> (дата обращения: 10.02.2026).

2 Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия = Трубы напорные з тэрмапластаў і злучальныя дэталі да іх для сістэм водазабеспячэння і ацяплення. Агульныя тэхнічныя ўмовы : ГОСТ 32415-2013. – Введ. РБ 01.03.16. – Минск : Госстандарт, 2016. – 73 с.

УДК: 628.3.036:662.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

И. А. САЛЯНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
ila80112@gmail.com*

Актуальность. Проблемы утилизации осадков сточных вод (ОСВ) связаны с постоянным ростом количества сточных вод, причем в городских условиях величина этих отходов составляет от 30 до 45 % от общего количества отходов. Для их хранения и складирования необходимы свободные территории вблизи городов, ресурсы для строительства и эксплуатации очистных сооружений, в противном случае это приводит к экологическому ущербу для окружающей среды. С другой стороны, осадки сточных вод могут быть использованы в качестве альтернативных источников энергии. Размещение осадков сточных вод на иловых площадках требуют значительных площадей рядом с источниками загрязнения [1].

ОСВ более чем на 50 % состоит из органических веществ, что определяет возможности использования в качестве возобновляемого энергетического ресурса для выработки тепла и электроэнергии [2].

Цель работы. Оценка и сравнение эффективности различных методов использования энергетического потенциала осадка сточных вод, таких как пиролиз, сжигание и анаэробное сбраживание.

Основные результаты. Сжигание представляет процесс полного окисления органических веществ при высоких температурах (850–1100 °С).

Перед сжиганием необходимо максимально снизить содержание влаги в осадке путем механического обезвоживания. Обезвоженный осадок перед сжиганием подвергается термической обработке, включающей нагрев материала, испарение влаги и выделение летучих веществ. К оборудованию для

сжигания осадка сточных вод относятся печи: многокамерные, с псевдоожиженным слоем (обычно печи с песчаным слоем), вращающиеся, колосниковые и камерные.

Основным преимуществом печей с псевдоожиженным слоем является отсутствие прямого контакта высокотемпературных газов с движущимися механическими частями. Это обеспечивает тщательную дезодорацию продуктов сгорания, но также приводит к значительным потерям тепла. Шлам подается в слой инертного материала (обычно песка), взвешенного восходящим потоком воздуха. Статическая глубина слоя инертного материала составляет 0,5–0,8 метра. Перемешивание инертного материала способствует измельчению шлама на мелкие частицы.

Сгорание большей части высушенных очень мелких частиц и беззольных веществ заканчивается в свободной зоне над псевдоожиженным слоем, где температура достигает 300 °С, т. е. на 100–200 °С выше, чем в слое.

Печи с кипящим слоем легко отключаются на ночь; при повторном запуске они потребляют очень мало топлива, благодаря небольшим размерам нагревательной камеры и качеству огнеупорной футеровки и песка, что позволяет всей камере сгорания поддерживать высокую температуру в течение длительного времени после отключения печи.

Сжигание осадка сточных вод позволяет достичь положительного энергетического баланса и эффективно использовать его теплотворную способность. Однако, поскольку процесс сжигания происходит на воздухе и включает активные меры по дегазации, в атмосферу выбрасывается большое количество продуктов сгорания, что создает дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Использование в печи кипящего слоя из кварцевого песка позволяет значительно уменьшить вредные выбросы при одновременной генерации энергии для обогрева и производства электричества, однако такие системы отличаются повышенной сложностью, габаритами и требуют широкого комплекта вспомогательного оборудования.

Пиролиз – процесс высокотемпературной (800–1000 °С) обработки осадков сточных вод без доступа воздуха (иногда с регулируемой подачей кислорода), в результате которого из органического вещества осадка образуются твердый углеродный остаток – кокс и горючий газ – синтетический газ.

Особенностью пиролизной переработки является экологичность. Процесс протекает при отсутствии кислорода, что предотвращает выделение диоксинов, а тяжёлые металлы (ртуть, кадмий, свинец и др.) в твёрдом остатке остаются в стабильной, нерастворимой форме.

Пиролиз обладает рядом достоинств по отношению к альтернативным способам переработки. При этом процессе под действием высокой температуры осуществляется стерилизация материала, а также формируются побочные продукты – газообразные вещества, жидкие фракции и твердый уг-

леродистый остаток, пригодные для использования в качестве топлива либо в качестве исходного компонента для химической промышленности. Дополнительно пиролиз позволяет извлекать тяжёлые металлы, такие как ртуть и кадмий, вместе с углеродным осадком. На сегодняшний день эта технология получила широкое распространение и интенсивно развивается в передовых странах мира.

К недостаткам метода можно отнести: ограниченные объёмы выработки электроэнергии по сравнению с биогазом, строгие нормы по влажности исходного материала, обязательную предварительную сушку до уровня влаги ниже 15 %, значительное энергопотребление всей установки.

Анаэробное сбраживание – это биологический процесс, при котором органические вещества в отсутствие кислорода разлагаются микроорганизмами с образованием биогаза, состоящего преимущественно из метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2).

Биогаз образуется в результате анаэробного разложения органических веществ в метантенках. Основу получаемого газа составляют 55–75 % метана и 25–45 % углекислого газа, что требует последующей очистки перед применением.

Удельная тепловая мощность сжигания 1 м³ биогаза составляет 22 МДж (или 6,1 кВт·ч в пересчёте на топливо), что равно энергии от сжигания 0,6 л бензина, либо позволяет получить 2 кВт·ч электрической энергии.

Преимущества анаэробного сбраживания состоят в максимальной отдаче энергетического потенциала сточных вод, создании замкнутой по энергообмену экосистемы и получении высокотехнологичного и востребованного продукта – сжатого метана. В последнее время зафиксирован рост научного интереса к совершенствованию данной технологии, особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, что предполагает её широкое применение в ближайшем будущем.

Основной недостаток процесса аэробного сбраживания – протекает медленно, поэтому в основном применяется на небольших очистных сооружениях.

Выводы. Использование энергетического потенциала осадка сточных вод является ключевым направлением в развитии устойчивых систем водоотведения и энергетики. Методы пиролиза, сжигания и анаэробного сбраживания предлагают различные пути для преобразования отходов в ценные ресурсы. Понимание преимуществ и недостатков каждого метода, а также разработка интегрированных и инновационных подходов, позволит максимально эффективно использовать этот недооцененный ресурс, способствуя как экологичности, так и энергетической устойчивости. Дальнейшие исследования и внедрение передовых технологий будут играть решающую роль в реализации полного потенциала осадка сточных вод как источника возобновляемой энергии.

Список литературы

1 Хутская, Н. Г. Энергетическое использование осадков сточных вод / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальченок // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах : сб. материалов науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов, 20 апр. 2023 года / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Г. М. Бровка (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Садовская. – Минск, 2023. – С. 211–220.

2 Энергетический потенциал осадков сточных вод в регионах России / Т. И. Андрусенко, С. К. Дегтярёв, С. В. Киселёва, Ю. Ю. Рафикова // Окружающая среда и энерговедение. – 2025. – № 1. – С. 4–28.

УДК 371-004

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

С. С. ШАЙЫМОВ

*Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад,
smyradow615@gmail.com*

Долгое время инженерные системы зданий (отопление, вентиляция, водоснабжение) развивались как обособленные механические структуры. Однако в условиях глобальной урбанизации 2020-х годов возникла потребность в их глубокой интеграции. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) стали тем связующим звеном, которое превратило «пассивные» конструкции в адаптивные экосистемы. Сегодня инженерная система – это не только трубы и кабели, но и огромные массивы данных, генерируемые ежесекундно.

1 Архитектурные уровни интеграции ИКТ.

Современная ИКТ-инфраструктура инженерных систем строится на принципе иерархичности. Это позволяет разделить зоны ответственности оборудования и упростить масштабирование.

Нижний (полевой) уровень: датчики, сенсоры и актуаторы. Здесь происходит сбор первичной информации (температура, давление, потребление тока) и исполнение команд.

Средний (уровень управления): программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они обрабатывают данные локально и принимают оперативные решения без участия человека.

Верхний (диспетчерский) уровень: системы SCADA и BMS. Здесь осуществляется визуализация процессов, хранение истории и глобальная оптимизация работы всего объекта.

2 Технологические драйверы: IoT и протоколы связи.

Основной рывок в развитии инженерных систем обеспечил Промышленный интернет вещей (IIoT). Благодаря переходу на беспроводные стан-

дарты (Wi-Fi 6, LoRaWAN, 5G) стоимость развертывания сетей датчиков снизилась в разы.

3 Big Data и предиктивный сервис.

Главное преимущество ИКТ – возможность уйти от планового ремонта к предиктивному (прогностическому) обслуживанию. Алгоритмы машинного обучения анализируют косвенные признаки (вибрацию, шум, микроколебания температуры) и выявляют износ оборудования задолго до того, как произойдет авария.

Это позволяет:

1 Снизить затраты на внеплановый ремонт на 25 %.

2 Продлить срок службы дорогостоящих агрегатов (чиллеров, лифтов) на 15–20 %.

3 Оптимизировать потребление ресурсов в зависимости от реальной нагрузки на здание.

4 Кибербезопасность и вызовы будущего.

Интеграция инженерных систем в общую сеть предприятия (и выход в интернет) открывает двери для киберугроз. В 2026 году защита инженерных протоколов становится приоритетом. Взлом системы управления вентиляцией в дата-центре или больнице может привести к физическому разрушению оборудования или угрозе жизни. Использование шифрования, сегментация сетей и внедрение систем обнаружения вторжений (IDS) теперь являются обязательными стандартами проектирования.

Эко-инженерия и «Зеленые» ИКТ.

Современные инженерные системы неразрывно связаны с повесткой устойчивого развития (ESG). ИКТ здесь играют роль главного «контролера» углеродного следа.

Energy Harvesting: появление беспроводных датчиков, которые питаются энергией вибраций труб, разницы температур или комнатного света. Это решает проблему утилизации миллионов батареек.

Умная утилизация тепла: ИКТ позволяют интегрировать инженерные системы здания с ИТ-инфраструктурой. Например, избыточное тепло от серверной комнаты теперь автоматически направляется на подогрев воды в системе горячего водоснабжения (ГВС) или отопление офисов.

Кибербезопасность и защита данных (расширенный блок).

С ростом сложности систем растет и поверхность атаки. В 2026 году защита инженерных систем строится на принципах Zero Trust (нулевого доверия). Каждое устройство в сети (даже простой датчик температуры) должно проходить аутентификацию.

Шифрование трафика между контроллерами становится обязательным, чтобы исключить подмену данных («spoofing»), которая могла бы привести к физическому повреждению оборудования.

Заключение. Информационно-коммуникационные технологии окончательно изменили ландшафт инженерного дела. Переход к «цифровым двой-

никам» зданий и использование искусственного интеллекта для управления климатом и энергией – это уже не футурология, а стандарт индустрии. Будущее ИКТ в инженерии лежит в плоскости дальнейшей автономизации систем, где искусственный интеллект берет на себя рутинное управление, оставляя человеку роль стратега и архитектора смыслов.

Список литературы

1 **Smith, J.** The Role of AI in Building Management Systems / J. Smith // Journal of Engineering & Tech. – 2025.

2 **Wang, Y.** Digital twins in the construction industry: A systematic review of current practices and future directions / Y. Wang, A. Rezaei, S. Hicks // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). – 2026. – Vol. 31.

3 **Thapar, R.** Handbook on Integrating Smart Technologies for Sustainable Development. / R. Thapar, A. V. S. Kumar, O. S. Saleh (Eds.) // Routledge & CRC Press, 1st Edition. – 2026. – Vol. 1. – P. 238.

УДК 628.35:62-278

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРОВ

М. Д. ЮЗЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. Очистка сточных вод с использованием мембранного биореактора (МБР) активно применяется в странах Европы, в России она также набирает популярность. Так, на Московском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) построен комплекс очистных сооружений «Биосфера», в который входит этап очистки в мембранных реакторах. Аналогичный комплекс только в более широком масштабе строится на Омском НПЗ. Эффективность очистки в «Биосфере» составляет 99,9 %, а 75 % воды после биоочистки повторно поступают в производство. Таким образом, технология МБР является перспективным направлением в области очистки сточных вод [1].

Цель работы. Анализ технологии мембранных биореакторов как современного способа очистки сточных вод, а также выявление преимуществ и недостатков по сравнению с традиционными системами.

Основные результаты. Мембранный биореактор представляет комбинацию традиционной биологической очистки и мембранного разделения, реализуемого на ультра- или микрофилтрационных мембранах. Размер пор таких мембран составляет от 0,01 до 0,1 мкм. Для очистки бытовых сточных вод традиционно используется аэробный процесс, однако для очистки промышленных стоков применяют и анаэробные МБР [2].

Мембраны в МБР в основном изготавливаются из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиэтиленсульфона, полиакриланитрила, поливинилиденфторида, поливинилхлорида и др.), а иногда используют неорганические материалы (оксиды Al, Ti, Zr и др.).

Особенности мембранных биореакторов, дающие им преимущества перед традиционными схемами очистки:

1 Полное задержание всех взвешенных веществ и микроорганизмов, что обеспечивает:

- более высокую эффективность очистки по ХПК и БПК₅;
- устойчивость к колебаниям расхода и качества исходной воды.

2 Минимальное время пребывания воды в зоне отделения твердой фазы.

3 Полное удержание микроорганизмов в реакторе, что влияет на автоселекцию микроорганизмов активного ила.

4 Значительно меньшая площадь по сравнению с отстойниками [2].

Применение МБР в технологических схемах очистки сточных вод позволяет:

1 Изменить параметры работы реактора (аэротенка):

- увеличивать возраст активного ила при высоких гидравлических нагрузках, в том числе накопить медленно растущие виды микроорганизмов (нитрификаторы; микроорганизмы, окисляющие биорезистентные соединения);

- продлить время пребывания в реакторе взвешенных веществ вплоть до их полного биологического распада;

- минимизировать влияние седиментационных характеристик активного ила на качество очищенной воды;

- увеличить устойчивость системы к изменениям концентраций загрязнений за счет адаптации биоценозов.

2 Разделить время пребывания воды и микроорганизмов со взвешенными веществами.

3 Повысить гидравлическую производительность и окислительную мощность биологической очистки.

Использование погружных мембранных модулей дает возможность легко модернизировать сооружения биологической очистки без значительных конструктивных изменений. Наиболее яркий положительный эффект от внедрения МБР наблюдается при стесненных условиях, необходимости более компактных конструктивных решений, особенно при высоких требованиях к содержанию взвешенных веществ в очищенной воде.

К главным недостаткам мембранных биореакторов относятся:

- высокие капитальные вложения, при этом стоимость самих мембранных блоков почти не зависит от производительности;

- засорение мембран, требующее дополнительных расходов;

- большие эксплуатационные затраты (электроэнергия, замена мембран);

- усложненное управление и контроль;

- трудность в обеспечении необходимой аэрации при высоких концентрациях активного ила в мембранных биореакторах.

В основу действия биореактора положен синтез биотехнологии и технологии разделения водных суспензий на ультрафильтрационных полимерных мембранах. Технологическая схема состоит из аэротенка и мембранного модуля, с ультрафильтрационными или микрофильтрационными полимерными мембранами. Сточные воды подаются в аэротенк, где иловая смесь циркулирует через мембраны, обеспечивая высокую концентрацию активного ила и глубокую очистку. Аэротенки в системе МБР компактнее классических проточных, имея размер в 2–3 раза меньше объема [3].

Опыт эксплуатации МБР подтвердил высокую эффективность процесса и позволил определить ряд особенностей.

1 Решение проблемы выноса активного ила с очищенными сточными водами. Эквивалентный диаметр пор ультра- и микрофильтрационных мембран находится в пределах 0,02–0,5 мкм. Размер бактерий и простейших, составляющих биоценоз активного ила, превышает 5 мкм, мембрана является физическим барьером на пути проникновения организмов активного ила в водные объекты с очищенными сточными водами.

2 Эффективная очистка благодаря увеличенной площади контакта микроорганизмов со сточными водами. Размер хлопьев активного ила в МБР 5–10 раз меньше, а концентрация нитчатых микроорганизмов в 5–10 раз выше, чем в аэротенках с последующим вторичным осаждением. За счет дисперсности активного ила многократно увеличивается площадь контакта активного ила со стоками, что приводит к эффективной сорбции тяжелых металлов, трудноокисляемых и инертных органических веществ.

3 Высокая окислительная мощность при малых объемах биореактора. МБР эксплуатируются при дозе ила 8–15 мг/дм³, что при равенстве объемов с традиционными конструкциями аэротенков позволяет производить очистку высококонцентрированных сточных вод. Одновременно высокие дозы ила позволяют уменьшить объем биореактора в 2–3 раза.

4 Сокращение количества избыточного активного ила. Возраст ила в МБР составляет 25–30 сут, нередко превышая 60–70 сут. Верхний предел возраста ила, принимаемый службой эксплуатации, зависит от эффективности гидролиза отмершей клеточной массы и допустимой массы инертных взвешенных веществ в мембранном биореакторе.

Несмотря на наличие нитчатых микроорганизмов, за счет повышенной минерализации активный ил обладает удовлетворительной водоотдачей и отводится на обработку непосредственно из биореактора.

5 Эффективная нитрификация и деструкция сложноокисляемых компонентов сточных вод. Эксплуатация в условиях повышенного возраста активного ила приводит к селекции в пользу медленно растущих микроорганизмов, в частности бактерий-нитрификаторов, а также к снижению прироста активного ила.

6 Частичное обеззараживание сточных вод. Вследствие того, что поры мембран имеют меньший размер, чем клетки подавляющего большинства известных бактерий и некоторых вирусов, а также за счет образования отложений на поверхности мембраны, выступающих как дополнительный фильтрующий слой, в МБР происходит эффективное обеззараживание сточных вод.

7 Устойчивость процесса очистки к колебаниям концентраций загрязняющих веществ и залповым сбросам. Эксплуатация мембранных биореакторов в режиме низкой нагрузки на активный ил создает резерв окисляющей способности и повышает устойчивость процесса очистки к колебанию состава сточных вод.

Со временем мембранная производительность снижается из-за осаждения частиц на и в мембране. Современные методы борьбы с загрязнением включают постоянную аэрацию поверхности мембран, гидравлическую и периодическую обратную промывку, а также погружение мембран для дополнительной очистки.

Вывод. Мембранные биореакторы являются высокоэффективной и перспективной технологией очистки сточных вод, сочетающей биологическую обработку и мембранное разделение. Они обеспечивают глубокую очистку, компактность сооружений и возможность повторного использования воды. Несмотря на более высокие капитальные и эксплуатационные затраты, преимущества МБР – высокая степень удаления загрязнений, снижение объема избыточного ила и компактность – делают их востребованными как в промышленности, так и при модернизации действующих очистных сооружений.

Список литературы

1 **Гоголева, Н. А.** Применение технологии мембранных биореакторов (МБР) в очистке сточных вод как один из перспективных методов очистки / Н. А. Гоголева, С. В. Белькова // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26–29 февр. / Омский гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Лихолобов [и др.]. – Омск : ОмГТУ, 2020. – С. 275–276.

2 **Адрианов, А.** Особенности и перспективы применения мембранных биореакторов для очистки сточных вод / А. Адрианов // Вода Magazine. – 2020. – № 6. – С. 10–15.

3 **Ходневский, А. В.** Аппаратурное оформление процесса очистки сточных вод в мембранных биореакторах / А. В. Ходневский, В. В. Кузьмин, В. С. Францкевич. – Минск : БГТУ, 2023. – С. 184–188.

УДК 621.644: 622.243.2

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И КОЛОДЦЕВ**

Г. Н. БЕЛОУСОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
qalina1belousova@gmail.com*

Актуальность. В настоящее время невозможно представить области жизнедеятельности человека, где не использовались бы полимерные материалы. Наиболее распространенными изделиями из полимеров являются трубопроводы.

Решая проблемы водоснабжения и канализации, человек использовал трубы. В древности для изготовления труб применяли древесину (в частности, бамбук, который природа создала в виде уже готовой трубы), керамику, металл (медь, железо, свинец). В настоящее время разработаны новые виды труб: полимерные, металлополимерные, стеклопластиковые.

Фирмы поставляют на рынок комплекты изделий, включающие как сами трубы, так и соединительные элементы к ним, а также колодцы, дождеприемные устройства, трубопроводную арматуру и элементы крепления труб и арматуры.

Цель работы. Анализ существующих методов реконструкции водоотводящих подземных коммуникаций.

Проектирование и устройство систем водоснабжения и канализации, включающих внутренние и наружные сети водоснабжения и канализации с использованием труб из полимерных материалов, является в настоящее время актуальным.

Для монтажа наружных сетей водоснабжения и канализации применяются трубы и фасонные части, изготовленные из полимеров (полиэтилена низкой и высокой плотности, поливинилхлорида, полипропилена). Для внутренних систем горячего водоснабжения применяют трубы, изготовленные из температуростойких полимеров – сшитого полиэтилена, полипропилена.

Чтобы сориентироваться в многообразии полимерных материалов, применяемых для производства труб, и выбрать нужный тип трубы, необходимо учитывать цель использования трубопровода, параметры его работы (температуру, давление, характер среды и т. п.) и требуемую долговечность. При этом следует понимать, что ремонт трубопроводов – серьезная проблема, сопряженная с большими затратами. В Республике Беларусь трубы из полимерных материалов и соединительные элементы к ним изготавливают на целом ряде предприятий.

Основные результаты. Проблемы оперативного ремонта, восстановления и модернизации водоотводящих сетей в современном городе усугубляются рядом причин: высокой плотностью застройки подземных и наземных объектов, наличием инженерных коммуникаций, параллельных и пересекающихся с сетями водоснабжения и канализации на различных уровнях, насыщенностью окружающих грунтов подземными водами и т. д. [1].

В Республике Беларусь для реконструкции водоотводящих подземных коммуникаций в основном применялись открытые технологии, которые требуют значительных финансовых и временных затрат и не соответствуют экологическим требованиям. Основная доля затрат в структуре себестоимости работ по открытой перекладке сетей приходится на земляные работы и связанные с ними транспортные перевозки; при этом затраты увеличиваются прямо пропорционально глубине заложения трубопровода.

В последние десятилетия в сфере эксплуатации и ремонта городских систем водоснабжения и водоотведения для решения указанных проблем разработано новое направление, получившее название бестраншейной технологии восстановления (санации) старых (ветхих) и прокладки новых трубопроводов [1]. Под бестраншейными технологиями понимаются методы прокладки, замены, ремонта, инспекции и обнаружения дефектов в подземных коммуникациях различного назначения с минимальным вскрытием земной поверхности. Бестраншейные технологии санации и прокладки трубопроводов наряду с оперативностью и экономичностью по сравнению с традиционными методами позволяют не нарушать сложившуюся экологическую обстановку.

Целью бестраншейной технологии является полное восстановление структуры трубопровода путем устранения всех видов дефектов по длине труб и в местах их стыковки при соблюдении (поддержании) исходных гидравлических характеристик течения потока жидкости, которое должно придать сооружению (трубопроводу) большую механическую прочность для восприятия им постоянных (от насыпного грунта, покрытий) и временных нагрузок (от транспортных средств).

Санация трубопроводов – альтернативная технология трудоемкому процессу разработки траншей и применения при необходимости полной или частичной замены участка существующего трубопровода [2].

Используют два основных метода санации – реновация (с разрушением старой трубы) и релайнинг (без разрушения старой трубы).

В мировой практике наиболее широкое распространение получили следующие методы санации водопроводных и канализационных сетей:

- протаскивание нового трубопровода в поврежденный старый (либо с разрушением, либо без разрушения его) с помощью специальных устройств [2];
- протаскивание относительно гибкой (предварительно сжатой или сложенной в U-образной форме) трубы из полимерных материалов внутрь старого ремонтируемого трубопровода;
- использование гибкого комбинированного рукава (чулка), позволяющего формировать новую композитную трубу внутри старой трубы;
- точечные (местные) покрытия внутренней поверхности труб.

Целесообразность использования того или иного метода санации трубопроводов определяется после детальных диагностических обследований и получения заключения технической экспертизы. В каждом конкретном случае рассмотрению подлежат: состояние трубопровода, его размеры, вид транспортируемой среды, окружающая подземная инфраструктура, тип грунтов, наличие подземных вод и ряда других факторов, способных повлиять на выбор метода санации.

В Республике Беларусь применяют следующие методы бестраншейного восстановления водопроводных и канализационных трубопроводов [2].

Метод «труба в трубе» представляет собой протяжку через существующий трубопровод высокопрочной полиэтиленовой трубы. Метод применим для чугунных, стальных водопроводных и канализационных труб диаметром 100–400 мм. За одну операцию может быть saniрован участок трубы длиной до 600 м.

Метод «взламывания» применяется в тех случаях, когда необходимо сохранить или увеличить диаметр трубопровода, позволяет восстанавливать трубы из любого материала и любого диаметра на длину до 200 м.

Метод «чулка» заключается в армировании внутренней поверхности трубопровода специальными мягкими рукавами, изготовленными из кислотоупорного полиэфирного волокна, пропитанного эпоксидной смолой.

Метод «U-Лайнер» используется при ремонте водопроводных магистралей диаметром 500, 600, 800 мм. При этом происходит протаскивание U-образного полиэтиленового трубопровода.

«Цементно-песчаное покрытие» – это метод восстановления трубопровода путем нанесения специального раствора методом центрифугирования или центростремительного набрызга с помощью пневматической или электрической металлической головки облицовочного агрегата.

Метод «локального ремонта» представляет собой ремонт мест утечек при помощи наложения роботом внутренних бандажей [4]. Робот вводится в

удобном месте через колодец или с раскопкой в газоне, проходит по трубе до недоступного сверху места дефекта и выполняет ремонт трубопровода.

Для эффективного проведения строительных работ, создания надежной эксплуатации реконструированного трубопровода требуется качественное выполнение следующих технологических операций: диагностирование внутренней поверхности ветхого трубопровода; подготовка стенок реконструируемого трубопровода к протаскиванию труб из полимерных материалов; подготовка трубопровода из полимерных материалов к протаскиванию в реконструируемую сеть; размещение нового трубопровода в старом; сопряжение участков реконструируемого трубопровода с действующими участками сети; выполнение мероприятий по усилению трубопровода из полимерных материалов; испытание реконструируемого трубопровода [1].

В настоящее время также актуальным является изношенность железобетонных коллекторов диаметром 500–3500 мм, которая объясняется многими причинами, среди которых основное место занимает физико-химическое воздействие агрессивных веществ с образованием на своде коллектора кислотного конденсата, газовой коррозии. «Мокрая» часть коллектора подвержена абразивному износу, выщелачиванию и биообрастаниям.

Восстановление канализационных коллекторов с каждым годом становится все более актуальной проблемой для многих городов. Это объясняется крайне ветхим состоянием коллекторов, выполненных в основном из железобетонных элементов. Повреждения и аварии на этих сооружениях приводят к негативным последствиям для социальной и производственной инфраструктуры, наносят ущерб окружающей среде [2].

Восстановление только герметичности таких трубопроводов, например, «рукавные» технологии, нанесение цементно-песчаных или полимерных покрытий [5], использование тонкостенных полимерных рукавов, может оказаться неэффективной мерой. Использование неподходящего способа реновации не остановит уже начавшиеся структурные разрушения, и, соответственно, не обеспечит расчетного срока эксплуатации трубопровода.

С этой точки зрения весьма перспективным и эффективным методом является восстановление структурной целостности и рабочих характеристик трубопроводов с использованием полиэтиленовых модулей [2].

Достоинства этой технологии: высокая химическая стойкость и несущая способность элементов; сравнительно невысокая стоимость; удобство и легкость монтажа; отсутствие на рабочей площадке сложного технологического оборудования; возможность осуществления работ без вывода трубопровода из эксплуатации – в потоке рабочей жидкости.

К недостаткам можно отнести только значительные затраты на доставку крупногабаритных элементов к месту производства работ.

Технология восстановления трубопровода методом «труба в трубе» без остановки стоков с применением трубных резьбовых модулей осуществляется в несколько этапов. На первом этапе проводится диагностика трубопровода с целью определения его реального технического состояния (видеоинспекция внутренней поверхности, определение планово-высотного положения участков трубопровода), готовится заключение, прорабатываются технические решения.

На втором этапе проводятся подготовительные работы – согласования, вскрытие колодцев, раскопка дополнительных технологических котлованов при необходимости, доставка материалов, расстановка техники, осуществляется прочистка и повторная инспекция трубопровода.

На третьем этапе резьбовые модули по одному подаются в трубопровод через камеру или небольшой стартовый котлован, при помощи лебедки протягиваются в потоке жидкости (обычно по направлению потока). При этом стоки выполняют роль дубликанта (скольжения), защищая наружную поверхность трубы от повреждений, а выталкивающая сила потока снижает усилия, необходимые для протяжки. По завершении процесса протяжки труба фиксируется, пространство между трубой и старым коллектором заполняется специальным забутовочным раствором, образуя прочную трехслойную конструкцию. При этом работы проводятся в потоке рабочей жидкости, не требуется организация переброски стоков. Как показывает практика, во многих случаях это единственно возможный способ ремонта аварийных коммуникаций диаметром 500–3500 мм.

Полиэтиленовые колодцы становятся все более востребованными. Выпускаются не только диаметром 400 мм и 600 мм, но и от 1600 до 2200 мм. Эти колодцы предназначены для реконструкции старых, железобетонных сетей, которые уже не справляются с нагрузкой и переполняются грунтовыми водами. Колодцы диаметром 1200 мм поставляются в комплекте с трубами. Основными составными частями гофрированных колодцев являются: кинет, подъемная труба, телескопическое покрытие или бетонический конус с плитой или люком. Максимальная глубина осаднения колодцев не должна превышать 6000 мм. Кинет применяется для канализационных каналов из ПВХ в пролётной системе (в особых случаях с притоком левым или правым). Скользящая поверхность кинета изготовлена из ПВХ, закреплена в бетоне и покрыта закрепляющей эмульсией. Существует возможность изготовления в стенке подъемной трубы дополнительного подсоединения труб диаметром 160 мм и 200 мм.

Применяют гофрированные колодцы для хозяйственно-бытовой, ливневой и общесплавной канализации, для дренажных систем. Свойства: химические – стойкость к кислотным и щелочным средам от pH = 2 до pH = 12; механические – стойкость к истиранию и стойкость на разрыв; устойчивость к

внешним механическим нагрузкам. Они обладают морозостойкостью и низкой теплопроводностью. Рабочие температуры этих колодцев от –60 до +75, кратковременно до +95, поэтому их применяют и для водопроводных систем [2].

Вывод. В настоящее время для реконструкции водоотводящих подземных коммуникаций существует широкий спектр современных материалов и технологий. Задачей является выбор наиболее эффективных решений с учетом внешних и внутренних факторов в каждом конкретном случае.

Список литературы

1 Новикова, О. К. Реконструкция систем водоснабжения и канализации : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 212 с.

2 Краснов, В. И. Реконструкция трубопроводных инженерных сетей и сооружений : учеб. пособие / В. И. Краснов. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 238 с.

3 Сокова, С. Д. Основы технологии и организации строительно-монтажных работ : учеб. / С. Д. Сокова. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 208 с.

4 Comparative Analysis of Existing Technologies for Composite Repair Systems / E. Kudina, S. N. Bukharov, V. P. Sergienko, A. Dumitrescu // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Edited by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing. – 2018. – Pp. 241–267.

5 New composite systems for pipeline coating / C. M. Dușescu, E. -E. Opreșcu, L. I. Negoită, [et al.] // Innovative Solutions in Repair of Gas and Oil Pipelines / Edited by E. Barkanov, M. Mikovski and V. Sergienko. – Sofia : Bulgarian Society for Non-destructive Testing Publishers, 2016. – Ch. IX. – Pp. 108–119.

УДК 621.644:622.243.2

ПРОКЛАДКА ГОРОДСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Г. Н. БЕЛОУСОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
qalina1belousova@gmail.com*

Актуальность. Водопроводная сеть является одной из основных систем водоснабжения и должна обладать достаточной степенью надежности и способствовать обеспечению бесперебойного снабжения водой потребителей. Наиболее важной проблемой инженерных сетей является их износ, приводящий к возникновению аварийных ситуаций и, соответственно, аварийно-восстановительных ремонтов.

Цель работы. Анализ безопасной комплексно-механизированной технологии, поточной прокладки городских сетей из отдельных труб, автоматизированного оперативного управления строительством.

Основные результаты. Система водоснабжения города Гомеля включает 108 артезианских скважин, 7 водозаборов со станциями обезжелезивания, 64 повысительные насосные станции и 1109 км водопроводных сетей. Общая протяжённость канализационных сетей составляет 690 км.

Системы водоснабжения и водоотведения города находятся в состоянии непрерывных изменений. Появляются новые объекты, жилые районы застроек, требующие прокладки новых сетей для последующей стабильной работы. В то же время сооружения, оборудование, сети со значительным сроком службы также требуют внимания. В среднем износ по сетям водоснабжения составляет 35,9 %, по сетям водоотведения – 56,2 %. Ежегодно производится замена сетей водоснабжения и водоотведения в объёмах от 1,5 до 7 км. Аварии на сетях водоснабжения приводят к систематическим сбоям в экономической и социальной сферах. В связи с этим проблема износа имеет комплексный характер и связана с поиском наиболее эффективных методов по повышению надёжности и безопасности эксплуатации сетей, а также с принятием действенных мер по снижению их аварийности.

Негативное влияние, оказываемое на окружающую среду, при возникновении аварий и проведении аварийно-восстановительных работ: уничтожение зелёных насаждений; нарушение целостности поверхности покрытия и поверхности грунта на участке работ; дополнительный расход воды на утечки из сети; расход электроэнергии на работу насосов на станциях при возникновении аварии; выбросы от автотранспорта при проведении аварийно-восстановительных работ и т. д. [1].

Немаловажную часть при восстановлении трубопроводных сетей играет количество потребителей, подсоединённых к водоводу, находящемуся на реконструкции, и их категория по степени надёжности водоснабжения, плотность застройки и скопление инженерных сетей и сооружений, а также географическое расположение [1]. Эти факторы воздействуют на исход выбранных материалов для реконструкции трубопроводов, способа выполнения строительных работ.

Трубопроводы в основном реконструируются открытым способом с помощью специальных строительных машин. Работы осуществляются при температуре не ниже 5 °С, если ведётся реконструкция с использованием полимерных материалов.

Если наблюдается у сетей водоснабжения или канализации сильный износ или они имеют необходимость в увеличении их пропускной способности, то следует производить реконструкцию бестраншейными технологиями [2]. На основе готовых типовых проектов производства работ по реконструкции на старых водопроводных сетях разрабатываются специальные технологические схемы ремонта. Преимущества бестраншейных методов восстановления трубопроводов заключаются в меньших затратах времени на земляные работы, отсутствует вскрытие и восстановление дорожных покрытий;

практически исключается вероятность повреждения других коммуникаций, проходящих под землей в непосредственной близости от ремонтируемого трубопровода [2].

Одним из приоритетных видов бестраншейного строительства является горизонтальное направленное бурение (ГНБ) – способ образования скважины с запроектированными характеристиками, непрерывным мониторингом процесса бурения и корректировкой трассы в процессе строительства.

Бестраншейное строительство трубопроводов методом горизонтального направленного бурения осуществляется специальной буровой установкой «*Robbins HDD*» *CMS 4510 TMSC*, которая успешно применяется ведущими зарубежными и российскими компаниями в бестраншейной области строительства. Данная установка позволяет осуществлять на высоком инженерном уровне бестраншейную прокладку коммуникаций из полиэтилена и стали диаметром до 1420 мм, длиной до 2000 м, на глубине до 20 м в любых грунтах, включая те, в которых отмечается высокий уровень грунтовых вод.

В состав работ по технологии горизонтального направленного бурения входят [3]:

1 Подготовительные работы. Перед началом работ тщательно изучаются свойства и состав грунта, дислокация существующих подземных коммуникаций, оформляются соответствующие разрешения и согласования на производство подземных работ.

2 Пилотное бурение скважины осуществляется при помощи породоразрушающего инструмента – буровой головки со скосом в передней части и встроенным излучателем. Контроль за местоположением буровой головки осуществляется с помощью приемного устройства локатора, который принимает и обрабатывает сигналы встроенного в корпус буровой головки передатчика. Строительство пилотной скважины завершается выходом буровой головки в заданной проектом точке.

3 Предрасширение скважины осуществляется после завершения пилотного бурения. При этом буровая головка отсоединяется от буровых штанг и вместо нее присоединяется риммер – расширитель обратного действия.

4 Расширение скважины до требуемого размера с одновременным протаскиванием трубопровода. На противоположной от буровой установки стороне скважины располагается готовая к протягиванию плеть трубопровода. К переднему концу плети крепится оголовок с воспринимающим тяговое усилие вертлюгом и риммером.

Важнейшим фактором эффективного применения технологии горизонтального направленного бурения является использование высококачественных буровых растворов, предназначенных [3]:

- для формирования и стабилизации скважины;
- очищения скважины от выбуренной породы и выноса ее на поверхность;

- охлаждения, смазывания бурового инструмента;
- уменьшения трения бурового инструмента о грунт;
- предотвращения налипания грунта на буровой инструмент и прокладываемый трубопровод.

Буровой раствор представляет смесь воды, натриевого бентонита «HYG-200» и полимера «Universal PAC». Приготовление бурового раствора осуществляется при помощи растворосмесительного узла (PCY), входящего в состав нормоконспекта установки «Robbins HDD» CMS 4510 TMSC.

Разрабатывается схема организации рабочего места при бестраншейной прокладке трубопровода методом горизонтального направленного бурения (рисунок 1), составляется календарный план производства работ, определяется продолжительность работ.

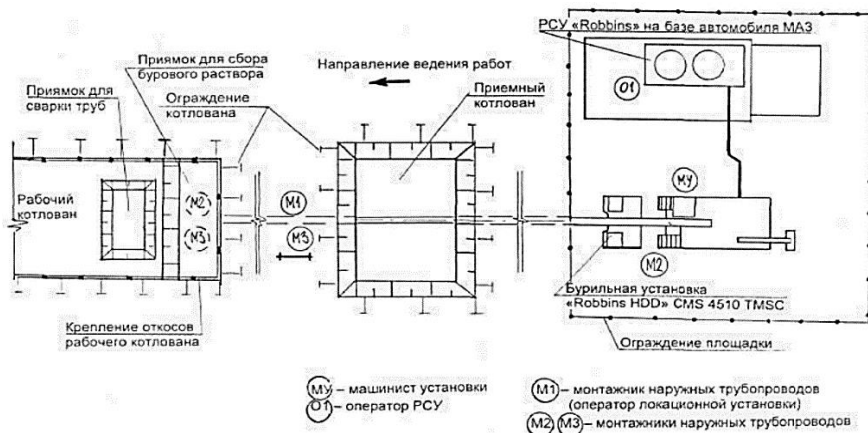


Рисунок 1 – Схема организации рабочего места

График движения рабочей силы проверяется на коэффициент неравномерности по формуле [1]

$$K = \frac{n_{\max}}{n_{\text{ср}}},$$

где $n_{\max}$ — максимальная численность рабочих на объекте, $n_{\max} = 6$ чел.; $n_{\text{ср}}$ — средняя численность рабочих на объекте.

Если коэффициент неравномерности движения рабочих получился меньше 1,5, расчет выполнен правильно.

Экономическое обоснование проведенных исследований и расчетов определяет перечень сравнительных показателей новой и традиционной технологий прокладки трубопроводов, условия перспективных разработок на будущее.

Вывод. Прокладка инженерных сетей из отдельных труб позволяет еще на стадии проектирования оптимизировать параметры машин и оборудования, реализовать на практике систему автоматизированного оперативного управления строительством при ограниченных материальных и трудовых ресурсах. Основываясь на исследованиях, можно сказать, что большую роль в защите окружающей среды играет выбор метода прокладки трубопровода, а также выбор материала труб.

Список литературы

1 Орлов, В. А. Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами : учеб. пособие / В. А. Орлов, Е. В. Орлов. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 222 с.

2 Орлов В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов / В. А. Орлов, В. А. Харьков. – М. : Стройиздат, 2001. – 220 с.

3 Храменков С. В. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М. : Прима-Пресс-М, 2003. – 245 с.

УДК 661.832.532:504.06(575.4)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА С ПОЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЧИСТОГО СУЛЬФАТА КАЛИЯ

Р. О. БОРДЖАКОВ, Э. А. БЕРДЫЕВА

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад

Актуальность. Современная стратегия индустриального развития Туркменистана ориентирована на глубокую переработку природных богатств с соблюдением международных стандартов экологической безопасности. Залив Гарабогазгол является уникальным природным резервуаром сульфатно-магниевого солей, промышленное освоение которых позволяет создавать продукты с высокой добавленной стоимостью.

Производство сульфата калия (K_2SO_4) – стратегическая задача для химической отрасли. В отличие от традиционного хлорида калия, сульфатные удобрения не вызывают вторичного засоления почв и являются критически важными для повышения урожайности в условиях аридного климата. Однако традиционные методы переработки рапы сопряжены с высокими энергозатратами и образованием значительных объемов сточных рассолов. Ресурсосберегающий подход требует внедрения технологий, позволяющих минимизировать потребление пресной воды и энергии.

1 Физико-химический анализ сырьевой базы. Гидроминеральное сырьё Гарабогазгола представляет сложную пятикомпонентную систему $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Главная технологическая сложность заключается в необходимости отделения ионов калия от избыточных ионов магния, которые в процессе испарения формируют трудноразделяемые двойные соли.

Научными исследованиями [1, 2] установлено, что оптимальным путем переработки является выделение промежуточного продукта – шёнита ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Фазовые превращения в системе при температурах 20–35 °C показывают, что именно шёнитовая ветвь кристаллизации является наиболее устойчивой для получения качественного сырья для дальнейшей конверсии.

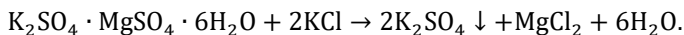
2 Технологические инновации и интенсификация процесса. Для достижения высокого уровня ресурсосбережения предлагается внедрение гибридной технологической схемы, состоящей из двух инновационных этапов.

2.1 Предварительная мембранная сепарация. Применение нанополитрационных (NF) мембран позволяет на этапе подготовки рапы избирательно концентрировать двухзарядные сульфат-ионы (SO_4^{2-}), отделяя их от хлорида натрия.

Экологический эффект: снижение расхода пресной воды на промывку готовых солей на 25–30 %.

Технологический эффект: повышение селективности кристаллизации шёнита и сокращение времени нахождения рассола в испарительных бассейнах [3].

2.2 Ультразвуковая интенсификация конверсии. Процесс получения сульфата калия протекает по реакции взаимодействия шёнита с хлоридом калия:



Для предотвращения образования крупных конгломератов и захвата примесей (инклюзии) в кристаллическую решетку предлагается использование *ультразвуковых излучателей* в реакционной зоне. Кавитационное воздействие способствует равномерному распределению частиц и получению мелкодисперсного продукта с чистотой более 98,5 % [4].

3 Прикладная экология и концепция «Zero Liquid Discharge». В условиях Каспийского региона защита водной среды и рациональное водоснабжение являются приоритетными. Ресурсосберегающая модель производства базируется на принципе «нулевого сброса» (ZLD).

Все маточные растворы после отделения сульфата калия, обогащенные магнием, направляются в блок получения бишофита ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и эпсомита ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Это не только предотвращает загрязнение акватории залива техногенными стоками, но и позволяет получать дополнительную товарную продукцию для строительной и медицинской отраслей Туркменистана [3, 6, 7]. Более того, замена хлоридных удобрений сульфатными в сельском хозяйстве является важным элементом прикладной экологии, замедляющим деградацию пахотных земель.

4 Автоматизация и микропроцессорное управление. Современное химическое производство невозможно без прецизионного мониторинга. Высокотехнологичный комплекс должен включать автоматизированную систему управления (АСУ ТП), построенную на базе микропроцессорных контроллеров. Система в режиме реального времени отслеживает:

- плотность и фазовый состав пульпы;
- температурные градиенты в вакуум-кристаллизационных установках;
- качество очистки оборотных вод.

Интеграция датчиков контроля позволяет снизить энергопотребление за вода на 10–15 % и исключить человеческий фактор при проведении критических химических реакций [5].

Заключение. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии производства сульфата калия на базе ресурсов залива Гарабогазгол является ключом к инновационному развитию химической промышленности региона. Комбинация мембранных методов очистки, ультразвуковой обработки и интеллектуальных систем управления позволяет создать экологически безопасное, высокоэффективное производство, соответствующее принципам «зеленой» химии.

Список литературы

- 1 **Аллаков, А.** Химическая технология комплексной переработки рапы залива Кара-Богаз-Гол / А. Аллаков. – Ашхабад: Ылым, 2021. – 210 с.
- 2 **Курбанов, М. Т.** Перспективы развития калийной промышленности Туркменистана / М. Т. Курбанов // Вестник государственного университета. – 2024. – № 2. – С. 88–95
- 3 **Березин, И. В.** Мембранные процессы в технологии неорганических веществ: учеб. пособие / И. В. Березин. – М. : Академкнига, 2023. – 185 с.
- 4 **Овчинников, С. П.** Интенсификация массообменных процессов в солевых системах / С. П. Овчинников, Д. А. Петров // Журнал прикладной химии. – 2022. – Т. 95, № 8. – С. 1102–1115.
- 5 **Семенов, В. В.** Автоматизация химических производств в аридной зоне / В. В. Семенов. – СПб. : Химиздат, 2023. – 320 с.
- 6 Туркменистан: стратегия социально-экономического развития до 2030 года. – Ашхабад : Государственная издательская служба, 2022. – 145 с.
- 7 **Zhao, Y.** Global trends in potash fertilizer production and soil sustainability / Y. Zhao, L. Chen // Journal of Agricultural Chemistry. – 2023. – Vol. 71, № 3. – Pp. 442–456.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРОВ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

А. А. ВОЛЧЕК, Н. В. УСС

Брестский государственный технический университет,

Республика Беларусь, natallyanovosad@mail.ru

Актуальность. При реконструкции систем водоснабжения необходимо учитывать климатические изменения, которые вызывают изменения уровня воды и термический режим рек. В частности, необходимо принимать в расчёт особенности ледовой структуры и динамику ледового режима водотоков.

Современные климатические изменения существенно трансформируют ледовый режим рек Беларуси, что подтверждается многолетними гидрологическими наблюдениями по всей территории страны: сдвигаются сроки замерзания и вскрытия водотоков, сокращается продолжительность ледостава, меняется толщина и структура ледяного покрова, а также отмечается рост аномальных зимних явлений (резкие перепады температур, ранние или поздние ледоставы и образование наледей). Эти изменения приводят к учащению оттепелей зимой, формированию неустойчивого ледяного покрова и повышению риска образования шуги, заторов и зажоров, что создаёт дополнительные угрозы для непрерывной работы водозаборных сооружений.

Для Беларуси, где значительная часть водозаборов зависит от поверхностных источников, учёт обновлённых параметров ледового режима критически важен для обеспечения бесперебойного водоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, промышленных предприятий и сельскохозяйственных организаций в зимний период, когда ледовые явления существенно влияют на их работу.

Существующие проектные нормативы и схемы размещения водозаборов, разработанные без учёта современных климатических тенденций, могут не обеспечивать требуемый уровень устойчивости к изменяющимся ледовым нагрузкам, что повысит вероятность технологических сбоев.

Цель работы. Показать необходимость учета влияния ледовых режимов рек на этапах проектировании и реконструкции водозаборных сооружений при изменяющихся климатических условиях.

Основные результаты. Ледовый режим реки – это совокупность закономерных повторяющихся процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований на реке. Он включает все сезонные фазы и явления, связанные с замерзанием и вскрытием водотока. Характер ледового режима водных объектов определяется взаимодействием нескольких ключевых фак-

торов: климатических условий в пределах речного бассейна, водности реки, морфологических особенностей её русла, а также гидравлических свойств движущегося водного потока.

По данным Белгидромета, глобальное потепление на территории Беларуси началось зимой 1989 года. С этого периода отмечается устойчивый рост температуры воздуха, который продолжается до настоящего времени [1]. Каждые 10 лет температура воздуха в стране увеличивается примерно на 0,4 °C. Повышение температуры наблюдается практически в каждом месяце, но наиболее заметно оно в зимний период. За период с 1989 по 2019 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси превысила климатическую норму на 1,3 °C [2]. В ходе климатических изменений отмечается тенденция к смягчению зимних условий на территории всей страны. Наблюдается повышение зимних температур, сокращение продолжительности зимнего периода, более позднее образование и раннее таяние снежного покрова и льда, учащение оттепелей и уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами.

Изменения ледового режима рек Беларуси подтверждаются и современными исследованиями. За период потепления, на примере реки Западная Двина, время проявления первых ледовых явлений сдвинулось с первой-второй декады ноября (историческая норма) на первую-третью декаду декабря, то есть на 2–4 недели позже. Также фиксируется и тенденция смещения сроков окончания ледовых явлений на реке: средняя дата окончания ледовых явлений сместилась с первой декады апреля на период со второй по третью декаду марта. Разница во времени проявления последних ледовых явлений между верхним течением (пост Сураж) и нижним (пост Верхнедвинск) выросла с 6–9 суток в 1960–1989 г. до 12–21 суток в период потепления (1990–2022 гг.). Одновременно продолжительность ледового периода сократилась: со 147 до 128 суток на посту Сураж и со 137 до 103 суток – на посту Верхнедвинск [3]. Аналогичные изменения в разной степени фиксируются и на других реках страны.

При проектировании водозаборных сооружений в Республике Беларусь (согласно СП 4.01.03-2022 «Водозаборные сооружения») учитываются различные характеристики ледового режима, которые влияют на безопасность, эффективность и долговечность сооружений. Эти параметры определяют конструктивные решения, расположение водозаборов и системы их эксплуатации. Основными характеристиками ледового режима, учитываемыми при проектировании, являются:

1 Толщина ледостава. Определяет нагрузки на конструкции водозабора и необходимость их усиления. В зависимости от толщины ледяного покрова (например, до 0,8 м, от 0,8 до 1,2 м или более) выбирают материалы, глубину заложения сооружений и системы защиты от механических повреждений.

2 Наличие и характер внутриводного ледообразования. Учитывается формирование шуги и её влияние на работу водозабора. Шуга может засорять водоприёмные отверстия, поэтому предусматриваются системы её отделения и предотвращения закупорки входных частей сооружений.

3 Возможность шугозажоров и ледяных заторов. В предледоставные периоды и весной может возникать риск образования заторов из шуги или льда, что угрожает целостности сооружений. При проектировании учитывают вероятность таких явлений и предусматривают меры для их минимизации, например, специальные конструкции для пропуска шуги или системы регулирования потока.

4 Полыньи и их распределение. Полыньи (участки открытой воды среди ледяного покрова) влияют на температурный режим и могут создавать дополнительные гидродинамические нагрузки. Их наличие учитывается при выборе места расположения водозабора и расчёте нагрузок.

5 Сроки формирования и таяния ледяного покрова. Продолжительность ледостава и даты его начала/окончания определяют периоды, когда водозабор будет работать в условиях обледенения. Это влияет на выбор систем подогрева или других мер для предотвращения замерзания водоприёмных отверстий.

6 Нестационарность течений, вызванных ветром и волнением. В период ледостава направления и величины скоростей течений могут меняться, что создаёт дополнительные нагрузки на сооружения. Учитываются возможные вихревые зоны и их влияние на работу водозабора.

7 Стратификация воды по температуре и мутности. Различия в температуре и концентрации взвеси по глубине влияют на формирование льда и его структуру, что учитывается при расчёте нагрузок и выборе материалов.

8 Возможность образования вихревых водоворотов у водоприёмников. Вихревые потоки могут захватывать поверхностные слои воды и шугу, что требует специальных конструктивных решений для предотвращения закупорки систем.

Также при расчёте параметров водозабора, например отметки дна водоприёмного ковша, учитывается расчётная толщина ледяного покрова в русле реки. Это позволяет обеспечить достаточный запас глубины для бесперебойной работы сооружения в зимний период [4].

В условиях изменяющегося климата наблюдается устойчивая тенденция к сокращению продолжительности ледового режима: сроки появления льда становятся более поздними, а сроки вскрытия водоёмов – более ранними. В связи с этим при разработке и актуализации строительных норм и стандартов необходимо учитывать динамику климатических изменений, включая пересмотр расчётных ледовых нагрузок и проработку сценариев экстремальных ледовых явлений (зажоров, заторов, аномальных оттепелей).

Выводы. Учет влияния ледовых явлений при проектировании и реконструкции водозаборов с учетом современных климатических изменений позволит минимизировать риски аварий, сократить затраты на экстренные ремонты и гарантировать стабильное водоснабжение населения и предприятий Республики Беларусь даже в условиях нестабильного ледового режима. Систематическая фиксация актуализированных данных о сроках замерзания и вскрытия водотоков, продолжительности ледостава, толщине и структуре ледяного покрова становится неотъемлемым элементом стратегии устойчивого водоснабжения.

Комплексный мониторинг и внедрение обновлённых параметров ледового режима в планирование работы водозаборов – необходимое условие для долгосрочной надёжности систем водоснабжения Беларуси и снижения потенциальных экономических потерь в ключевых секторах экономики.

Список литературы

1 Белгидромет рассказал, когда началось глобальное потепление в Беларуси // Дзен. – URL: <https://dzen.ru/a/aJW5pb7Ikyo3vw0> (дата обращения: 18.02.2026).

2 Что происходит с изменением климата в Беларуси? // United Nations Development Programme. – URL: <https://www.undp.org/ru/belarus/chto-proiskhodit-s-izmeneni-em-klimata-v-belarusi> (дата обращения: 19.02.2026).

3 Тимошенко, В. А. Изменение ледового режима рек Белорусского Поозерья за период потепления климата на примере реки Западная Двина / В. А. Тимошенко; науч. рук. Д. Л. Иванов // XVIII Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25 октября 2024 г. : в 2 т. / ВГУ им. П. М. Машерова. – Витебск, 2024. – Т. 1. – С. 135–138.

4 Строительные правила Республики Беларусь. Водозаборные сооружения : СП 4.01.03-2022. – Минск, 2023.

УДК 621.891:628.517.2:534.8.081.7

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВАГОННЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

С. Н. БУХАРОВ, Е. Ф. КУДИНА, А. С. ТУЛЕЙКО

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, г. Гомель, sbuharov@mpri.org.by*

Проблема снижения уровней шумового воздействия на окружающую среду является в настоящее время одной из основных проблем безопасной жизнедеятельности человека и безаварийного функционирования сложных технических объектов. Подвижные части механизмов и машин, в том числе многочисленные узлы трения являются источником вибрации и шума, по-

вышенные уровни которых значительно снижают безопасность эксплуатации, надежность и ресурс как отдельных узлов и агрегатов, так и машины в целом. Технические и экологические нормативные требования и стандарты в части виброакустических характеристик машин постоянно ужесточаются, что приводит к необходимости разработки и внедрения новых высокоэффективных методов и материалов. Таким образом, снижение шума и вибраций, возникающих при фрикционном взаимодействии поверхностей трения, является одной из наиболее актуальных трибологических проблем в машиностроении и транспорте.

Жители больших городов подвергаются шумовой нагрузке как в течение дня, так и в ночное время, что признано проблемой во всём мире. Согласно известным литературным данным, примерно 60 % населения городов находится под воздействием шума, уровни которого превышают допустимые нормы. Существенный вклад в шумовое загрязнение городов вносит железнодорожный транспорт, в частности сортировочные комплексы. Так, на Гомельском отделении Белорусской железной дороги функционирует несколько сортировочных горочных комплексов, которые по технологии своей работы осуществляют роспуск железнодорожных составов в круглосуточном режиме. Основными видами и источниками шума, сопровождающего работу механизированных сортировочных горок, является, прежде всего, металлический высокочастотный скрежет (свист) при проходе вагонов тормозных позиций и кривых участков пути, а также ударный шум вследствие сцепления вагонов, пневматические системы, маневровые тепловозы, сигналы локомотивов громкоговорителей. Учитывая нахождение сортировочных горок непосредственно в городской черте, сложилась неблагоприятная ситуация с обеспечением допустимого уровня шума и его влияния на качество жизни граждан, проживающих в близлежащих районах. По результатам шумовых измерений с использованием узкополосного БПФ-анализа спектров, проведенных на территории сортировочной станции Гомель (нечетная система), показано, что уровни шума, создаваемого в процессе торможения отцепов вагонными замедлителями, превышает действующие нормативы, как по эквивалентному, так и максимальному уровням практически во всем нормируемом диапазоне частот (рисунок 1, кривая 1).

Пиковые значения уровней шума достигали 130 дБ в диапазоне частот 2–4 кГц. Отсутствие превышений отмечалось только в низкочастотном диапазоне ниже 500 Гц. Аналогичная ситуация имеет место на железнодорожной станции Минск-Сортировочный в районе жилого комплекса Минск-Мир и других городах. Таким образом, проблема шума вагонных замедлителей требует разработки нетривиальных технических решений, позволяющих снизить уровень шума на величину до 50 дБ для достижения нормативных показателей.

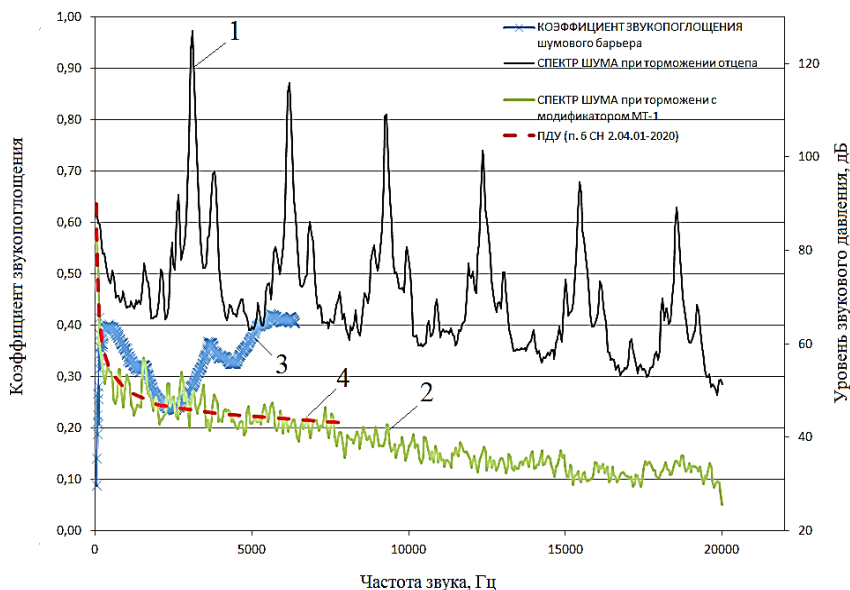


Рисунок 1 – Частотный анализ результатов акустических испытаний при работе вагонного замедлителя типа РНЗ-2:

- 1 – частотный спектр звукового давления при работе замедлителя без модификатора трения;
- 2 – частотный спектр звукового давления при работе замедлителя с модификатором трения;
- 3 – частотная характеристика звукопоглощения акустического экрана;
- 4 – предельно допустимые уровни шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам (п. 6 СН 2.04.01-2020)

Традиционным методом снижения уровня шума на пути его распространения является установка акустических экранов (АЭ) [1]. Опыт установки и эксплуатации на сортировочной горке станции Гомель (нечетная система) показал, что применение АЭ не позволило достичь гигиенических нормативов по уровню шума, как и не снизило количество поступающих жалоб от жильцов близлежащей жилой застройки. Сопоставление спектральных характеристик шума и частной зависимости коэффициента звукопоглощения, измеренного на поверхности АЭ (кривая 3, рисунок 1) показало его недостаточную эффективность на критических частотах для защиты от шума, возникающего при работе (торможении отцепов) замедлителя РНЗ-2. Проведенный анализ известных решений и накопленный собственный опыт в области создания акустических материалов показывает, что даже при использовании в составе АЭ материалов с предельно высокими характеристиками звукопоглощения и звукоизоляции акустическая эффективность шумозащитного ограждения как единственного

мероприятия по шумозащите является недостаточной для достижения требуемых гигиенических нормативов. Физически причина недостаточной эффективности АЭ в данном случае состоит в том, что протяженность акустической тени (области с пониженным уровнем шума), создаваемой шумозащитным ограждением при технически реализуемой высоте, не превышает 40–45 м от места их установки. Например, в работах [2, 3] показано, что в связи с процессами разделения и дифракции АЭ не обладают эффективностью в условиях высокоэтажной застройки. Иными словами, жилые помещения на третьем и выше этажах не попадают в зону действия шумозащитного ограждения.

К числу наиболее перспективных направлений в решении данной проблемы относятся трибологические подходы, основанные на минимизации виброакустической активности в источнике её возникновения, т. е. за счет изменения условий фрикционного взаимодействия в контактной паре «тормозная шина – обод колеса». Примером известного решения, реализующего данный принцип, является применение модифицированных тормозных шин, контактная поверхность которых имеет дополнительные фрикционные элементы (вставки) из композиционных (полимерных или порошковых) материалов. Фрикционные вставки закрепляются в отверстиях, выполненных в изнашиваемой части стальной шины [4]. Результаты проведенных испытаний тормозных шин различных производителей показали, что применение модифицированных шин позволяет снизить шум вагонных замедлителей на 10–29 дБ. Данный эффект также оказался недостаточным для достижения гигиенических нормативов ввиду крайне высокого исходного уровня (около 130 дБ). Однако главным препятствием в применении шин со вставками стало недопустимое падение тормозной мощности до 30 %, результатом которого может быть аварийное столкновение с впередистоящим составом или сход отцепа из-за наезда гребнем колеса на головку рельса.

В ЕС, США и других экономически развитых странах широкое распространение для снижения шума вагонных замедлителей на сортировочных комплексах получила система BREMEX – ANNSYS (ELPA, Словения) [5]. В основе её работы – нанесение на поверхность обода колеса специальной консистентной смазки (модификатора трения DBM 50), не приводящей к значимому снижению главного эксплуатационного показателя – тормозной мощности замедлителя. Механизм действия модификатора трения заключается в смене доминирующей роли адгезионного механизма фрикционного взаимодействия на абразивный за счет высокого содержания в составе твердых частиц (до 50 масс. %). Такой способ снижения шума вагонных замедлителей показал наивысшую эффективность. Дополнительными преимуществами являются снижение волнообразного износа и трещинообразования рельсов и обода вагонных колес. Критическими недостатками системы

BREMEX – ANNSYS являются высокая стоимость оборудования и необходимость использования импортного расходного материала (модификатора трения), монопольно производимого компанией ELPA, а также снижение до 40 % тормозной эффективности при отрицательных температурах окружающей среды и повышенных ветровых условиях.

Альтернативные подходы, реализующие принцип минимизации виброакустической активности в источнике её возникновения, разрабатываются в отделе «Фрикционное материаловедение» ИММС НАН Беларуси. В сотрудничестве с Гомельским отделением Белорусской железной дороги предложены составы композиционного модификатора трения на основе экологически безопасных компонентов. Основные технические требования к модификатору трения включают:

- снижение уровня шума при торможении вагонов замедлителями на критических частотах (в диапазоне от 1 до 12 кГц) не менее 30 дБ;
- отсутствие значимого влияния на тормозную мощность для обеспечения работы вагонных замедлителей в штатном режиме;
- высокая адгезия к рабочим поверхностям трения тормозных шин и боковым поверхностям колес в положительном интервале рабочих температур;
- отсутствие негативного влияния на износ всех элементов пути и подвижного состава (колес, рельсов, тормозных шин вагонных замедлителей и т. п.);
- коррозионная инертность;
- отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, использование в составе экологически безопасных компонентов.

По результатам проведенных исследований разработана и изготовлена опытная партия композиционного модификатора на основе экологически безопасных компонентов. По результатам шумовых испытаний в реальных условиях установлено, что применение разработанного модификатора трения обеспечивает снижение уровня шума при торможении вагонов замедлителями на критических частотах (в диапазоне от 1 до 12 кГц) более 50 дБ (кривая 2, рисунок 1), что позволяет достичь гигиенических нормативов по уровню шума. Критически важная особенность разработанного модификатора состоит в том, что его применение не приводит к потере тормозной мощности замедлителей.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Современное материаловедение, перспективные материалы и новые технологии», подпрограмма 7.4. «Порошковые и композиционные материалы», задание 4.2.6.

Список литературы

1 Копытенкова, О. И. Эффективность снижения шума от железнодорожного транспорта акустическими экранами / О. И. Копытенкова, Т. А. Афанасьева // Гигиена окружающей среды. – 2023. – № 8 (102). – С. 764–767.

2 Калининченко, Е. А. Подход к подбору средств и методов защиты от шума вагонных замедлителей / Е. А. Калининченко // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3 (75). – С. 14–22.

3 Результаты исследования мер снижения сверхнормативного акустического воздействия на жилые территории / Т. А. Афанасьева, Л. Б. Бурнашов, Д. Е. Курепин, Н. Н. Пирогова // Профилактическая медицина 2018 : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2018 г. / СЗГМУ им. И. И. Мечникова. – СПб., 2018. – С. 40–44.

4 Патент RU180704U1. Тормозная шина вагонного замедлителя имеющая пониженный уровень шума : заявл. 12.02.2018 : опубл. 21.06.2018 / Фадеев В. С., Флянтикова Т. Е., Штанов О. В., Паладин Н. М., Конаков А. В., Рябченко А.С.; заявитель ООО «Инфо Тех».

5 Marshalling Yards Anti-Noise & Anti-Wear Systems // ELPA Railway Friction Management. Globally leading technology. – URL: <https://elpa.si/marshalling-yards/> (дата обращения: 23.02.2026).

УДК: 628.356.4

НИТЧАТОЕ ВСПУХАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД В СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

А. А. ГРИБ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Angel.grib@bk.ru*

Процесс вспухания активного ила на очистных сооружениях сточных вод является одной из самых распространенных проблем. Особое значение в работе очистных сооружений имеет стадия биологической очистки, которая осуществляется с помощью активного ила. Процессы вспухания активного ила создают серьезную проблему при эксплуатации канализационных очистных сооружений и приводят к ухудшению качества очистки сточных вод, а также к выносу активного ила в водные объекты. Вспухание активного ила возникает вследствие низкой способности активного ила к осаждению, хлопья всплывают на поверхность и выносятся с очищенной водой.

Проблема нитчатого вспухания является актуальной, поскольку наиболее часто приводит к вспуханию активного ила.

Одной из ключевых причин, способствующих образованию пены на поверхности аэротенков и вторичных отстойников, является преобладание нитчатых форм бактерий в биоценозе активного ила.

Впервые масштаб проблемы вспухания ила и пенообразования на очистных сооружениях был осознан в 1980–1990-х годах, тогда же закладывался фундамент для широкого изучения нитчатых микроорганизмов в активном иле рода *Microthrix Nocardia*, *Sphaerotilus*, которые были одной из наиболее распространенных причин возникновения данных процессов и нарушения работы сооружений биологической очистки.

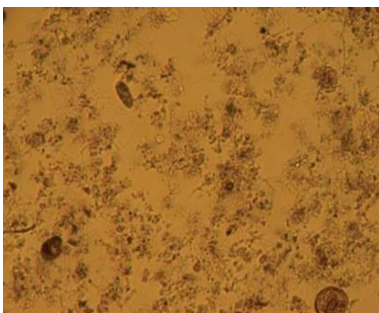
По характеру изменений, происходящих в активном иле, вспухание подразделяется на два основных типа:

- гелевое (ненитчатое) – развивается вследствие избыточного продуцирования внеклеточного биополимера (геля) гетеротрофными бактериями активного ила в ответ на присутствие в сточных водах сложноокисляемых или биохимически неокисляемых веществ промышленного происхождения (рисунок 1, а).

- нитчатое – развивается вследствие резкого увеличения численности нитчатых форм организмов: цианобактерий, хламидобактерий, сапрофитных грибов (рисунок 1, б) [1].

Эти организмы постоянно присутствуют в нормально функционирующем активном иле в небольшом количестве.

а)



б)

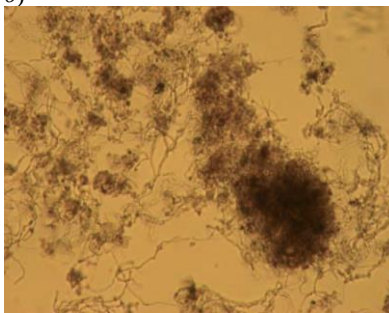


Рисунок 1 – Гелевое вспухание активного ила (а)
и нитчатое вспухание активного ила (б)

Хотя нитчатые бактерии являются частью нормально функционирующего активного ила и необходимы в небольших количествах для правильного строения флокул (в качестве естественного армирования), при их количестве и длине, превышающих допустимый уровень, возникает нитчатое вспухание.

Основными неблагоприятными факторами, влияющими на возникновение процесса нитчатого вспухания, являются:

- недостаток кислорода (менее 2 мг/л);
- присутствие токсичных веществ в сточной воде;
- отклонение оптимальных значений температуры и pH (ниже 6,5);
- дефицит биогенных элементов (азота и фосфора), при котором

БПК_{полн}:N:P более чем 100:5:1;

- низкая нагрузка на активный ил по органическим соединениям (менее 100 мгБПК_{полн}/гБВАИ·сут);

- ошибки при эксплуатации очистных сооружений;
- высокое содержание нефтепродуктов;
- периодическое снижение pH ниже 6,5.

В результате размеры флокул активного ила увеличиваются, но при этом значительно уменьшается их плотность и, соответственно, способность к осаждению, что приводит к выносу активного ила из отстойников вместе с биологически очищенными сточными водами. Это сильно ухудшает качество очищенной воды, а также нарушает функционирование других сооружений системы очистки сточных вод [2].

Нитчатое вспухание ила является наиболее распространенной патологией в мировой практике биологической очистки сточных вод. При этом до сих пор еще отсутствует какая-либо общепринятая универсальная система мероприятий для его профилактики и подавления. Комплекс мероприятий, направленных на борьбу с вспуханием активного ила, должен разрабатываться только после точного установления причин, вызывающих вспухание, что обеспечивается правильной диагностикой родовой принадлежности вызывающих его нитчатых организмов при гидробиологическом анализе ила. Однако повышение аэробности в аэротенках и регенераторах – это обязательное условие в борьбе и профилактике нитчатого вспухания ила, какая бы причина его ни вызвала.

Таким образом, создание такой системы или хотя бы создание базы для развития различных методов подавления нитчатого вспухания и нахождение оптимального из них является одной из важнейших задач, поставленной перед учеными и инженерами, работающими в сфере очистки сточных вод.

Список литературы

- 1 **Жмур, Н. С.** Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
- 2 Методическое руководство по контролю процесса биологической очистки городских сточных вод : метод. пособие / Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, М. В. Рымовская, Е. А. Флюрик. – Минск : БГТУ, 2009. – 161 с.

УДК 543.3:628.1.033

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ г. ГОМЕЛЯ

Н. И. ДРОЗДОВА, О. В. КОВАЛЁВА

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, sanakovaleva@mail.ru*

В 2023 г. общий объем твердых коммунальных отходов (ТКО) в Республике Беларусь составил 3,98 млн тонн. Более 80 % от этого объема приходится на отходы потребления населения. В составе коммунальных отходов

содержится до 30 % вторичных материальных ресурсов, около 40 % – отходов органического происхождения (пищевые отходы, древесина, зеленая биомасса) и около 30 % – смешанных и трудноклассифицируемых отходов, обладающих теплотворной способностью, и инертных отходов минерального состава [1].

В результате накопления отходов формируются природно-технические системы, в которых динамическое развитие физико-химических и биохимических процессов сопровождается эмиссией загрязняющих веществ в окружающую среду. В связи с этим полигоны ТКО можно рассматривать как открытую, находящуюся в постоянной вещественно-энергетической связи с внешней средой геоэкологическую систему, склонную к саморазвитию [2]. Такие системы оказывают длительное разносторонне-негативное воздействие на экологическое состояние прилегающих территорий, что позволяет оценивать их как объекты негативного экологического воздействия на окружающую среду.

По данным [3], около 1,5 млн жителей страны используют для водоснабжения нецентрализованные источники. Определение показателей качества питьевой воды из источников нецентрализованного питьевого водоснабжения позволяет своевременно выявить нарушение режимов и гигиенических норм безопасности воды, проанализировать причины возникновения нарушений, включая анализ местоположения объектов водоснабжения с возможностью рекомендации мероприятий, направленных на улучшение качества воды.

Вышеотмеченным и обусловлена актуальность данных исследований.

Цель работы. Оценка гидрохимических показателей качества питьевой воды в населенном пункте с нецентрализованным водоснабжением, расположенном в зоне размещения полигона ТКО г. Гомель.

Пробы воды отбирали из нецентрализованных источников водоснабжения в н. п. Уза, находящихся в зоне потенциального влияния полигона ТКО г. Гомеля.

Обработка проб проводилась в лабораториях кафедры химии учреждения образования «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины» и в Гомельском областном центре гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья.

Для оценки показателей качества питьевой воды проводили поквартальный гидрохимический и органолептический анализ по 23 показателям.

Расположение и удаленность шахтных колодцев от возможных источников загрязнения указано в таблице 1:

- 1 объект – шахтный колодец возле д. 33 по ул. Комсомольская;
- 2 объект – шахтный колодец возле д. 46 по ул. Комсомольская;
- 3 объект – шахтный колодец возле д. 83 по ул. Комсомольская;
- 4 объект – шахтный колодец возле д. 71а по ул. Комсомольская.

Результаты исследований показали следующее. Превышения нормативов [4] безопасности отмечены для 7 показателей: цветность, мутность воды, перманганатная окисляемость, общее железо, нитраты, фосфаты, хлориды.

Показатели цветности воды из шахтных колодцев в 100 % случаев превышали нормативы. Несоответствие допустимым значениям по мутности воды зафиксированы в 93,8 случаев (только в одном случае в колодце № 2 осенью величина мутности соответствовала нормативу и составила 1,73 мг/дм³).

Показатели запаха, pH, ОВП, общей щелочности не превышали гигиенических нормативов для питьевой воды. Показатель общей жесткости в одном случае (6,3 %) в колодце № 4 весной превысил допустимое значение в 1,07 раза.

Таблица 1 – Удаленность шахтных колодцев от возможных источников загрязнения

№	Расстояние до очистных сооружений	Расстояние до полигона ТКО		Расстояние до асфальтированной дороги	Расстояние от обочины	Глубина нахождения уровня воды относительно уровня земли, м
		от центра полигона	от границ тела полигона			
1	709	1440	1270	1	0	6–8
2	655	1410	1230	3	2	5–7
3	830	1540	1380	2	1	6–8
4	786	1520	1360	50	49	3–6

Перманганатная окисляемость образцов в 43,8 % случаев превышала допустимые значения в 1,04–2,83 раза.

Что касается анионного состава воды, то исследованиями установлено соответствие гигиеническим требованиям содержания нитритов, гидрокарбонатов, сульфатов и фторидов в 100 % проб. Содержание хлоридов превышало норматив качества только в колодце № 1 (в 75 % случаев), фосфатов – в колодцах № 2 и № 3 (в 50 % случаев), нитратов – в колодце № 4 (в 25 % случаев).

Анализ катионного состава воды из шахтных колодцев показал, что содержание меди, свинца, цинка, кальция, магния не превышало допустимых значений, тогда как в 100 % проб содержание общего железа превышало ПДК с кратностью 2,61–23,6 раза.

Величины аммоний-иона в колодце № 4 в 25 % случаев превышали ПДК в 1,2 раза, калия – в 100 % случаев (1,2–2,05 раза).

Таким образом, вода всех исследованных шахтных колодцев в н. п. Уза с нецентрализованным водоснабжением, расположенного в районе потенциального влияния полигона ТКО г. Гомеля, не соответствует гигиеническим нормативам безопасности.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг., подпрограмма «Радиация и биологические системы», задание 3.04.05.

Список литературы

1 О Стратегии по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 18 авг. 2025 г., № 444 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500444> (дата обращения: 11.02.2026).

2 **Ашихмина, Т. В.** Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла / Т. В. Ашихмина, Н. В. Каверина, П. С. Купrienko // Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44, № 3. – С. 343–358.

3 Экологический доклад по стратегической экологической оценке по проекту «Стратегии по обращению с отходами производства и потребления в Республике Беларусь», 24 апр. 2025 г. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2025/doc/EkoDoklad-po-SEO-po-Strategii-po-otxodam.pdf> (дата обращения: 11.02.2026).

4 Об утверждении гигиенических нормативов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 25 янв. 2021 г., № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 25.02.2026).

УДК 551.4(476.13)

СОДЕРЖАНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ: ИСТОЧНИКИ, МОНИТОРИНГ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

А. В. ДУДАРЕВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
a6323980@gmail.com*

Актуальность. Диоксид серы (SO₂) относится к числу наиболее распространенных и опасных загрязнителей атмосферного воздуха, оказывающих комплексное воздействие на здоровье населения и состояние экосистем. По данным Всемирной организации здравоохранения, это соединение входит в перечень шести основных веществ, подлежащих глобальному мониторингу.

Проблема загрязнения воздуха серосодержащими соединениями особенно актуальна для промышленно развитых регионов, где сосредоточены предприятия металлургического комплекса, теплоэнергетики и переработки углеводородного сырья. Вклад цветной металлургии в выбросы SO₂ может достигать 75 % от общего объема вредных эмиссий, а в зоне влияния таких предприятий формируются устойчивые ореолы загрязнения с многократным превышением гигиенических нормативов.

Республика Беларусь, обладая развитой нефтеперерабатывающей, химической и энергетической промышленностью, не является исключением.

Многолетние исследования Института природопользования НАН Беларуси показывают, что выбросы диоксида серы от стационарных источников прошли колоссальную эволюцию: от 22 тысяч тонн в 1950 году до 860 тысяч тонн в 1980-е годы, с последующим снижением до 40–50 тысяч тонн в настоящее время. Однако локальные превышения нормативов продолжают фиксироваться в таких промышленных центрах, как Новополоцк и Мозырь, что требует постоянного мониторинга и анализа ситуации.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью систематизации современных данных о содержании диоксида серы в атмосферном воздухе, анализа природных и антропогенных источников его эмиссии, оценки эффективности систем мониторинга в различных странах и выработки рекомендаций по совершенствованию контроля за этим загрязнителем.

Цель работы. Комплексный анализ содержания диоксида серы в атмосферном воздухе и влияние его на окружающую среду; выявление основных природных и антропогенных источников выбросов, оценка полезных и негативных воздействий на окружающую среду, сравнительный анализ систем мониторинга в разных странах.

Основные результаты. Диоксид серы (SO_2) относится к числу поллютантов, характеризующихся множественностью эффектов воздействия на окружающую среду: соединение участвует в атмосферных химических процессах, модифицирует климатические параметры и оказывает прямое влияние на здоровье населения.

Поступление SO_2 в атмосферу делится на природные и антропогенные источники. К природным относятся вулканизм, геотермальная активность, пожары и разложение органики.

Антропогенные источники обеспечивают до 80 % глобальных эмиссий SO_2 . Основные: сжигание угля и мазута в энергетике, металлургия (плавка сульфидных руд), нефтепереработка, химическое производство, морской транспорт. Второстепенные источники включают текстильную и пищевую промышленность [3].

В атмосфере диоксид серы подвергается трансформации. Основным механизмом является окисление SO_2 под действием гидроксильных радикалов (OH) в присутствии водяного пара с образованием серной кислоты (H_2SO_4). H_2SO_4 конденсируется на поверхности аэрозольных частиц (морская соль, минеральная пыль, черный углерод) либо инициирует образование новых мелкодисперсных сульфатных аэрозолей. Образующиеся сульфатные аэрозоли оказывают двойственное воздействие на окружающую среду.

С одной стороны, они обладают способностью рассеивать коротковолновую солнечную радиацию. С другой стороны, сульфатные аэрозоли возвращаются на земную поверхность в форме кислотных дождей, что ведет к

снижению pH почв и водоемов. Кислотные дожди повреждают листовой аппарат растений, подавляют фотосинтез, выщелачивают из почвы биогенные элементы и мобилизуют токсичные ионы алюминия. В водных экосистемах закисление озер и водотоков коррелирует с элиминацией ихтиофауны, амфибий и микроорганизмов. При снижении pH ниже 5 формируются зоны, характеризующиеся практически полным исчезновением гидробионтов. Кислотные дожди ускоряют коррозию строительных материалов и разрушение карбонатных пород (известняков, мраморов), нанося ущерб объектам инфраструктуры и культурного наследия.

Сульфатные аэрозоли являются основным компонентом мелкодисперсных взвешенных частиц размером менее 2,5 мкм (PM_{2.5}). Данные частицы проникают в альвеолярные отделы легких и ассоциированы с обострениями респираторных заболеваний, сердечно-сосудистыми нарушениями и повышенной смертностью.

Основным путем воздействия диоксида серы на организм человека является ингаляционный, что наиболее значимо в условиях городской и промышленной среды. Острые эффекты воздействия включают раздражение слизистых оболочек носа и ротоглотки, затруднение дыхания, ларингоспазм. При контакте с органами зрения возможны химические ожоги и нарушение зрения, при контакте с кожей – дерматиты и ожоги. Лица, страдающие бронхиальной астмой, а также дети демонстрируют повышенную чувствительность к SO₂, причем реакции фиксируются уже при концентрациях от 0,25 ppm [2]. Концентрация 100 ppm классифицируется как непосредственно опасная для жизни.

На рабочих местах металлургических и газоперерабатывающих предприятий зафиксированы повышенные уровни заболеваемости органов дыхания и изменения иммунитета у работников. Исследования, проведенные в Норильске, демонстрируют прямую корреляцию между высокими концентрациями SO₂ в атмосферном воздухе и ростом заболеваемости населения [4].

Мониторинг содержания диоксида серы в выбросах показал следующее. Согласно данным Европейского агентства по окружающей среде, за период 2005–2023 г. выбросы диоксида серы в странах ЕС сократились на 85 %. Данная динамика обусловлена комплексом реализованных мер, включающих: переход на использование топлива с пониженным содержанием серы; оснащение промышленных предприятий установками десульфурации дымовых газов (FGD); замещение ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии.

В США регулирование выбросов SO₂ осуществляется на основе поправок к Закону о чистом воздухе 1990 г. и внедрения рыночного механизма «кэп-энд-трейд» (ограничение и торговля квотами) в рамках Программы кислотных дождей. Реализованные меры позволили снизить выбросы диоксида серы более чем на 90 % за последние десятилетия.

В Индии ситуация характеризуется высоким уровнем выбросов SO_2 от быстрорастущего угольного сектора. В 2015 г. Министерство окружающей среды, лесов и изменения климата Индии ввело нормативы предельных концентраций SO_2 для тепловых электростанций, дифференцированные по дате ввода и мощности станций. В научном сообществе Индии развернулась дискуссия о целесообразности тотального внедрения FGD. В июле 2025 г. правительство Индии выпустило поправку, освобождающую 462 из 600 энергоблоков от обязательной установки FGD, сохранив данное требование только для наиболее загрязненных районов.

Мониторинговая сеть Российской Федерации охватывает крупные промышленные центры. Норильск идентифицируется как одна из территорий с наиболее высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха SO_2 . Экспедиционные исследования, выполненные с использованием самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» над акваториями российских арктических морей, показали, что в удаленных районах концентрации SO_2 соответствуют значениям глобального фона.

В Республике Беларусь национальная система мониторинга атмосферного воздуха функционирует под эгидой Белгидромета и охватывает 19 промышленных городов, включая все областные центры, а также Полоцк, Новополоцк, Оршу, Бобруйск, Мозырь, Речицу, Светлогорск, Пинск, Жлобин, Солигорск. Действует 67 пунктов наблюдений, из которых 51 осуществляет отбор проб в дискретном режиме (3–4 раза в сутки) и 16 представляют собой автоматические станции с непрерывным режимом измерений. Программа наблюдений включает определение концентраций основных загрязняющих веществ, в том числе диоксида серы.

Согласно данным Белгидромета, состояние атмосферного воздуха в большинстве промышленных центров Республики оценивается как благополучное. В соответствии со значениями индекса качества воздуха, состояние преимущественно характеризуется как очень хорошее, хорошее и умеренное; доля периодов с удовлетворительным, плохим и очень плохим качеством незначительна. Превышения по диоксиду серы носят эпизодический характер.

Исследование Какареки и Круковской (2024) показывает динамику выбросов SO_2 в Беларуси: от 22 тыс. т в 1950 г. до пиковых значений 860 тыс. т в 1980-е гг., с последующим снижением до 40–50 тыс. т в настоящее время [1]. Данное снижение обусловлено как экономическими факторами, так и внедрением природоохранных технологий. На ОАО «Нафтан» введена в эксплуатацию установка получения элементарной серы по методу Клауса, что обеспечило сокращение выбросов загрязняющих веществ на 14 тыс. т в год, причем по диоксиду серы снижение составило более 40 %. Образующаяся сера используется в качестве сырья на химических предприятиях в Гомеле и Гродно.

Помимо негативных воздействий диоксид серы имеет ряд областей применения в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

В пищевой промышленности SO_2 используется в качестве консерванта (E220). В виноделии его применяют для ингибирования нежелательного брожения и окисления вина. Консервант также используется в производстве соков, кондитерских изделий, мясной и рыбной продукции для пролонгации сроков хранения.

Бактерицидные свойства SO_2 обуславливают его применение для фумигации овощехранилищ, складов, а также для обработки зерновых, винограда и цитрусовых. В сельском хозяйстве сера, поступающая через устьичный аппарат растений в форме SO_2 из атмосферы, может обеспечивать до 80 % потребности растений в данном элементе. Вследствие этого в зонах, прилегающих к промышленным центрам, у растений часто не наблюдается дефицита серы.

В промышленности диоксид серы служит сырьем для производства серной кислоты (основное направление использования). Он применяется в качестве отбеливателя для материалов, не подлежащих обработке хлором (солома, шелк, шерсть), а также как дезинфицирующее средство, хладагент и лабораторный растворитель.

В микромолярных концентрациях эндогенный SO_2 участвует в регуляции тонуса гладкой мускулатуры сосудов, процессах передачи сигналов и модуляции воспалительных реакций.

Таким образом, соединение, проявляющее токсические свойства в высоких концентрациях, выполняет физиологические функции в концентрациях эндогенного диапазона.

Выводы. Диоксид серы является приоритетным атмосферным загрязнителем, физико-химические свойства которого (высокая плотность, растворимость в воде) обуславливают его накопление в приземном слое и участие в образовании кислотных осадков и вторичных аэрозолей. Антропогенные источники, прежде всего сжигание топлива, металлургия и нефтепереработка, вносят до 80 % глобальных выбросов SO_2 , тогда как природные источники (вулканизм) играют подчиненную роль, но способны вызывать краткосрочные климатические аномалии. Сульфатные аэрозоли, образующиеся при окислении SO_2 , оказывают двойственное воздействие: с одной стороны, они вызывают отрицательный радиационный форсинг (охлаждение климата), с другой – являются причиной кислотных дождей. Воздействие SO_2 на здоровье человека ассоциировано с патологиями респираторной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, при этом повышенная чувствительность зафиксирована у детей и лиц с бронхиальной астмой. Эффективность систем контроля выбросов в разных странах неодинакова: в ЕС и США достигнуто снижение эмиссий на 85–90 %, тогда как в Индии внедрение си-

стем десульфурации ограничено технико-экономическими факторами. В Беларуси выбросы SO₂ снизились с 860 тыс. т в 1980-х гг. до 40–50 тыс. Мониторинг содержания SO₂ остается основным инструментом выявления зон экологического неблагополучия и оценки эффективности природоохранных мер.

Список литературы

- 1 **Какареко, В. В.** Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе в Беларуси / В. В. Какареко // Природопользование. – 2017. – № 31. – С. 24–34.
- 2 **Миниярова, Д. В.** Диоксид серы и его влияние на здоровье человека / Д. В. Миниярова // Центральный вестник. – 2019. – Т. 4, № 2 (67). – С. 8–9.
- 3 **Захарова, В. Г.** Экология химической промышленности / В. Г. Захарова, В. А. Кавардина // Наука молодых – будущее России : сб. ст. 3-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. – 2018. – Т. 5. – С. 210–213.
- 4 **Жуйкова, Т. В.** Экологическая токсикология : учеб. и практикум для бакалавриата и магистратуры / Т. В. Жуйкова, В. С. Безель. – М. : Юрайт, 2019. – 362 с.

УДК 551.4 (476.13)

ДИНАМИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В БЕЛАРУСИ

А. Ф. КАРПЕНКО

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, kaf51@list.ru*

Актуальность. Во всех странах мира водные ресурсы, как один из видов природных ресурсов, относятся к национальному достоянию. В Беларуси общая площадь земель, покрытых водой, составляет 13,7 % территории страны, или 2844,5 тыс. га [1, 2]. Проведённая в 2017–2025 г. с использованием средств геоинформационных систем инвентаризация поверхностных водных объектов, расположенных на межселенных территориях, выявила на местности подлежащих охране 24 554 водотока, водоема и родника, а также показала, что наиболее обеспечены поверхностными водными объектами Витебская и Гродненская области, наименее – Гомельская и Брестская [3].

В период последней пятилетки в Беларуси проводилась работа по выполнению отраслевой государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2021–2025 годы» (Государственная программа), утвержденной постановлением Совета Министров. Реализация мероприятий Государственной программы была направлена на достижение Целей устойчивого развития в Республике Беларусь в соответствии с Повесткой дня в области устойчивого развития до 2030 г. [4]. В настоящее время обеспеченность водными ресурсами в стране по среднегодовому общему годовому речному стоку составляет 6,4 тыс. м³ воды в год на душу населения и находится на 0,4 тыс. м³ выше средневропейского уровня. Поэтому актуальной задачей является и в даль-

нейшем сохранение и рациональное с экологической и экономической точек зрения использование имеющихся водных ресурсов в Республике [2].

Цель работы. Оценка состояния использования воды в Беларуси за четыре года реализации Государственной программы.

Основные результаты. Среди задач Государственной программы в вопросах водопользования являлось обеспечение благоприятных экологических условий проживания населения путём бережного использования воды, постоянного учёта её забора, расхода и сброса в окружающую среду. Как видно из показателей рисунка 1, в течение четырёхлетнего периода времени водопользование в республике увеличивалось. Так, например, добыча воды с 1329 млн м³ в 2024 году к уровню 2020 годом приросла на 131 млн м³ и составила 109,9 %, соответственно использование воды с 1195 млн м³ приросло на 89 млн м³ и составило 107,4 %, и сброс воды с 1155 млн м³ прирос на 116 млн м³ и составил 110 %. В период указанного перечня годов удельный вес использованной воды от количества добытой составил от 87,9 % в 2024 году до 89,9 % в 2020 году, её сброс в окружающую среду – от 86,9 % в 2020 году до 88,2 % в 2023 году. Соотношение между количеством использованной и сбрасываемой водой колебалось в пределах от 96,6 % в 2020 году до 99,4 % в 2023 году.

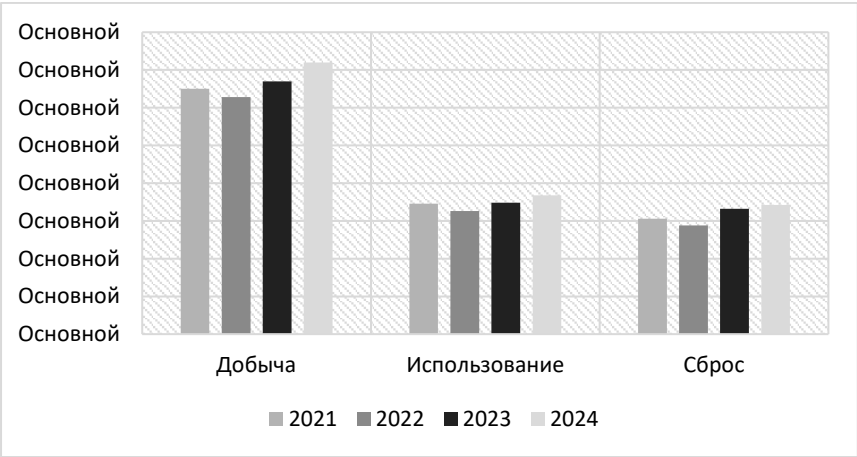


Рисунок 1 – Добыча, использование и сброс воды в окружающую среду в Беларуси в период 2021–2024 г., млн м³

Среди изъятой воды доля подземных вод составила около 57 %, поверхностных – 43 %. Например, в 2024 г. подземных вод было добыто около 825 млн м³, или 56,5 %, и изъято из поверхностных вод – 635,3 млн м³, или 43,5 %.

Добыча вод из природных источников в расчёте на душу населения в 2024 г. достигла 160 м³, а использование 141 м³ против 142 м³ и 127 м³ соответственно в 2020 г. [2].

В Гомельской области в 2024 году было добыто 191,3 млн м³, из которых 114,7 млн м³, или 60 %, из подземных источников.

Удельный вес домовладений, по состоянию на 01.01.2025, оборудованных водопроводом, составил 98 %, что на 1,4 % больше, горячим водоснабжением – 95,1 %, что на 2,1 % больше, и канализацией – 97,4 %, что на 1,8 % больше в сравнении с показателями 2020 г.

Во всех странах водопотребление неразрывно связано с организацией водоотведения и качеством очистки сточных вод. В Беларуси, по данным государственного водного кадастра, для сброса сточных вод в окружающую среду используется 2476 очистных сооружений, из них на 323, что составляет 13 %, проводится искусственная биологическая очистка [5]. Выпуск 89,4 % общего объема сброса сточных вод осуществляется в поверхностные водоёмы. Положительным моментом водопользования является тот факт, что, несмотря на увеличение добычи воды за анализируемый период, сброс сточных вод не увеличивается и остаётся постоянным в количестве около 1136,4 млн м³ за год. Так, например, в 2024 г. из указанного количества без превышения нормативов было выпущено 375,0 млн м³ (33 %), после очистки на очистных сооружениях – 758,0 млн м³ (66,7 %) и с превышением нормативов – 3,4 млн м³ (0,3 %). В Гомельской области общий сброс сточных вод в 2024 г. составил 176,8 млн м³ (15,5 % от республиканского показателя), из них 163,3 млн м³ (92,4 %) в поверхностные водоёмы. Сброс без очистки достиг 54 млн м³, после очистки – 108,7 млн м³ и с превышением нормативов – 0,6 млн м³.

Вместе с тем, несмотря на стабильность в последние годы сброса сточных вод, по данным Минприроды Беларуси, мониторинг поверхностных вод свидетельствует, что количество поверхностных водных объектов, которым присвоен хороший и выше экологический статус, снизилось с 74,6 % в 2020 г. до 67,7 % в 2024 г. [6].

Во многом состояние окружающей среды, в том числе и водных ресурсов, в республике зависит от финансирования природоохранных мероприятий. По данным статистики, их финансирование ежегодно увеличивается. Например, если затраты на природоохранные мероприятия в 2020 г. составили 1018,5 млн руб., то в 2024 г. 1706,3 млн руб. В настоящее время соотношение между текущими затратами и инвестициями в основной капитал составляют как 1:0,4. Удельный вес совокупных расходов на охрану окружающей среды в объёме валового внутреннего продукта находится на уровне 0,7 %.

С целью достижения долгосрочной водной безопасности страны для нынешнего и будущих поколений в текущем году постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 24 от 16.01.2026 года утверждена «Стратегия управления водными ресурсами до 2040 года» (Стратегия) и признано утратившим силу постановление Совета Министров Республики

Беларусь от 22 февраля 2022 г. № 91 «О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года». В Стратегии отмечается, что обеспеченность водными ресурсами в Республике Беларусь находится на уровне средневропейских значений, динамика водопользования является стабильной, начиная с 2000 г. наблюдается устойчивая тенденция к сокращению удельного водопотребления на душу населения с 214 до 137 л/сут.чел. Подчеркивается также, что водные ресурсы являются одним из уязвимых компонентов природной среды и могут быть подвергнуты отрицательному воздействию из-за изменений климата с обширными неблагоприятными последствиями для общества и экосистем. Поэтому результатами реализации Стратегии должны стать сохранение и устойчивое использование водных ресурсов, снижение и предупреждение вредного воздействия на них при осуществлении хозяйственной деятельности, правовое и научное обеспечение принятия упреждающих управленческих решений, дающих социальный и экологический эффекты [6].

Выводы. Анализ использования воды в Беларуси за четыре года реализации государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2021–2025 годы» свидетельствует, что в республике в 2024 г. к уровню 2020 г. добыча воды составила 109,9 %, её использование – 107,4 % и сброс воды в окружающую среду – 110 %. В данный период удельный вес использованной воды, от количества добытой, колебался от 87,9 % в 2024 г. до 89,9 % в 2020 г., её сброс в окружающую среду – от 86,9 % в 2020 г. до 88,2 % в 2023 г. Соотношение между количеством использованной и сбрасываемой воды находилось в пределах 96,6–99,4 %. Среди изъятых природной воды доля подземных вод составила около 57 %, поверхностных – 43 %.

В расчёте на душу населения добыча вод из природных источников достигла 160 м³, что на 18 м³ стало больше в сравнении 2020 годом.

Около 89,4 % общего объема сброса сточных вод осуществляется в поверхностные водоёмы. Несмотря на увеличение добычи воды, сброс сточных вод остаётся постоянным. Одновременно с этим количество поверхностных водных объектов, которым присвоен хороший и выше экологический статус, снизилось с 74,6 % в 2020 г до 67,7 % в 2024 г.

Финансирование природоохранных мероприятий в 2024 г. к уровню 2020 г. увеличилось в 1,7 раза. Однако удельный вес совокупных расходов на охрану окружающей среды в объёме валового внутреннего продукта не превышает 0,7 %.

Для достижения долгосрочной водной безопасности в Беларуси утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 24 от 16.01.2026 «Стратегия управления водными ресурсами до 2040 года». Зада-

чами Стратегии является сохранение и устойчивое использование водных ресурсов в республике на длительную перспективу.

Список литературы

- 1 Карпенко, А. Ф. Логистика поступления солнечной энергии в природные системы Беларуси / А. Ф. Карпенко, А. В. Крук. – Гомель : ГГУ им. Скорины, 2017. – 195 с.
- 2 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: стат. буклет // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by/-ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public5542.3/> (дата обращения: 01.02.2026).
- 3 Охрана и использование водных ресурсов // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: <https://minpriroda.gov.by/ru/vod/nres-ru/> (дата обращения: 08.01.2026).
- 4 Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2021–2025 годы» // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/prog/> (дата обращения: 08.12.2025).
- 5 Государственный водный кадастр, водные ресурсы, их использование и качество вод // РУП «ЦНИИКИВР». – URL: <https://cricuwr.by/upload/iblock/980/lefxs-9n1160fs0ythh6279wedre0ii0n.pdf> (дата обращения : 01.02.2026).
- 6 Стратегия управления водными ресурсами до 2040 года // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/ (дата обращения: 01.02.2026).

УДК:622.276.6

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВОДЫ НА ПРОЦЕССЫ НЕФТЕДОБЫЧИ

Е. Ф. КУДИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На нефтяных месторождениях Республики Беларусь растет доля трудноизвлекаемых запасов нефти. Это обусловлено низкой проницаемостью пластов и высокой пластовой температурой. В условиях высоких пластовых температур композиции не всегда способны образовывать в трещинных коллекторах прочные водонепроницаемые гидроэкраны, которые обеспечивают высокую эффективность используемых процессов нефтедобычи. В качестве эффективных методов повышения нефтеотдачи пластов могут рассматриваться физико-химические технологии, которые могут обеспечить контролируемые процессы гелеобразования потокоотклоняющих композиций [1, 2].

Составы потокоотклоняющих композиций постоянно совершенствуются. Перспективными представляются композиции на основе модифицированных растворов гидросиликата натрия. При применении в таких составах в качестве модификаторов минеральных кислот можно проводить обработку карбонатных и терригенных средне- и высокопроницаемых пластов с температурой более 90 °С.

Однако эффективность практического применения таких составов ограничивается жесткими требованиями к качеству воды затворения и низкими значениями показателя «время гелеобразования» при использовании проб технической воды затворения в условиях повышенных температур. Поэтому основными факторами, определяющими состав потокоотклоняющих композиций, являются состав воды затворения, температура, фильтрационные характеристики и литология пласта.

Исследования показали, что на процессы гелеобразования существенное влияние оказывают ионы двухвалентных металлов (Ca^{2+} , Mg^{2+}), определяющие жесткость воды.

Для проведения экспериментов получена композиция на основе гидратированного порошкообразного силиката натрия. В качестве модификатора, являющегося инициатором процесса гелеобразования, применяли сульфаминовую кислоту (САК) [3]. Для предотвращения образования нерастворимых продуктов исходный гидросиликат натрия растворяли в пресной воде, не содержащей ионы поливалентных металлов (кальция, магния и др.).

Влияние технической воды для приготовления раствора композиции оценивали экспресс-тестом по отсутствию в исследуемом растворе нерастворимых соединений в реакции при смешивании равных объемов воды затворения и 10 % раствора карбоната натрия (Na_2CO_3). Кроме того, необходимо исключить влияние внешних факторов загрязнения воды, используя в работе чистое технологическое оборудование (накопительные емкости, циркуляционные смесители и т. п.). Для изучения особенностей процессов гелеобразования в зависимости от состава воды затворения оценивали физико-химические показатели и состав технической воды (таблица 1).

Полученные результаты показали, что жесткость воды оказывает существенное влияние на процессы гелеобразования. Снижение концентрации ионов кальция и магния в воде приводит к значительному увеличению времени гелеобразования композиции – на 3,5 ч.

Экспериментально определенная пороговая концентрация катионов кальция и магния в воде, при которой не происходит нарушение агрегативной устойчивости смеси, составляет 0,15 г/л [3]. Установлено, что введение нитрилотриметилфосфоновой кислоты в количестве 0,15–0,2 % в пробу технической воды затворения, содержащую 1,0 г/л Ca^{2+} и Mg^{2+} , позволяет получать однородный раствор связующего-гелеобразователя – силиката натрия [3].

Щелочные компоненты при контакте с нефтью вступают во взаимодействие с нафтеновыми кислотами, содержащимися в ней, в результате чего образуются мыла, снижающие межфазное натяжение на границе фаз, вода/нефть, что способствует нефтевытеснению. Поскольку гелеобразующая композиция на основе гидросиликата натрия имеет щелочную среду, были исследованы ее нефтеотмывающие свойства. В таблице 2 приведены результаты влияния состава воды затворения и полученных композиций на межфазное натяжение на границе с моделью нефти при 20 °С [3].

Таблица 1 – Влияние состава воды затворения на свойства гелеобразующей композиции

Состав композиции (мас. %)	Состав воды затворения, [Ca ²⁺], [Mg ²⁺], мг/л	Температура, °С	Плотность при 20 °С, г/см ³	Динамическая вязкость при 20 °С, мПа·с	Время гелеобразования, ч
ГСН (2) САК (1,3) Вода затворения (96,7)	Проба № 1 [Ca ²⁺] = 53,4 [Mg ²⁺] = 16,2	45	1,017	1,22	0,8
	Проба № 2 [Ca ²⁺] = 116,2 [Mg ²⁺] = 40,1		1,016	1,23	1,0
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 4 [Ca ²⁺] = 220,5 [Mg ²⁺] = 139,7	82	1,016	1,19	1,0
	Проба № 5 [Ca ²⁺] = 9,0 [Mg ²⁺] = 4,9		1,016	1,20	4,5
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 2 [Ca ²⁺] = 116,2 [Mg ²⁺] = 40,1	95	1,021	1,20	Нет геля
	Проба № 3 [Ca ²⁺] = 63,5 [Mg ²⁺] = 40,5		1,020	1,21	1,3

Таблица 2 – Влияние состава гелеобразующей композиции на межфазное натяжение с нефтью

Состав композиции (масс. %)	Состав воды затворения, [Ca ²⁺], [Mg ²⁺], мг/л	Межфазное натяжение, мН/м
ГСН (2) САК (1,3) Вода затворения (96,7)	Проба № 1 [Ca ²⁺] = 53,4 [Mg ²⁺] = 16,2	2,17
	Проба № 2 [Ca ²⁺] = 116,2 [Mg ²⁺] = 40,1	2,06
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 4 [Ca ²⁺] = 220,5 [Mg ²⁺] = 139,7	1,78
	Проба № 5 [Ca ²⁺] = 9,0 [Mg ²⁺] = 4,9	1,89
Примечание – Межфазное натяжение для водопроводной воды на границе с моделью нефти при 20 °С – 20,53 мН/м.		

Полученные результаты показывают, межфазное натяжение гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия на границе с моделью нефти изменяется в диапазоне 1,78–2,17 мН/м, что значительно ниже значения для водопроводной воды (20,53 мН/м). Это свидетельствует о высокой поверхностной активности разработанных гелеобразующих композиций и их способности к нефтеотмыву вне зависимости от состава воды затворения.

Таким образом, экспериментально показано: повышенное содержание ионов магния и кальция в воде существенно влияет на процессы гелеобразования потокоотклоняющих композиций. При использовании воды для приготовления гелеобразующих композиций необходимо контролировать общее содержание ионов магния и кальция – не более 0,15 г/л. Применение нитрилотриметилфосфоновой кислоты в качестве модификатора раствора силиката натрия, обеспечивающего агрегативную устойчивость композиции, позволяет снизить чувствительность гелеобразующего связующего к концентрации содержащихся в составе воды затворения катионов жесткости и использовать в составе композиции техническую воду с содержанием 1,00 г/л катионов магния и кальция.

Список литературы

1 Кудина, Е. Ф. Гелеобразующие технологии и материалы водоизоляционного назначения на основе водорастворимых силикатов (обзор) / Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский, В. М. Шаповалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2010. – Т. 15, № 4. – С. 62–74.

2 Pechersky, G. G. Multifunctional Hybrid Organosilicate Materials Prepared by the Sol-Gel Method / G. G. Pechersky, H. F. Kudina // Glass Physics and Chemistry. – 2011. – Vol. 37, № 6. – P. 583–589.

3 Влияние химического состава воды затворения на процессы гелеобразования неорганического полимера в технологиях увеличения нефтеотдачи / А. В. Антусева, Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 33–38.

УДК 621.763-036.742

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
efimby@mail.ru*

Актуальность. Одной из ключевых проблем является поиск оптимального сочетания полиолефинов и дисперсных компонентов – наполнителей, которые способны превратить обычный пластик в материал с заданными свойствами [1], а также изготовление изделий из разработанных материалов

с минимальным нанесением вреда экологии в процессе всего жизненного цикла изделия и в процессе его последующего рециклинга [2].

В рамках настоящей работы проводится анализ изменения твердости полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД), в зависимости от изменения содержания дисперсного шунгита.

Использование шунгита в качестве дисперсного наполнителя для ПКМ вызывает интерес в связи с особенностями строения и химической структуры, невысокой стоимостью, экологической безопасностью, природным происхождением, а также биполярностью высокодисперсных частиц, что позволяет использовать его в качестве активного наполнителя для термопластов.

Цель работы. Разработка современных ПКМ на основе матрицы из полиэтилена высокого давления и диспергированного в ней шунгита, анализ твердости разработанного материала.

Основные результаты. В качестве связующего материала для композита выбран дисперсный ПЭВД марки 16803-070. ПЭВД относится к категории термопластичных полимеров, поэтому может многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении, не разрушаясь. В качестве наполнителя – шунгит. Шунгит – природный материал, содержащий углерод в виде фрагментов фуллереноподобных структур.

Для получения однородного материала шунгит подвергали предварительной обработке, которая включала следующие этапы: измельчение, просеивание и термическую обработку. Измельчение шунгита проводили в шаровой мельнице в течение 2 часов при скорости вращения 60 об/мин. Измельчение позволило получить частицы шунгита с необходимым размером, обеспечивающим равномерное распределение наполнителя в полимерной матрице. После измельчения шунгит просеивали через набор сит для удаления неразмолотых частиц и выделения фракции менее 40 мкм. Это необходимо для контроля размера частиц наполнителя и повышения однородности композиционного материала. Следующий этап – термическая обработка, проводившаяся в лабораторном сушильном шкафу СНОЛ-3,5 при температуре 180 °С в течение 60 минут. Целью термической обработки являлось удаление влаги из шунгита и стабилизация структуры, что важно для обеспечения стабильности свойств композиционного материала в процессе эксплуатации. Далее композиции получали путем смешивания шунгита с полимерным материалом в расплаве на лабораторном одношнековом смесителе. Взвешивание компонентов проводили на лабораторных весах М-ER 122 ACFJR. Смешивали компоненты при температуре 110 °С, скорости вращения ротора 70 об/мин, время смешивания составляло 20 минут. Массовое содержание шунгита в композициях варьировали от 0,5 до 50 масс. %.

Визуальный осмотр образцов после смешивания показал, что при увеличении массового содержания шунгита от 40 и более масс. % композиции становятся более темными. Подготовленные смеси композиций помещали в

подготовленную пресс-форму. Форму нагревали до 110 °С в течение 45 минут, обеспечивая равномерное распределение тепла по всей массе материала. После этого композицию прессовали на гидравлическом прессе ПГПР под давлением 25 кН.

Испытание образцов на сжатие проводилось в соответствии с ГОСТ 24261-2015 на кафедре «Водоснабжение, химия и экология» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» на твердомере (дюрометре) по Шору типа ТВР-DM. На рисунке 1 представлен твердомер перед проверкой на мерах прочности, а также при испытании образцов на твердость.

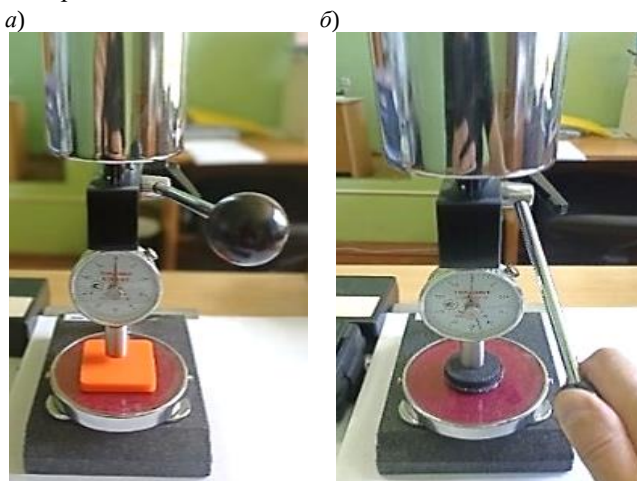


Рисунок 1 – Твердомер типа ТВР-DM:

а – перед проверкой на мерах прочности; *б* – при испытании образца на твердость

Оценка полученных результатов позволяет сделать вывод, что при введении шунгита в количестве от 5 до 15 масс. % твердость композиции меняется незначительно. При увеличении содержания шунгита в композиции от 20 до 35 масс. % твердость возрастает до 21 %. Введение наполнителя более 40 масс. % практически не влияет на твердость исходного полимера, поэтому повышение концентрации наполнителя более 40 масс. % нецелесообразно.

Зависимость твердости композита от концентрации шунгита для композиций с массовым содержанием дисперсного шунгита от 5 до 50 масс. % представлена на рисунке 2.

Анализ полученных данных показал, что максимальная твердость композита достигается при содержании наполнителя в количестве 30 масс. %. Тем не менее, с повышением концентрации шунгита образец становится пористым.

В целях анализа и оценки изменения свойств композита после рециклинга, разрушенные образцы с наполнителем в количестве от 20 до 35 масс. % были подвергнуты вторичной переработке.

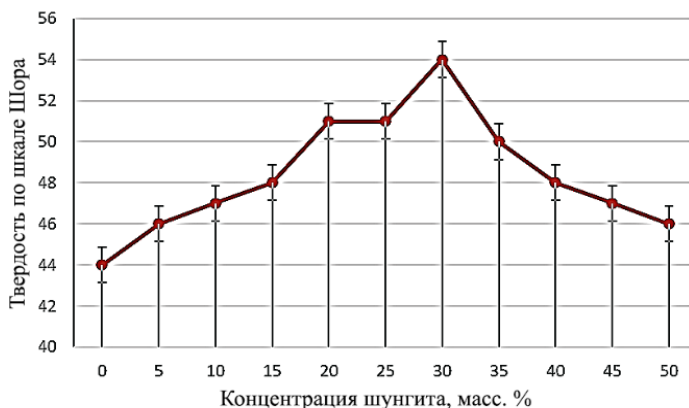


Рисунок 2 – Зависимость твердости композита от концентрации шунгита

Анализ зависимости изменения твёрдости (D) в исходной наполненной композиции (D_n) и композиции после рециклинга (D_p) с содержанием шунгита в количестве от 20 до 35 масс. % представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость твердости композиции после рециклинга от концентрации шунгита

Концентрация шунгита, масс. %	Твердость по Шору		$\frac{D_p - D_n}{D_n} \cdot 100, \%$
	Исходная композиция D_n	Композиция после рециклинга D_p	
20	51	49	– 3,9
25	51	50	– 1,9
30	54	52	– 3,7
35	50	48	– 4

Оценка результатов изменения твердости показала, что твердость разрабатываемого материала после вторичной переработки уменьшилась не более чем на 4 %. Следовательно, шунгит может применяться для увеличения твердости композитов на основе полиэтилена высокого давления, которые могут быть подвержены рециклингу практически без уменьшения прочности.

Выводы. Оценка полученных экспериментальных данных показала, что к повышению твердости ПЭВД приводит диспергирование в объеме полимерной матрицы дисперсного шунгита в количестве от 20 до 35 мас. %. При оптимальном соотношении шунгита и ПЭВД можно получить композиционные материалы с повышением твердости до 21 %.

Важно отметить, что увеличение содержания шунгита более 35 мас. % может привести к снижению прочности материала. Это связано с тем, что при значительном количестве наполнителя нарушается однородность структуры композита и увеличивается вероятность образования микротрещин, которые могут стать центрами разрушения.

Список литературы

1 Кудина, Е.Ф. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86.

2 Шаповалов, В. М. Рециклинг и утилизация многокомпонентных полимерных систем на основе вторичных термопластов (обзор) / В. М. Шаповалов, А. Я. Григорьев // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 6–19.

УДК 628.16

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Н. МАКЕЕВА, М. В. МУРАВЬЕВА

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,
Республика Беларусь, volkova_katerina@gstu.by*

Состав поверхностных вод определяется совокупным влиянием физико-географических факторов и антропогенной нагрузки. Основными источниками загрязнения реки выступают хозяйственно-бытовые стоки, промышленные и ливневые воды с территорий населённых пунктов и отдельных сельскохозяйственных объектов.

Результаты анализа исходной воды помогают выявить отклонения её качества от нормативных значений и определить подходящую схему очистки. Следует учитывать, что показатели качества воды в источнике подвержены сезонным колебаниям. В связи с этим единичное лабораторное исследование не может считаться достаточным для комплексной оценки водоисточника: оно не отражает максимально возможных концентраций отдельных компонентов, которые необходимо принимать во внимание при выполнении расчётов [1].

Цель работы. Анализ сезонных изменений ключевых показателей качества воды в источниках водоснабжения города Гомеля и Гомельской области и установление их роли в выборе технологии химической очистки воды.

В соответствии с целью исследования в работе решались следующие задачи:

- опытным путём осуществить мониторинг состояния воды в весенний, летний, осенний и зимний периоды времени в реках Сож, Днепр, Припять;
- провести сравнительный анализ основных химических показателей воды в различные сезоны года;
- оценить влияние основных показателей качества воды на выбор схемы очистки.

Исследования проводились в лаборатории «Водоподготовка и водный режим котельных установок» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого». Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» в течение 12 месяцев с марта по февраль. Объектами исследования являлись крупнейшие реки Гомеля и Гомельской области: Сож, Днепр и Припять [2].

Места отбора проб:

- р. Сож – г. Гомель (в районе водозабора ТЭЦ-1);
- р. Днепр – г. Речица;
- р. Припять – г. Мозырь.

Длина реки Сож составляет 648 км, из них более 300 км – на территории Гомельской области. Река Сож является водоисточником для всех станций и котельных г. Гомеля.

Общая протяжённость Днепра – 2285 км, в пределах Гомельской области – 400 км. Из реки Днепр осуществляется водозабор на Жлобинскую мини-ТЭЦ.

Длина реки Припять – 775 км, в пределах Гомельщины – около 350 км. Является водоисточником для Мозырской ТЭЦ.

Исследования проводились с помощью водно-химической экспресс-лаборатории ВХЭЛ в соответствии с общепризнанными стандартными методиками. Были определены следующие основные показатели качества воды: цветность, водородный показатель, прозрачность и мутность, щёлочность, общая жёсткость, железо общее, содержание нитратов и хлоридов, содержание кислорода, фосфаты. При анализе полученных результатов были выявлены значительные изменения контролируемых показателей в различные сезоны года (таблица 1) [2].

Анализ характеристик воды выявляет ухудшение её качества в весенний сезон. Ключевая причина – попадание талых вод в поверхностные источники. В ходе снеготаяния с прибрежных территорий в водоёмы поступают загрязняющие вещества, причём риск загрязнения существенно возрастает при наличии поблизости промышленных или сельскохозяйственных объектов.

В период половодья отмечается повышенное содержание в поверхностных водах токсичных соединений антропогенного происхождения, включая нефтепродукты, пестициды, гербициды, нитраты, фенолы, тяжёлые металлы и химические реагенты. Смыв органических веществ приводит к росту показателей мутности и цветности воды [3, 4].

Таблица 1 – Показатели качества исследуемых проб воды

Показатель	Весна			Лето			Осень			Зима		
	Сож	Днепр	Припять	Сож	Днепр	Припять	Сож	Днепр	Припять	Сож	Днепр	Припять
Водородный показатель	6	6	7	7	7	7	6,5	6	6	6,5	6,5	7
Прозрачность, см	56	31	33,3	>60	>60	31	>60	>60	27	32	45	41,5
Мутность по каолину, мг/л	0,28	1,75	1,5	–	–	1,75	–	–	1,93	1,75	1,1	1,3
Мутность по фармазину, ЕМ/л	1	3	2,75	–	–	3	–	–	3,3	3,8	1,9	2,3
Щёлочность, ммоль/л экв	3,5	3,3	2,75	3,6	2,9	3,1	2,9	4,3	3,1	3,7	2,8	3,3
Общая жёсткость, ммоль/л экв	3,6	3,9	3,7	3,4	3,75	3,5	3,85	4,35	3,9	3,25	3,25	4,5
Железо общее, мкг/л	500	1000	700	200	300	500	200	300	500	500	1500	900
Содержание нитратов, мг/л	35	25	5	–	1	6	3	20	6	0,5	0,5	0,7
Содержание хлоридов, мг/л	16	25	57	10	19	26	16	25	58	21	26	28

Заключение. На основании комплексного анализа данных установлено, что сезонные факторы в различной степени оказывали влияние на качество исследуемых поверхностных вод по большинству анализируемых показателей. Наиболее выраженные изменения наблюдаются весной (смыв загрязнений) и зимой (влияние подземных вод). Сож демонстрирует худшие показатели по прозрачности и мутности. Днепр характеризуется высокими концентрациями железа. Рекомендуются: увеличение доз коагулянтов и флокулянтов; возможно добавление окислителей для борьбы с органикой и железом. Припять имеет повышенную минерализацию, следовательно, требуется ее снижение и контроль жёсткости.

Список литературы

1 **Игнатенко, О. В.** Оценка качества поверхностных вод Братского водохранилища по гидрохимическим показателям / О. В. Игнатенко, Д. Ф. Барташук // Труды Братского государственного университета. – 2012. – Т. 1. – С. 105–110.

2 **Шкробот, А. А.** Показатели качества водоисточников города Гомеля и Гомельской области / А. А. Шкробот, Е. Н. Макеева // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. / Гомельский гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2019. – С. 247–250.

3 **Трякина, А. С.** Научное обоснование расчетных показателей качества исходной воды при выборе технологической схемы водоочистки / А. С. Трякина // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – № 5 (133). – С. 90–95.

4 **Летенкова, И. В.** Химические показатели качества родниковых вод Солецкого района Новгородской области / И. В. Летенкова, В. Ф. Литвинов // Национальная ассоциация ученых. – 2016. – № 6 (22). – С. 107–111.

УДК 551.577.3:551.506.3(476.2)

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ УВЛАЖНЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

О. П. МЕШИК, М. В. БОРУШКО, А. Р. ХЛЫВНЮК, А. С. ПРОТАСЕВИЧ

Брестский государственный технический университет,

Республика Беларусь, omeshik@mail.ru

Белорусское Полесье относится к природно-хозяйственным регионам с высокой климатической уязвимостью и одновременно с сильной антропогенной трансформацией водного режима. На фоне наблюдаемого потепления климата меняется частота и продолжительность гидрометеорологических экстремумов: засух, периодов дефицита влаги в вегетационный период, а также резких переходов в системе: весеннее половодье – засуха – дождевой паводок. Для Белорусского Полесья это означает прямые риски для сельского хозяйства, лесных и болотных экосистем.

При этом управленческие решения в регионе всё чаще требуют не только ретроспективной оценки, но и прогноза по различным сценариям будущего. Стандартные показатели атмосферных осадков или температуры воздуха не отражают комплексный баланс влагообеспеченности, поэтому использование индексов засушливости/увлажнения на различных временных интервалах становится методологически оправданным: эти индексы позволяют количественно сопоставлять условия, оценивать вероятность пороговых состояний и формировать карты и «паспорта риска» для различных территорий и сезонов. Таким образом, выполненные исследования отвечают практическому запросу на научно обоснованный прогноз увлажнённости территории Белорусского Полесья и на инструменты, позволяющие поддержать адаптацию землепользования и управления водным режимом в условиях изменяющегося климата.

Цель работы. Комплексная оценка и прогноз изменений увлажнённости территории Белорусского Полесья на основе индексов SPI и SPEI разных временных масштабов и определение наиболее уязвимых временных интервалов по различным климатическим сценариям с формированием прикладных характеристик риска (пороговые уровни, вероятности неблагоприятных состояний, таблицы риска) для поддержки решений по водохозяйственному управлению и адаптации землепользования.

В работе [1] нами проведен анализ индикаторов и индексов засух, и в настоящем исследовании обосновано использование стандартизированного индекса осадков (*standardised precipitation index*, SPI) и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (*standardised precipitation evapotranspiration index*, SPEI). Временные масштабы приняты и характеризуют: 3 месяца – сезонную (агроклиматическую) засушливость; 12 месяцев – долгосрочную (гидрологическую) засуху. Численные показатели представляют собой: 0...–0,99 – слабую/незначительную засушливость; –1,00...–1,49 – умеренную засуху; –1,50...–1,99 – сильную засуху; $\leq -2,00$ – экстремальную засуху.

SPI рассчитывался по суммам осадков с аппроксимацией гамма-распределением по календарным месяцам; SPEI – по накопленным значениям климатического водного баланса [2].

Прогнозные оценки увлажнённости Белорусского Полесья выполнены до 2050 г. на примере длиннорядных метеостанций Василевичи и Пинск по месячным рядам осадков (P) и температуры (T). Рассмотрены три варианта прогноза: статистический инерционный (STAT) и два сценарных (SSP2-4.5 / SSP5-8.5). Использованы сценарные реализации (DRY / MEDIAN / WET).

Сценарные реализации выбирались по суммарному показателю увлажнённости (водному балансу): DRY (5 %) – «сухая» траектория, соответствующая нижнему 5-му процентилю; MEDIAN (50 %) – типичная (медианная) траектория; WET (95 %) – «влажная» траектория, соответствующая верхнему 95-му процентилю.

Для инерционного статистического прогноза (STAT) использована сезонная модель SARIMAX (*state-space* SARIMA), реализованная в пакете *statsmodels* и оцениваемая методом максимального правдоподобия с применением фильтра Калмана [3]. Вариант STAT описывает возможную эволюцию климатических переменных при сохранении статистической структуры исторических наблюдений (сезонность, автокорреляция, типичная изменчивость) без наложения внешнего сценарного сигнала изменения климата (SSP).

Принятый сценарий SSP2-4.5 относится к промежуточным траекториям социально-экономического развития и выбросов. В долгосрочной перспективе этот сценарий предполагает стабилизацию радиационного воздействия около 4.5 Вт/м^2 к 2100 г. и умеренные темпы сокращения выбросов при наличии ответственной климатической политики. SSP5-8.5 предполагает энерго- и ресурсозатратное развитие с высокой зависимостью от ископаемого топлива, ведущее к высокому радиационному воздействию порядка 8.5 Вт/м^2 к 2100 г. В настоящем исследовании сценарии SSP2-4.5 и SSP5-8.5 использованы как два контрастных коридора климата будущего (умеренный и высокий) в рамках CMIP6/SSP-матрицы [4 и др.].

Потенциальная эвапотранспирация (PET) рассматривается как функция температуры воздуха (T) и рассчитана по методу Торнтвейта (Thornthwaite, 1948), так как этот метод отличается достаточной простотой. Климатический водный баланс представляет собой разность осадков и эвапотранспирации $D = P - PET$.

На рисунках 1–3 представлены прогнозные оценки засушливости территории Белорусского Полесья.

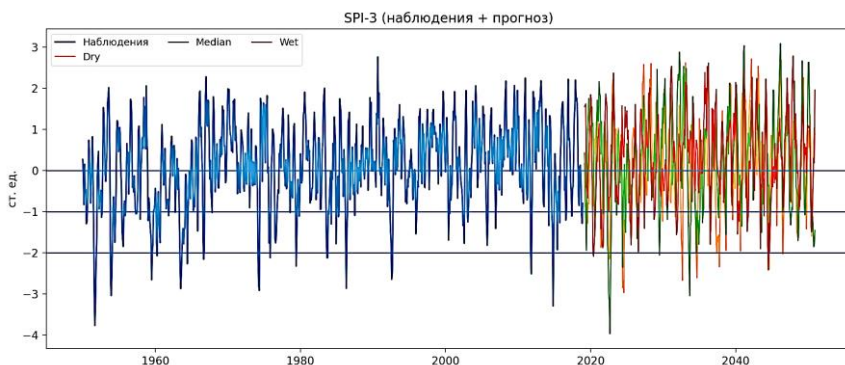


Рисунок 1 – Прогноз SPI-3

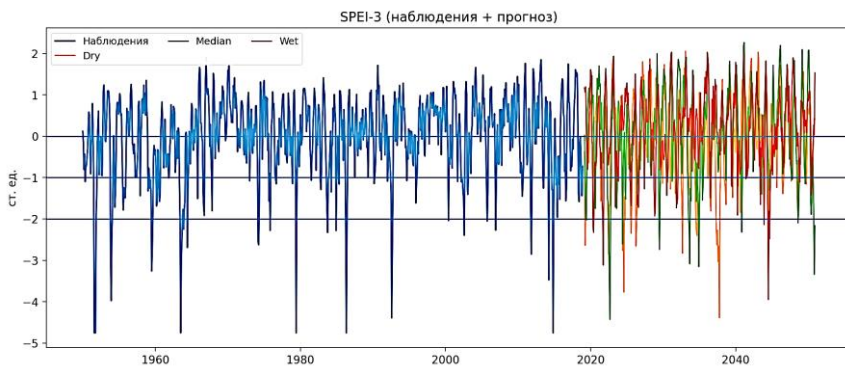


Рисунок 2 – Прогноз SPEI-3

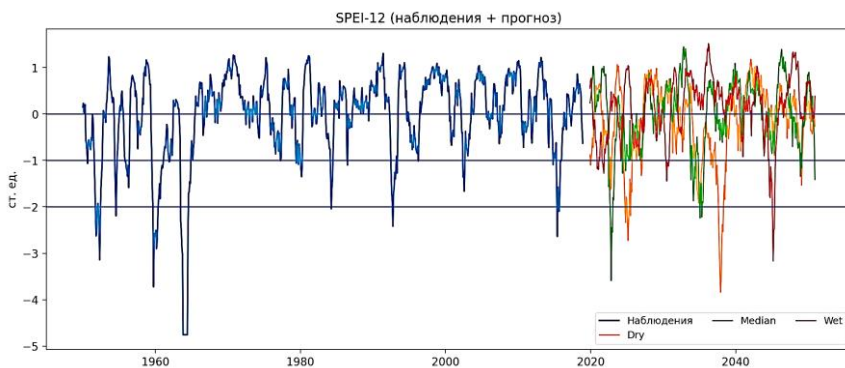


Рисунок 3 – Прогноз SPEI-12

Инерционный статистический прогноз STAT.

2021–2030 гг. Водный баланс преимущественно около нормы, однако его колебания внутри сезона достаточно значимы. Риск умеренной засухи (индекс < -1) уже заметен на сезонных масштабах в 3 месяца.

2031–2040 гг. Усиливается роль дефицита водного баланса в тёплый сезон (апрель – сентябрь) за счет роста эвапотранспирации PET: SPEI реагирует сильнее, чем SPI, т. е. не только осадки, а именно баланс влаги определяет засушливость. Гидрологические засухи (масштаб 12 месяцев) остаются реже, чем сезонные (3 месяца), но их вклад начинает расти при неблагоприятной последовательности сезонов.

2041–2050 гг. Суммарный годовой баланс к 2050 г. получается отрицательным: $P \approx 553,7$, $PET \approx 610,6$, $D \approx -56,9$ мм/год.

Сценарные прогнозы (SSP2-4.5 и SSP5-8.5):

2021–2030 гг. Климатические изменения ещё умеренные: постепенное потепление повышает PET, однако рост осадков частично компенсирует водный баланс. Риски по SPI/SPEI на 3 месяца имеются, однако они ниже, чем в инерционном варианте.

2031–2040 гг. Годовой водный баланс улучшается, но дефицит в тёплый сезон всё равно сохраняется (PET растёт быстрее сезонной прибавки осадков там, где она небольшая). SPEI устойчиво показывает, что именно апрель – сентябрь остаётся сезоном повышенного риска.

2041–2050 гг. По обоим SSP годовой баланс к 2050 г. выходит в плюс: SSP2-4.5 – $P \approx 710,9$, $PET \approx 660,6$, $D \approx +50,3$ мм/год; SSP5-8.5 – $P \approx 748,6$, $PET \approx 686,3$, $D \approx +62,3$ мм/год. Однако тёплый период остаётся дефицитным по водному балансу, т. е. риск засух для агроландшафтов не исчезает даже при росте годовых осадков.

«Карты риска» засухи.

По итоговой оценке (доля месяцев с индексом < -1 за 2020–2050 гг., с учётом исторической изменчивости) получены следующие показатели:

Тёплый сезон (апрель – сентябрь). STAT: риск умеренной засухи значительный: SPI-3 $\sim 12,6$ %, SPEI-3 $\sim 13,7$ %; при SPI-12 ниже: SPI-12 $\sim 5,3$ %, SPEI-12 $\sim 6,6$ %. SSP2-4.5 / SSP5-8.5: риски ниже (из-за роста P), однако SPEI-3 всё равно выше SPI-3, т. е. PET «добавляет» засушливость: SPI-3 $\sim 3,5$ % / $3,2$ %, SPEI-3 $\sim 6,2$ % / $6,3$ %; SPEI-12 $\sim 0,8$ % / $0,7$ %.

Холодный сезон (октябрь – март). Риски обычно ниже, чем летом, особенно по SPEI (PET мал), но в инерционном варианте они всё равно есть (за счёт последовательностей сухих месяцев).

В таблице 1 приведены наиболее уязвимые месяцы по отношению к засухам (SPEI-3 < -1), 2020–2050 гг.

При сценарии STAT наиболее уязвимыми являются май – июнь (резкий рост PET) и конец лета, а также октябрь как месяц, чувствительный к летнему дефициту водного баланса. В сценарии SSP2-4.5 с ростом осадков летний риск снижается, однако переходные месяцы (апрель – июнь) всё равно остаются чувствительными. По сценарию SSP5-8.5 несмотря на большее потепление, в принятой параметризации осадки растут так, что суммарно риск умеренной засухи по SPEI-3 имеется, но май – июнь всё равно является пиком уязвимости.

Таблица 1 – Топ уязвимых месяцев к засухам по вариантам прогноза – % риска

STAT	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Июнь – 18,4	Май – 9,5	Июнь – 8,0
Октябрь – 15,8	Июнь – 7,7	Май – 8,0
Май – 15,3	Декабрь – 6,3	Декабрь – 6,0
Август – 13,6	Апрель – 6,1	Август – 5,9
Сентябрь – 13,6	Январь – 5,4	Июль – 5,9

Сезонные риски (апрель – сентябрь) засух сильных $SPI3 < -1,5$ составляют 1,6...7,3 %, $SPEI3 < -2,0...3,1-10,4$ %; экстремальных $SPI3 < -2,0...0,1-2,1$ %, $SPEI3 < -2,0...1,6-3,6$ %. Опасность сильной гидрологической засухи по варианту СТАТ составляет 4,2 %, экстремальной – 1,0 %.

В заключение необходимо отметить, что до 2050 г. уязвимость территории Белорусского Полесья определяется не столько изменением годовых осадков, сколько сезонным дефицитом влаги (май – сентябрь), усиливаемым ростом эвапотранспирации, поэтому индекс SPEI-3/12 является ключевым индикатором риска, а наиболее эффективное направление адаптации территории к возможным климатическим изменениям – управляемое водорегулирование и удержание воды в тёплый сезон. Это является прерогативой гидротехнических мелиораций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Республики Беларусь.

Список литературы

1 **Мешик, О. П.** Методологические подходы к оценке засух и засушливых явлений / О. П. Мешик, М. В. Борушко // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти чл.-кор. РАСХН и НАНР академика МАЭП и РАВН Я. В. Бочкарева / Рязан. гос. агротехнол. ун-т. им. П. А. Костычева. – Рязань, 2024. – С. 59–65.

2 **Vicente-Serrano, S. M.** A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) / S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J. I. López-Moreno // Journal of Climate. – 2010. – Vol. 23, №. 7. – P. 1696–1718.

3 **Durbin J.** Time Series Analysis by State Space Methods. – 2nd ed. / J. Durbin, S. J. Koopman. – Oxford : Oxford University Press, 2012. – P. 346.

4 The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century / O. Fricko, P. Havlik, J. Rogelj [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 251–267.

УДК 676.017.66

МЕТОД ОЦЕНКИ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И РАСТВОРИМОСТИ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ

А. С. НЕВЕРОВ, Е. И. ДОЦЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
nev.aleksander2013@yandex.by, alena.dotsenko2012@yandex.by*

Сегодня исследование водопоглощения минеральными вяжущими производят преимущественно посредством выдержки образцов в воде с периодическим их извлечением и взвешиванием [1–3]. При этом при каждом извлечении теряется поглощенная вода при удалении воды с поверхности образцов при протирке ее тканью. Периодичность взвешивания составляет

24 часа, что не позволяет оценить кинетику процесса в наиболее важный момент во время наибольшего поглощения воды. Уменьшение периода увеличивает трудоемкость исследования и его точность, поскольку при каждом извлечении образца есть потери поглощенной воды.

Оценка кинетики растворимости твердых веществ связана с неменьшими сложностями. Обычно ограничиваются определением максимально возможного количества вещества, переходящего единицу объема растворителя при данных условиях. Если же оценивают кинетику процесса, трудоемкость резко возрастает. Приходится многократно повторять исследование с постепенно увеличивающимся количеством растворяемого вещества до достижения предела растворимости, оценивая на каждом этапе степень растворения тем или иным способом (например, методом отфильтровывания нерастворимого остатка).

Нами для оценки этих параметров использован метод, основанный на полном погружении образца в емкость с водой (или другой жидкостью), установленную на весах таким образом, чтобы образец, подвешенный на тонкой нити, не соприкасался с дном и стенками емкости. Такой метод используется в ювелирном деле для оценки плотности драгоценных металлов (метод Архимеда), но не нашел широкого применения в других отраслях науки и техники [4].

При этом вода, вытесненная при погружении образца, постепенно поглощается образцом, масса емкости с водой уменьшается на величину массы поглощенной жидкости или, в случае определения растворимости, масса воды возрастает за счет перехода в нее вещества образца.

В этом случае массу поглощенной воды или растворенного вещества можно оценить в любой момент времени без извлечения образца и соответствующих потерь. Кроме того, можно подключить весы к компьютеру или другому записывающему устройству и оценивать изменение массы непрерывно.

Особую практическую важность это приобретает в тех случаях, когда процессы водопоглощения и растворения протекают очень быстро и оценить их кинетику обычными способами сложно.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования водопоглощения цементным образцом и образцом, сформированным из гипса.

Как свидетельствует рассмотрение рисунков 1 и 2, даже для цементного образца поглощение воды практически заканчивается в течение часа, а для гипсового образца – в течение 5 минут, поглощая при этом воды больше, чем цемент за 60 минут.

Таким образом, столь длительная выдержка образцов в воде согласно стандарту (24 ч) ничего не дает даже в случае цементного образца.

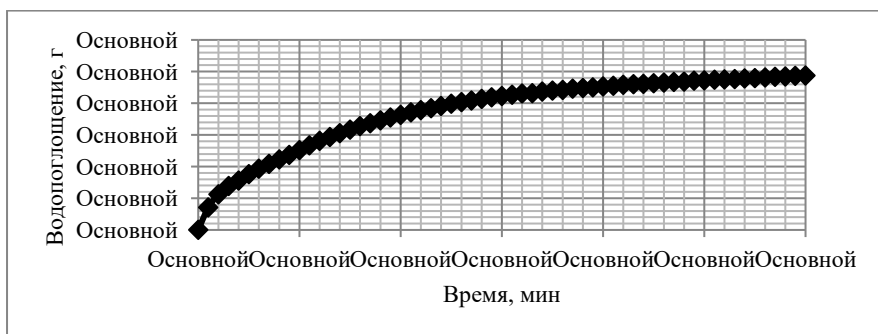


Рисунок 1 – Поглощение воды цементным образцом массой 125 г с водоцементным отношением В/Ц = 0,5

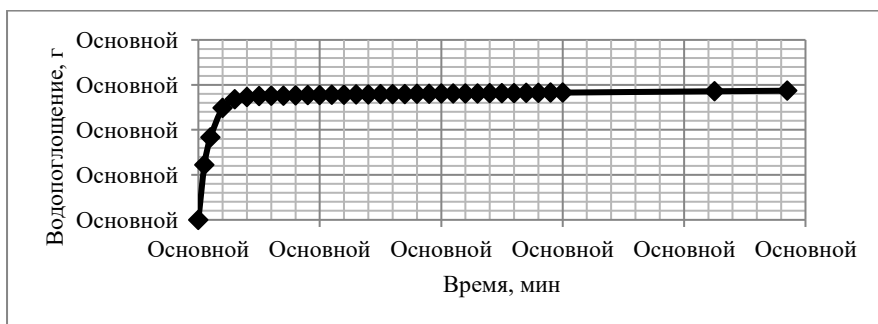


Рисунок 2 – Поглощение воды гипсовым образцом массой 115 г с водоцементным отношением В/Ц = 0,4

Тот факт, что за первые 5 минут гипсовый образец поглощает воды в 4 раза больше, чем цементный, свидетельствует о необходимости исследования кинетики водопоглощения именно в этот начальный период. При использовании стандартной методики обнаружить это практически невозможно.

Не менее важна проблема водопоглощения для деревообрабатывающей промышленности. Поглощение воды изделиями из древесины может приводить к образованию многочисленных дефектов за счет их коробления, образования плесени и гнили. Предложенная методика предоставляет простой и надежный способ оценки кинетики этого процесса. На рисунке 3 приведена скорость поглощения воды образцом древесины дуба. Обращает внимание немонотонный характер этого процесса, обусловленный наличием в древесине системы капилляров различной длины.

Рассматриваемый метод позволяет оценить не только водопоглощение,

но и растворимость твердых веществ. Рисунок 4 характеризует кинетику растворения кристалла медного купороса. Скорость растворения кристалла изменяется практически линейно соответственно изменению его площади.

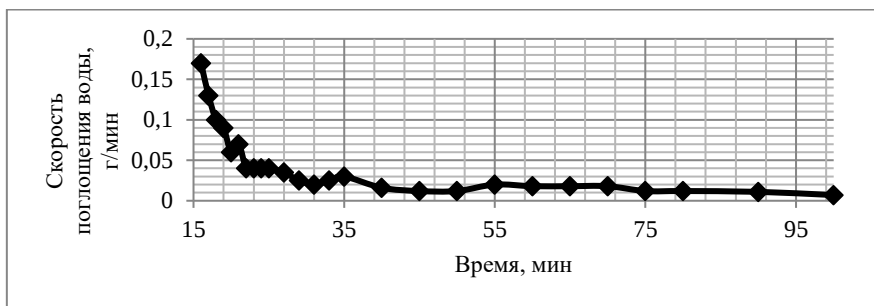


Рисунок 3 – Скорость поглощения воды образцом древесины дуба 1,8×1,3×3,5 см

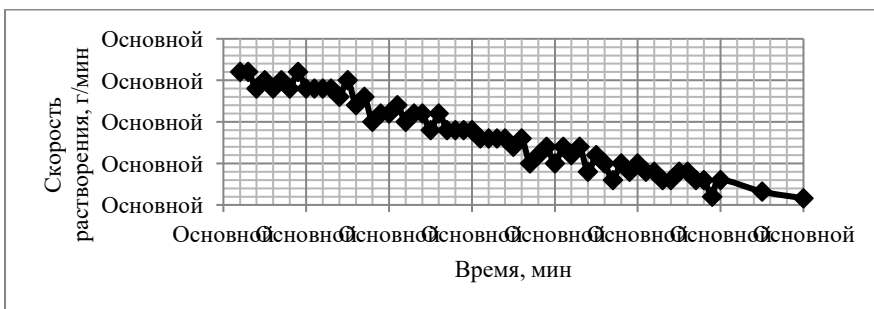


Рисунок 4 – Скорость растворения в воде кристалла CuSO_4 , $m = 9,71$ г

Растворение порошка медного купороса (рисунок 5) носит более сложный характер, обусловленный, по-видимому, предшествующим растворению поглощением воды порошком.

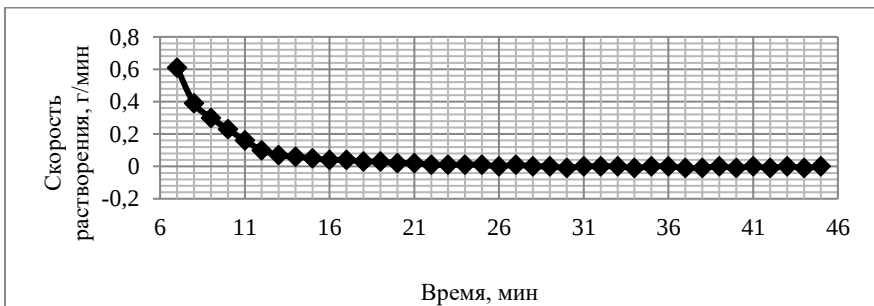


Рисунок 5 – Скорость растворения 5,4 г порошка CuSO_4 в 312 г воды

Область применения данного метода не ограничивается приведенными примерами. В частности, его можно использовать и для изучения кинетики некоторых химических реакций. Возможность автоматизации, снижение трудоемкости и повышение точности, обусловленные исключением потерь за счет периодического извлечения образцов из рабочей среды, расширяют диапазон его применения.

Список литературы

1 Бетоны. Метод определения водопоглощения : ГОСТ 12730.3-2020. – Взамен ГОСТ 12730.3-78 ; введ. 01.09.2021. – М. : Стандартинформ, 2021.

2 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости : ГОСТ 7025-91. – Взамен ГОСТ 6427-75 ; ГОСТ 7025-78; введ. 01.07.1991. – М. : Стандартинформ, 2006. – 12 с.

3 Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения: ГОСТ 2409-2014. – Взамен ГОСТ 2409-95 ; введ. 01.09.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

4 **Неверов, А. С.** Использование закона Архимеда для определения некоторых физических и химических характеристик исследуемых материалов / А. С. Неверов, Е. И. Доценко // Біялогія і хімія. – 2025. – № 4 (112) – С. 52–60.

УДК 504.5:502.51:556.5

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДОЕМА ОТ СТЕПЕНИ УРБАНИЗАЦИИ

Г. Л. ОСИПЕНКО

*Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины,
Республика Беларусь, osipenko.galina@mail.ru*

Актуальность. Геохимические показатели загрязненности любой водной экосистемы зависят от степени их урбанизации, так как степень «давления» антропогенного фактора на природные экосистемы увеличивается с каждым годом ввиду роста количества населения, посещающего водные объекты для организованного или неорганизованного отдыха, а также из-за роста объектов экономики городов.

Степень урбанизации является показателем, изучающим виды загрязнений, связанных с деятельностью человека. Согласно этому показателю, водоемы ранжируются на 3 группы – чем больше воздействие антропогенных факторов, тем выше балльная оценка.

Цель работы. Анализ загрязненности экосистемы «озеро Волотовское» от степени урбанизации исследуемого водного объекта.

Основные результаты. Озеро Волотовское – самое крупное озеро Во-

лотовского каскада озёр в Гомеле. Расположено между Бурым болотом и каскадом малых озёр. Территория озера благоустроена и активно используется населением в теплое время года для отдыха, рыбалки.

Степень урбанизации водоемов устанавливали на основе бальной оценки количественных и качественных показателей, разработанной О. В. Янчуревич [1], которая учитывает показатели: *количественные* (близость/удаленность промышленных предприятий; близость/удаленность жилья, гаражей и прочих построек; близость/удаленность автомобильных, железных дорог; близость/удаленность агроценозов; нарушенность береговой линии) и *качественные* (наличие кострищ, бытового мусора; поступление сточных вод; строительные работы; заморные явления в водоеме; посещаемость людьми).

Исследования проводились в осенне-весенний период 2023–2024 гг. Качественные показатели, влияющие на степень урбанизации данной экосистемы: близость промышленных предприятий, а также близость жилья, гаражей и прочих построек, которые составляют в итоге 2 балла.

Количественными показателями, имеющими наибольшее влияние на данный водный объект, являются: рекреация (наличие кострищ, бытового мусора), строительные работы, при суммировании баллов получено число 12. Данные исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение степени урбанизации водоема по полученным качественным и количественным показателям

Водоем	Признаки		Сумма баллов	Группа	Тип водоема
	Качественные	Количественные			
Озеро Волотовское	2	12	14	II	Среднеурбанизированный

Основными химическими веществами, по которым было выявлено превышение, являлись следующие: нефтепродукты, медь, железо общее, фосфор фосфатный, азот аммонийный, марганец. Колебание растворенного кислорода в дни исследований составляло от 5,24 до 8,78 мг/О₂ л. Отмечалось как низкое содержание данного показателя, так и превышение нормы, что говорит о высоких окислительных процессах в водоеме.

Превышение химических веществ при анализе отмечено по следующим показателям: нефтепродукты, железо общее, фосфор фосфатный. Особенно отмечено превышение такого показателя, как фосфор фосфатный. В экосистемах водоёмов фосфаты способствуют эвтрофикации, что может привести к избыточному росту водорослей, снижению уровня кислорода и гибели рыб и других водных организмов. Основными источниками загрязнения

являются сельскохозяйственные стоки, сточные воды и промышленные выбросы, которые были отмечены как качественные и количественные показатели в наших исследованиях.

Для комплексной оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям использовался индекс загрязненности вод (ИЗВ), предлагаемый Главным информационно-аналитическим центром Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) [2].

ИЗВ изучаемого водоема относится к категории «умеренно загрязненные». Концентрация нефтепродуктов лишь изредка и не значительно превышает допустимую концентрацию [3]. Показатели ИЗВ и динамика отражены на рисунке 1.

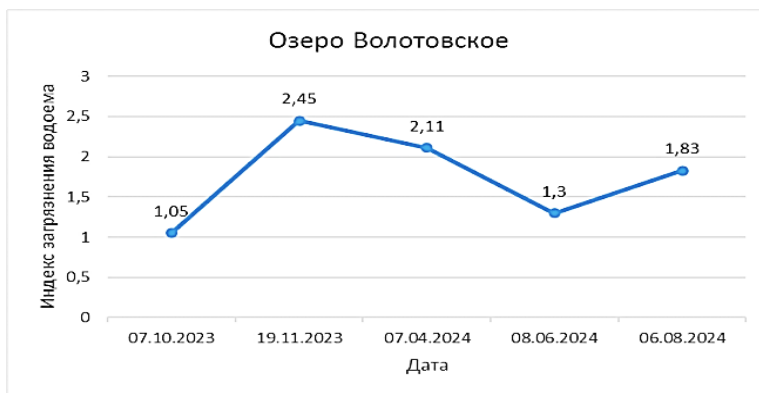


Рисунок 1 – Показатели ИЗВ озера Волотовское по датам исследований

Выводы. Значения ИЗВ озера Волотовского заметно колеблются во времени, не имея стабильного роста или снижения, входят в диапазон 1,0–2,5 и относятся к III классу качества воды – умеренно загрязнённой. Степень загрязнённости зависит от времени года и внешних факторов среды.

Список литературы

1 Янчуревич, О. В. Репродукция RANA TEMPORARIA L. в условиях урбанизированных ландшафтов / О. В. Янчуревич // Вестник Гродненского государственного университета им. Янки Купалы. – 2003. – № 1. – С. 93–100.

2 НСМОС: результаты наблюдений, 2012. Мониторинг поверхностных вод // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – URL: http://www.ecoinfoby.net/data/3/2012/pov_voda2012.pdf (дата обращения: 19.12.2024).

3 Осипенко, Г. Л. Степень урбанизации водоемов как фактор, влияющий на загрязненность воды / Г. Л. Осипенко // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Брянск,

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДАЧИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА
ИЗ ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ**

Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
d.propolsky@gmail.com*

Актуальность. Нормирование качества питьевой воды в Республике Беларусь осуществляется согласно требованиям постановления Совета Министров 25 января 2021 г. № 37. Основным источником питьевого водоснабжения в стране являются подземные воды, которые характеризуются стабильным химическим и микробиологическим составом. Согласно отчётам Национальной системы мониторинга окружающей среды и данным Государственного водного кадастра вопрос повышенного содержания железа Fe (II) и марганца Mn (II) в подземных водах остаётся актуальным для всей территории Беларуси. Наиболее распространённым методом удаления железа является использование фильтрации через инертные материалы. В результате работы таких фильтров возникает проблема утилизации образующегося осадка. Одним из возможных вариантов решения вопроса является получение нитрата железа путём выщелачивания его из осадка станций обезжелезивания.

Цель работы. Провести сравнительный анализ эффективности выщелачивания соединений железа при различных условиях подачи кислоты в осадок станций обезжелезивания.

Основные результаты. Согласно предыдущим исследованиям, оптимальная концентрация раствора азотной кислоты (HNO_3) для выщелачивания нитрата железа III из осадков станции обезжелезивания подземных вод составила 15 % [1]. В данном исследовании подача раствора кислоты осуществлялась следующим образом: объём дистиллированной воды, необходимый для получения 15%-го раствора азотной кислоты, делился поровну. Одна половина объёма заливалась в осадок станции обезжелезивания для получения суспензии. Замешивание осуществлялось с помощью механической мешалки в течение 5 минут. Другая половина дистиллированной воды смешивалась с исходным необходимым объёмом концентрированной азотной кислоты. После готовый раствор переливался в суспензию и перемешивался с помощью механической мешалки в течении 15, 30, 45 и 60 минут в

зависимости от образца. По истечении указанного времени с помощью вакуумного насоса производилось отделение продукта выщелачивания. В полученных при этом образцах раствора с помощью спектрофотометра определялась концентрация железа общего. Полученные результаты сравнивались с результатами предыдущего исследования.

Следует отметить, что подача кислоты в уже приготовленную суспензию обоснована тем, что предварительное диспергирование осадка обеспечивает более равномерный контакт твёрдой фазы с реагентом и снижает влияние неоднородности исходного материала. Такой подход позволяет интенсифицировать массообмен и получить более стабильный и воспроизводимый прирост концентрации железа в растворе.

Согласно результатам спектрофотометрического анализа (таблица 1) наблюдалась общая тенденция к увеличению эффективности выщелачивания с ростом времени перемешивания для всех рассмотренных образцов, что дополнительно подтвердило 60 минут как наиболее оптимальное время обработки кислотой. Между тем предварительная подготовка суспензии и её последующее смешение с раствором азотной кислоты способствовало худшему выщелачиванию соединений железа из осадка станций обезжелезивания.

Таблица 1 – Результаты определения железа общего спектрофотометрическим методом

Время обработки, мин	Концентрация железа общего в растворе, г/л		Концентрация железа в пересчёте на $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$			
	Подача 15 % раствора HNO_3 в осадок	Подача 30 % раствора HNO_3 в суспензию*	Подача кислоты в осадок		Подача кислоты в суспензию	
			г/л	%	г/л	%
15	23,52	13,81	101,86	10,19	59,81	5,98
30	21,98	16,33	95,19	9,52	70,72	7,07
45	23,96	15,69	103,77	10,38	67,95	6,80
60	26,30	18,68	113,90	11,39	80,90	8,09
* Для достижения итоговой концентрации азотной кислоты 15 %.						

Данные концентрации железа общего были пересчитаны на $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Это показало, что процентное содержание нитрата железа (III) в среднем составило: при подаче кислоты в осадок – 10,37 % и при подаче кислоты в суспензию – 6,98 %. Полученные растворы могут использоваться в качестве прекурсоров железа. В дальнейшем такой раствор может применяться для модификации фильтрующих материалов с моно- и полифункциональным покрытием [2–5]. Определение эффективности выщелачивания также производилось по потере массы осадка. Таким образом, наблюдается аналогич-

ная закономерность для двух анализов (рисунки 1 и 2).

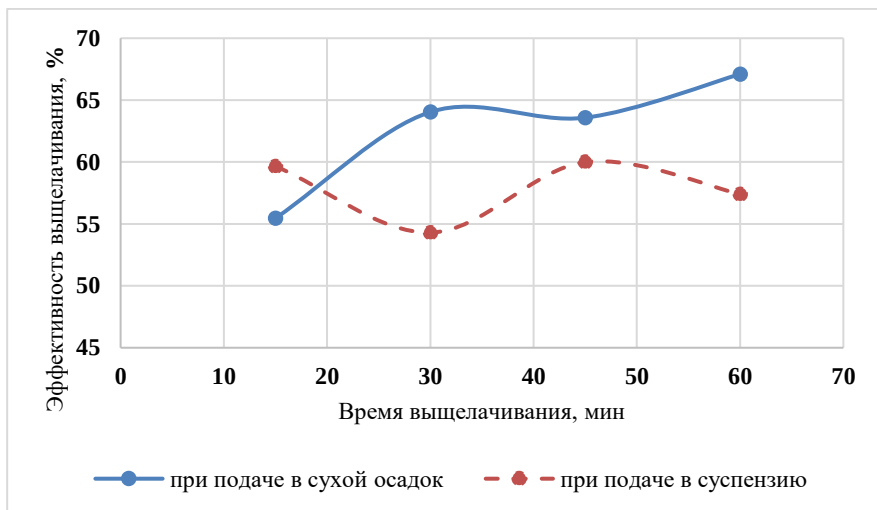


Рисунок 1 – Эффективность выщелачивания по потере массы осадка

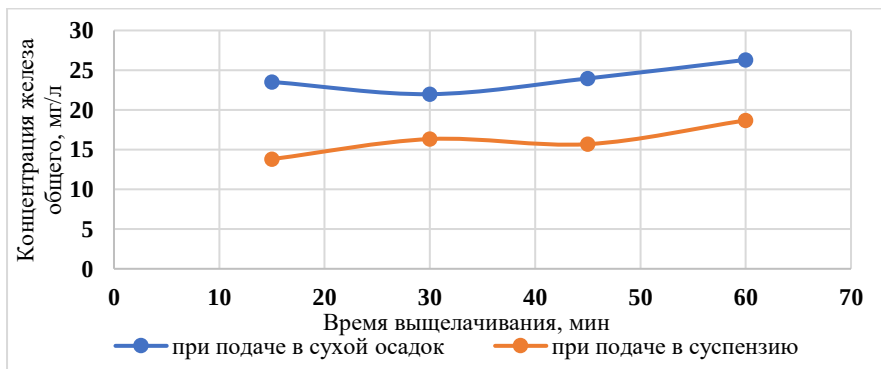


Рисунок 2 – Зависимость концентрации железа общего в растворе после выщелачивания

Выводы. Таким образом, переработка осадков станций обезжелезивания методом выщелачивания может рассматриваться как один из эффективных вариантов их использования, что также окажет позитивное влияние на состояние окружающей среды. При этом могут быть получены растворы нитрата железа заданной концентрации, которые, в свою очередь, могут применяться в различных отраслях производства. Например, одной из перспективных областей является использование данных растворов для по-

лучения модифицирующего покрытия на поверхности фильтрующего материала.

Список литературы

1 Multifunctional ZnFeO-based composite from iron sludge for photocatalytic degradation of azo, thiazine, anthraquinone dyes, formaldehyde and oil sorption from aqueous media / V. Romanovski, D. Kulichik, R. Periakaruppan, V. Palanimuthu // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Т. 77. – С. 108–355.

2 **Propolsky, D.** Iron and Manganese Removal from Groundwater: Comprehensive Review of Filter Media Performance and Pathways to Polyfunctional Applications / D. Propolsky, V. Romanovski // Environmental Science: Water Research & Technology. – 2025. – С. 17.

3 **Prapolski, D.** Recent advances in underground water deironing and demanganization: comprehensive review. Journal of Water Process Engineering. 70. 107089. / D. Prapolski, V. Romanovski. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107089>.

4 **Пропольский, Д. Э.** Фильтрующие материалы для обезжелезивания и деманганизации подземных вод: критерии подбора, разновидности и условия применения / Д. Э. Пропольский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 4. – С. 10–19.

5 **Пропольский, Д. Э.** Обзор достижений водоподготовки в области деферризации и деманганизации подземных вод / Д. Э. Пропольский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 1. – С. 18–26.

УДК 628.5

ВЛИЯНИЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Л. А. ШИБЕКА, А. Ю. ЧИГИРЬ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,
shibeka@belstu.by*

Актуальность. Молочная отрасль в Республике Беларусь занимает значимое место в структуре агропромышленного комплекса. Особенностью данной отрасли промышленности является ее интенсивное развитие. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [1], в 2025 г. хозяйствами всех категорий (сельскохозяйственными организациями, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами, хозяйствами населения) произведено 8,751 млн т молока (для сравнения: в 2020 г. – 7,753 млн т молока). Развитие молочной промышленности сопровождается увеличением объемов производственных стоков, содержащих высокие концентрации загрязняющих веществ различной природы, что создает значительную нагрузку на очистные сооружения населенных пунктов и водные экосистемы. Комплексный подход к оценке экологического риска при сбросе стоков

молокозаводов и оптимизация процессов локальной очистки сточных вод на предприятиях молочной промышленности являются необходимым условием достижения целей устойчивого развития.

Цель работы. Оценка влияния сброса сточных вод предприятий молочной промышленности на качество водных ресурсов и обосновать пути минимизации загрязняющих веществ на основе оптимизации коагуляционной обработки стоков и совершенствования технологических режимов процесса очистки.

Основные результаты. Специфика молочных стоков обусловлена большим разнообразием сточных вод по качественному и количественному составу в зависимости от вида выпускаемой продукции, а также неравномерным их образованием в течение суток. В рассматриваемых сточных водах содержится высокое количество растворенных и взвешенных загрязняющих веществ органического (жиров, белков, лактозы и др.) и минерального (хлоридов, азотсодержащих соединений и т. д.) происхождения [2], что вызывает нарушение экологического равновесия в водных экосистемах при сбросе указанных вод в природные объекты.

Сброс недостаточно очищенных сточных вод молочных заводов вызывает эвтрофикацию водоемов. Особенно выражены процессы эвтрофикации в озерах и иных непроточных водоемах при поступлении в них биогенных элементов (азота и фосфора), содержащих в органических соединениях молочных стоков. Последствиями явления эвтрофикации является цветение воды в результате интенсивного развития фитопланктона, а также снижение количества растворенного в воде кислорода.

Сброс сточных вод молочных предприятий, содержащих кислые или щелочные компоненты моющих средств, нарушают pH среды в водоеме, что негативно сказывается на представителях растительного и животного мира, вызывая разрушение трофических связей и уменьшение биоразнообразия в экосистеме.

Образование токсичных соединений (аммиака, сероводорода и др.) в результате микробиологической трансформации поступающих со сточными водами загрязняющих веществ создает угрозу здоровью населения при использовании воды из водного объекта в качестве источника водоснабжения.

Комплексное воздействие всех перечисленных факторов приводит к нарушению самоочищающей способности водных экосистем, что снижает экологическую, экономическую и социальную ценность водного объекта.

Для минимизации поступления в природные водоемы загрязняющих веществ со сточными водами молочных предприятий необходимо руководствоваться принципами концепции устойчивого развития. В первую очередь необходимо предусмотреть мероприятия, направленные на предупреждение загрязнения путем внедрения наилучших доступных технических методов.

Далее рассмотреть направления оптимизации процессов водопользования путем использования побочных продуктов производства молочной продукции (сыворотки, пахты и др.) для выпуска новых товарных продуктов, многократного применения моющих растворов и т. д. Одним из вариантов решения рассматриваемой проблемы является совершенствование процессов очистки сточных вод с возможностью создания водооборотных циклов.

Комплексная реализация указанных направлений позволит снизить антропогенную нагрузку на водные ресурсы и обеспечить экологическую безопасность молочной отрасли.

Анализ практической реализации перечисленных направлений свидетельствует о том, что большое внимание уделяется вопросам создания на промышленных предприятиях по изготовлению молочной продукции эффективных сооружений локальной очистки сточных вод. Зачастую такие сооружения предусматривают многоступенчатую обработку воды с применением процессов отстаивания, фильтрования, коагуляции, флотации, электрохимической обработки, биологической очистки сточных вод [3].

В работе проведены исследования по применению коагуляционной обработки для очистки сточных вод молочного предприятия. В опытах использовали водный раствор хлорида железа (III), выступающего в роли коагулянта. Концентрация реагента в исследуемых пробах изменялась в диапазоне 50–450 мг/дм³. После дозирования реагента пробы перемешивали и выдерживали в течение часа для осуществления гравитационного разделения. Степень очистки сточных вод определяли фотометрическим методом путем измерения оптической плотности исходного и обработанного растворов. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность очистки сточных вод

Показатель	Номер пробы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доза коагулянта, мг/дм ³	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Степень очистки, %	76,1	65,3	65,6	78,2	80,4	70,0	81,7	79,8	82,0

Результаты исследований свидетельствуют о том, что максимальная эффективность очистки сточных вод (82,0 %) наблюдается при введении дозы коагулянта в количестве 450 мг/дм³ воды.

Выводы. Установлено, что поступление недостаточно очищенных сточных вод молочных заводов в водные объекты вызывает значительные негативные последствия в природных водоемах. Показано, что для минимизации поступления загрязняющих веществ со сточными водами молочных предприятий в водные экосистемы необходимо применять комплекс мероприятий, затрагивающих организационные, технологические и природоохранные аспекты производственной деятельности предприятий молочной

промышленности. Результаты исследований свидетельствуют о том, что коагуляционная обработка сточных вод позволяет снизить содержание загрязняющих веществ в стоках молочных предприятий.

Список литературы

1 Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. буклет // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/dcb/x5yi51ug3mxns384kiqbvxynwhh1r1db.pdf> (дата обращения: 25.02.2026).

2 **Захарко, П. Н.** Устойчивое водопользование на основе регулирования водопотребления, водоотведения, качества сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов / П. Н. Захарко, С. А. Дубенок // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2022. – № 2. – С. 88–101.

3 **Семенов, В. В.** Очистка сточных вод молочной промышленности / В. В. Семенов, А. Н. Луговкин // Молочная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 26–29.

Научное издание

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ
И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 19 марта 2026 г.)

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. Л. Федькова*

Подписано в печать 08.07.2026 г. Формат 60х84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,95. Тираж 30 экз.
Зак. № 1147. Изд. №. 19.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель