

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 20 марта 2025 г.)

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

Гомель 2025

УДК 628:543.3
ББК 38.761
В62

Редакционная коллегия:

Е. Ф. Кудина (отв. редактор), **О. К. Новикова** (зам. отв. редактора)
А. М. Ратникова (отв. секретарь)

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В. А. Гольдаде* (ГТУ им. Ф. Скорины)
д-р техн. наук, профессор *А. С. Неверов* (БелГУТ)

Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Меж-
В62 дунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 20 марта 2025 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,
2025. – 210 с.

ISBN 978-985-891-216-1

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 978-985-891-216-1

Оформление. БелГУТ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

<i>Андреюк С. В.</i> Исследование технологической эффективности городских канализационных очистных сооружений	6
<i>Горелая О. Н.</i> Корреляционный и регрессионный анализ параметров синтеза и свойств сорбционных материалов из железосодержащих осадков.....	10
<i>Кудина Е. Ф., Ефимчик К. В.</i> Современные подходы в моделировании изделий из композиционных материалов	14
<i>Портной Е. Е.</i> Система индикаторов для проведения оценки архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий	18
<i>Роденко А. В., Лисица Е. А., Гордеев С. В.</i> Канализационная насосная станция с предварительной очисткой	21
<i>Савич В. В., Тарайкович А. М., Вербицкий Д. Ю., Голодок Р. П., Пилиневич Л. П.</i> Бытовые фильтры для питьевой воды. Маркетинговый ход или осознанная необходимость?	23
<i>Семёнов В. В., Луговкин А. Н., Павлович И. В.</i> Очистка сточных вод в молочной промышленности	38

Секция 1 Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения

<i>Ануфриев В. Н., Волкова Г. А.</i> Удаление соединений фосфора реагентными методами при очистке сточных вод	44
<i>Белоусова Г. Н.</i> Совершенствование технологии строительства и ремонта очистных сооружений.....	49
<i>Бракоренко А. А.</i> Современные методы цифровизации водоканалов, последовательность осуществления цифровизации	54
<i>Велого Е. С., Юценко В. Д.</i> Использование цеолитовых загрузок для очистки исходного состава подземных вод малых населенных мест Витебского региона	57
<i>Голомидова К. М.</i> Автоматизация управления системами водоснабжения, тепло-снабжения и вентиляции на базе технологий умного дома	61
<i>Грищенко А. В.</i> Инновационные технологии в области очистки сточных вод.....	63
<i>Денищик А. И., Голод Ю. В.</i> Анализ причин и последствий поступления дополнительного притока воды в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов.....	66
<i>Дунин Я. А.</i> Инновационные технологии в очистке сточных вод от нефтепродуктов ..	69
<i>Евдокимова А. В.</i> Анализ эффективности работы очистных сооружений малых населенных пунктов Республики Беларусь.....	72
<i>Евдокимова А. В.</i> Применение современных технологий при реконструкции очистных сооружений малых населенных пунктов.....	75
<i>Журо К. В.</i> Анализ методов расчета аэрационных сооружений с активным илом ..	77
<i>Зимич А. М.</i> Проектирование объектов инженерных систем.....	81
<i>Киргинцева С. В., Можаровский В. В.</i> Методики определения скорости волны при гидроударе в двухслойных ортотропных трубах.....	84
<i>Коваленко В. Н.</i> Интеграция цифровых платформ специализированных служб и предприятий ЖКХ в единую геоинформационную систему города	87

<i>Ковалёва О. В., Осипенко Г. Л.</i> Сброс загрязняющих веществ в составе сточных вод на территории Гомельской области.....	89
<i>Кориунова В. Ю.</i> Применение ГИС для проектирования сетей водоснабжения: возможности и преимущества геоинформационных систем.....	91
<i>Кузьминская Е. И.</i> Противопожарное водоснабжение малых населенных пунктов ...	94
<i>Мальцева Д. В.</i> Особенности применения металлопластика и полипропилена для прокладки внутреннего водоснабжения.....	97
<i>Мушинская А. Д.</i> Технологии очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий.....	100
<i>Новикова О. К., Роденко А. А., Нестеренко Е. Ю.</i> Основные направления реконструкции городских очистных сооружений.....	103
<i>Папков А. В.</i> Модернизация систем канализации Гомельского района.....	106
<i>Поташко Д. В.</i> Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Житковичи.	109
<i>Ратникова А. М., Сивакова Н. В.</i> Оптимизация работы станций водоподготовки в малых населенных пунктах.....	112
<i>Роденко А. А.</i> Рекомендации по реконструкции очистных сооружений г. Владикавказа.....	115
<i>Рулевич А. В.</i> Обследование и оценка эффективности работы очистных сооружений города Ельска.....	118
<i>Середа Н. П.</i> Повышение энергоэффективности насосных станций третьего подъема.	120
<i>Слепцова В. И.</i> Рекомендации проведения строительных работ при перепланировке производственных помещений.....	123
<i>Слепцова К. А.</i> Разработка рекомендаций по организации отведения поверхностных сточных вод предприятий машиностроения.....	126
<i>Степанов С. В., Авдеенков П. П., Лазунин М. В., Семенов В. Н.</i> Компьютерные программы для технологического расчета канализационных очистных сооружений и моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках.....	129
<i>Чернецкая В. С.</i> Учет и экономия воды.....	133
<i>Юдин А. А.</i> Изучение воздействия реагентов на уровень удельного сопротивления уплотненного активного ила с использованием метода математического планирования эксперимента.....	135

Секция 2 Химия воды и прикладная экология

<i>Белоусова Г. Н.</i> Подготовка воды в зданиях различного назначения.....	140
<i>Вербицкий П. С.</i> Современные материалы для шумоизоляции помещений.....	143
<i>Вострова Р. Н., Малофей В. А.</i> Укрепление откосов автомобильных дорог посевом районированных трав.....	147
<i>Гапоненко Д. А.</i> Экологические факторы производства бетона.....	151
<i>Ковтун П. В., Никитенко М. Ю.</i> Экологические аспекты горизонтально направленного бурения.....	153
<i>Комаров М. А.</i> Высокопрочное гипсовое вяжущее на основе синтетического гипса, синтезированного из осадка коагуляции поверхностных вод.....	156
<i>Комаров М. А., Короб Н. Г., Каравацкая К. С.</i> Оценка воздействия дезинфицирующих веществ на окружающую среду.....	159
<i>Комиссарова К. М., Макеев В. В., Дударева А. В.</i> Определение содержания углерода в органических загрязнителях для создания метода контроля концентрации общего органического углерода в воздушных пробах.....	161

<i>Коновалов С. Ю.</i> Композиционные материалы на основе реактопластов	165
<i>Кудина Е. Ф., Турсунов Н. К., Приходько И. В., Курицын П. А., Токарь С. В., Dasic P.</i> Оптимизация эксперимента методом симплекс-решетчатого планирования	169
<i>Курлович П. Г.</i> Технологии в системах водоснабжения	173
<i>Лапкина Е. В.</i> Аналитическое определение ионов в сточных водах гальванического производства	175
<i>Лемешевская А. В.</i> Использование солнечных батарей для обогрева фундамента по типу «Утепленная шведская плита»	178
<i>Лицкевич А. Н., Костюченко Н. Н., Кутаева Л. А., Чирук Л. И.</i> Качество питьевых вод децентрализованных источников водоснабжения	182
<i>Невзорова А. Б.</i> Общие подходы по управлению и планированию очистки плас- товой воды	187
<i>Попов П. Г.</i> Обзор современной нормативно-законодательной базы РФ требуемых ПДК водных объектов	190
<i>Пропольский Д. Э.</i> Содержание железа и марганца в подземных водах Республики Беларусь	194
<i>Стрелева З. В., Дрозд К. С., Бардюкова А. В.</i> Определение удельной активности RU-238,239+240 на различных стадиях радиохимического разделения	197
<i>Студеникина Л. Н., Савина А. А., Поваляева Т. Р., Мельников А. А.</i> Особенности влияния поливинилового спирта на биоценоз активного ила	201
<i>Шафорост К. Н.</i> Анализ современных методов изучения состояния окружающей среды	204
<i>Юденкова Е. А., Яшина Т. В.</i> Оптимизация ресурсов при применении биобето- нов в строительстве	208

УДК 628.35

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГОРОДСКИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

С. В. АНДРЕЮК

*Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь
svandreyuk@g.bstu.by*

Актуальность. В мероприятиях по повышению эффективности и надежности работы производственных и коммунальных очистных сооружений всех видов исключительно большое значение имеют систематический контроль и количественная оценка фактической эффективности и надежности работы сооружений в практических условиях эксплуатации.

Исследованиями последних лет установлено, в частности, значительное влияние конструктивных форм и режимов эксплуатации аэротенков на эффективность и надежность аэробной биологической очистки сточных вод активным илом. Под влиянием этих факторов складывается гидравлический режим потока в аэротенке, который, в свою очередь, влияет на режим питания микроорганизмов активного ила органическим субстратом, на селекцию микроорганизмов и осаждаемость активного ила.

Повышение эффективности и надежности работы действующих очистных сооружений имеет важное значение.

Особый интерес представляет реконструкция очистных сооружений, когда при относительно небольших капитальных вложениях удастся получить существенное повышение эффективности очистки и надежности работы очистных сооружений. Актуальной остается проблема эвтрофикации водоемов, решением которой является строительство новых или реконструкция действующих сооружений канализации путем внедрения технологии глубокого удаления соединений азота и фосфора.

Для обеспечения экологической безопасности водных объектов в Республике Беларусь разработаны нормативные документы, в которых установлены ПДК загрязнений в воде водных объектов, а также разработан порядок установления нормативов допустимых сбросов веществ в составе сточных вод, отводимых в водные объекты. При этом большое значение придается качеству очищенных сточных вод по соединениям азота и фосфора.

Цель работы – определение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста путем сопоставления проектных показателей степени очистки сточных вод с фактическими (одновременное достижение проектных и нормативных показателей возможно с выполнением правил технической эксплуатации сооружений водопроводно-канализационного хозяйства); исследование техно-логической эффективности работы действующих сооружений канализации путем анализа и расчета технологических параметров, характеризующих нормальную работу этих сооружений.

Основные результаты. Проектная производительность брестских городских очистных сооружений канализации, которые были введены в строй в шестидесятые года прошлого столетия, составляла 135000 м³/сут. Очистные сооружения были рассчитаны на полную биологическую очистку сточных вод с доочисткой на биологических прудах. В связи с увеличением нагрузки по азоту и фосфору [1], а также с введением более жестких требований по качеству очищенных сточных вод перед сбросом в водоток [2] назрела острая необходимость в реконструкции существующих очистных сооружений с реализацией в них технологии совместного удаления органических загрязнений и соединений азота и фосфора с достижением показателей качества очищенных сточных вод экологических стандартов РБ [3, 4].

При использовании технологии глубокого удаления азота и фосфора биологическим методом предполагается искусственное создание различных зон, которые по степени обеспеченности кислородом делятся на три основные: зону анаэробной обработки смеси ила и сточных вод; аноксидную зону для денитрификации; оксидную (аэробную) зону для проведения нитрификации и аэробной очистки от органических веществ (рисунок 1).

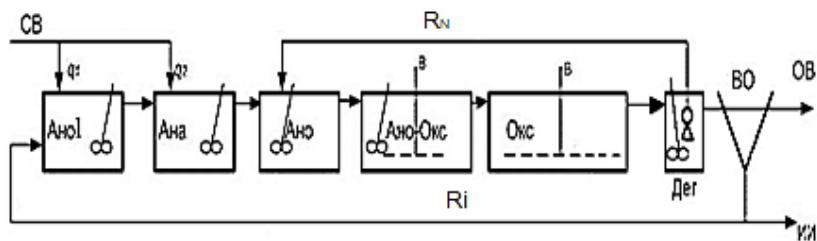


Рисунок 1 – Йоханнесбургский процесс, внедренный на Брестских очистных сооружениях канализации: Ано – аноксидная зона 1; Ана – анаэробная зона; Окс – оксидная зона; Ано-Окс – переходная зона; Дег – зона дегазации; ВО – вторичный отстойник; СВ – подача сточных вод; ОВ – очищенная вода; ИИ – избыточный ил; В – подача воздуха; Ri – рециркуляция активного ила; Rn – рециркуляция иловой смеси

В мировой практике существует ряд схем сочетания анаэробных, аноксидных и оксидных зон, предложенных для глубокого удаления биогенных элементов из сточных вод. В настоящее время на очистных сооружениях канализации г. Бреста прошла модернизацию механическая очистка сточных вод с установкой современного оборудования, в аэротенках внедрена схема биологического удаления азота и фосфора по принципу Йоханнесбургского процесса (JNB) (см. рисунок 1), проведена реконструкция вторичных отстойников.

Технологией JNB предусмотрено использование нескольких функциональных зон, которые соответствуют различным режимам. Данная технология может быть реализована как при реконструкции существующих сооружений, так и при проектировании новых.

В результате теоретических и экспериментальных исследований, статистической обработки эксплуатационных данных была проведена оценка надежности и установлена эффективность проведенных мероприятий по реконструкции очистных сооружений со сравнением качественного состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения г. Бреста и выпускаемых в водный объект после очистки за период с 2019 по 2021 гг. (таблица 1, рисунок 2).

Согласно эксплуатационным данным, в результате реконструкции обеспечивается эффект очистки по загрязняющим веществам от 81 до 96 %.

Таблица 1 – Технологические показатели работы городских очистных сооружений канализации г. Бреста в период реконструкции

Год	Место отбора проб	Значение показателей, мг/дм ³			Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³		
		ХПК _{Cr}	БПК ₅	Взвешенные вещества	Аммоний-ион	Азот общий	Фосфор общий
2019	Вход	875,5	310,6	298,9	49,7	58,1	6,7
	Выпуск	160,3	49,5	67,4	22,3	32,9	3,9
	Эффект очистки, %	82	84	77	55	43	42
2020	Вход	933,2	306,9	312,9	51,7	59,2	5,9
	Выпуск	69,7	17,4	18,9	16,8	24,8	3,0
	Эффект очистки, %	93	94	94	68	58	50
2021	Вход	1000,3	306,3	310,3	51,0	61,0	7,2
	Выпуск	53,1	10,8	15,1	7,0	9,0	1,2
	Эффект очистки, %	95	96	95	86	85	83
Норматив допустимого сброса по [2]		70	15	20	10	20	2,0

Окончание таблицы 1

Год	Место отбора проб	Средняя концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³		
		Нефтепродукты	СПАВан	Фосфор фосфатный
2019	Вход	1,762	1,670	6,073
	Выпуск	0,504	0,462	3,532
	Эффект очистки, %	71	72	42
2020	Вход	1,783	1,723	5,530
	Выпуск	0,347	0,360	2,641
	Эффект очистки, %	81	79	52
2021	Вход	1,785	1,738	6,440
	Выпуск	0,334	0,335	1,000
	Эффект очистки, %	81	81	84

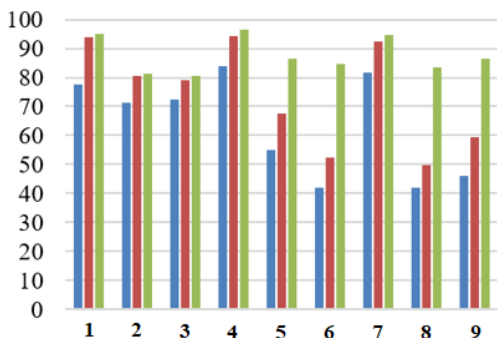


Рисунок 2 – Технологическая эффективность, %, работы очистных сооружений канализации г. Бреста по результатам реконструкции в 2019–2021 гг.:

1 – взвешенные вещества; 2 – нефтепродукты; 3 – СПАВан;
4 – БПК₅, мг О₂/л; 5 – азот аммонийный; 6 – фосфор фосфатный; 7 – ХПК_{cr}, мг О/л;
8 – фосфор общий; 9 – азот общий

Выводы. Внедряемая технология удаления азота и фосфора по Йоханнесбургскому процессу на Брестских очистных сооружениях канализации позволила в целом улучшить экологическую обстановку в городе. На современном этапе эксплуатации наблюдается высокий эффект очистки сточных вод по всем показателям.

Реконструкция очистных сооружений канализации г. Бреста с внедрением технологии глубокого удаления азота и фосфора позволила достичь концентраций загрязняющих веществ по азоту общему 9,0 мг/л при эффекте очистки 85 %, по фосфору общему 1,2 мг/л при эффекте очистки 83 %.

Процессы удаления из очищенных сточных вод биогенных элементов взаимосвязаны, поэтому при эксплуатации сооружений необходимо грамотно и качественно организовывать контроль основных параметров, чтобы

избежать нарушения технологического процесса и ухудшения эффективности очистки.

Список литературы

1 **Андреюк, С. В.** Экологическое образование и воспитание при сотрудничестве вуза с производственными организациями / С. В. Андреюк, В. А. Бурко // Экологическое образование и устойчивое развитие. Состояние, цели, проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч.-метод. конф., 2–3 марта 2023 г., г. Минск : электронный сборник / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. – М., 2023 – С. 131–133.

2 О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва прир. рес. и охраны окр. среды Респ. Беларусь, 26 мая 2017 г., № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://etalonline.by/document/?regnum=w21732141&q_id=3849986 (дата обращения: 17.01.2025).

3 **Каперейко, Д. В.** Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полещук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы IX Всероссийской (с международным участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей, Волгоград, 18–23 апр. 2022 г. / М-во науки и высшего образования РФ, Волгогр. гос. техн. ун-т ; под ред. Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой. – Волгоград, 2022. – С. 40–42.

4 **Акулич, Т. И.** Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитриденитрификации на действующих аэротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреюк, А. И. Морозова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : материалы Междунар. науч.-экол. конф., посвящ. Году науки и технологий / КубГАУ; сост.: В. В. Корунчикова, Л. С. Новополицева ; под ред. И. С. Белоченко. – Краснодар, 2021. – С. 422–425.

УДК 628.169:66.081

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА И СВОЙСТВ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ

О. Н. ГОРЕЛАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
glesya@bsut.by*

Актуальность. Производственные и поверхностные сточные воды, содержащие в своем составе нефтепродукты и близкие к ним по свойствам масла, на сегодня остаются источником антропогенного загрязнения окружающей среды. Наиболее сложными для очистки являются остаточные концентрации нефтепродуктов. Достаточно большой опыт, накопленный для оптимального решения этой проблемы, как правило, сводится к использованию сорбционных материалов [1–3]. Основываясь на актуальности еще

одного не менее важного направления – вовлечения в хозяйственный оборот отходов различных производств, авторами [4, 5] предложено использование отходов станций водоподготовки – железосодержащих осадков от фильтров обезжелезивания. В результате были получены новые сорбционные материалы. Для определения свойств образцов данных сорбентов определены их основные характеристики: нефтеемкость (НЕ, г/г), полная статическая обменная емкость (ПСОЕ, мг/г), удельная поверхность по метиленовому голубому (МГ) ($S_{уд.МГ}$, м²/г) и удельная поверхность по сорбции азота методом Брунауэра – Эмметта – Теллера (БЭТ).

Цель работы – статистическая обработка результатов эксперимента, позволяющая объективно оценить взаимосвязи между исходными заданными параметрами (использование различных восстановителей для синтеза новых сорбентов, изменение соотношений окислителя и восстановителя, изменение температуры синтеза) и полученными данными по каждой из оцениваемых характеристик.

Основные результаты. Для синтеза новых сорбентов использовалось четыре различных восстановителя (глицин, мочевины, лимонная кислота и гексаметилентетраамин) при различных температурах синтеза (от 300 до 700 °С с шагом 100 °С) [4, 5]. При этом соотношение окислителя и восстановителя было выбрано 1 : 1 ($f = 1$).

Экспериментальные данные обрабатываются на ПЭВМ с помощью прикладных пакетов EXCEL, MathLab, STATISTICA. Математическая обработка результатов экспериментов проводится при принятом допущении о распределении данных по нормальному закону и доверительной вероятности, равной 0,95. При измерении характеристик используется среднее арифметическое значение как минимум трех испытаний.

В качестве первичной обработки массива данных для определения наличия линейной связи между переменными (в качестве переменных рассматривались вид восстановителя и температура синтеза, в качестве функции – данные, полученные в результате проведенных опытов для определения различных характеристик полученных образцов наносорбента), а также оценки ее тесноты и статистической значимости выполнен корреляционный анализ Пирсона. Результаты представлены в виде корреляционной матрицы Пирсона на рисунке 1.

При анализе корреляционной матрицы Пирсона для образцов, синтезированных при соотношении окислитель к восстановителю 1 : 1 (см. рисунок 1), выявлены сильные зависимости ($|r| > 0,7$) между рядом параметров. В частности, нефтеемкость демонстрирует значительную корреляцию с восстановителем (B), что указывает на влияние химического состава восстановителя на сорбционные свойства образцов. Аналогично параметры сорбции метиленового голубого и удельной поверхности также показывают сильную связь с восстановителем, а температура синтеза (T) вносит вклад в формирование их значений. Это подтверждается полученными уравнениями

регрессии, в которых квадратичные и смешанные члены (B^2 , BT) оказывают заметное влияние на величину сорбционных характеристик. Общая тенденция указывает на оптимизацию свойств при определенном сочетании восстановителя и температуры, что согласуется с ранее проведенными исследованиями.

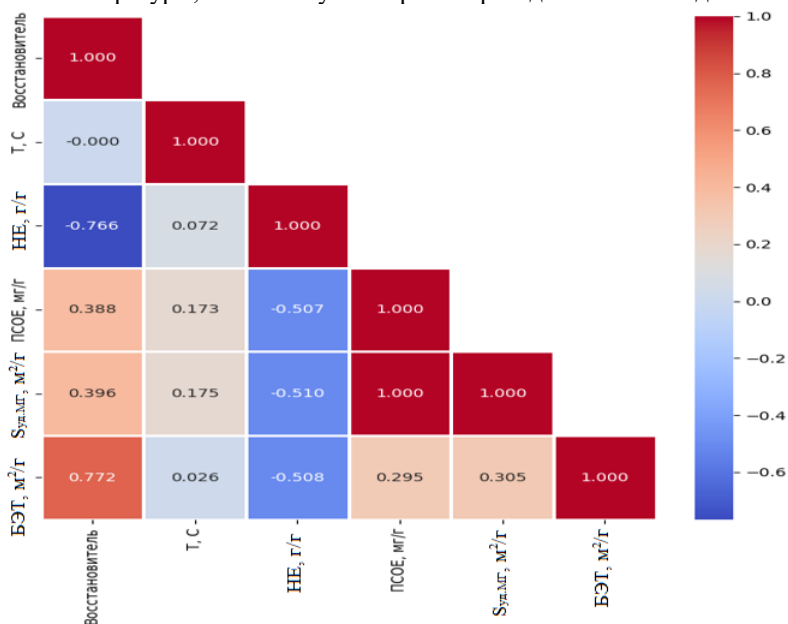


Рисунок 1 – Корреляционная матрица Пирсона (при $f = 1$)

Из полученных данных видно, что B оказывает значительное влияние на все исследуемые параметры. Высокая корреляция с HE , удельной поверхностью (и по $БЭТ$, и по $МГ$) и $PCOE$ указывает на ключевую роль выбора восстановителя в формировании структуры материала. Также следует отметить, что T играет свою роль в значениях сорбционных свойств материалов. Влияние температуры проявляется как в линейных, так и в квадратичных членах уравнений регрессии. С увеличением температуры наблюдается рост удельной поверхности по $МГ$ и $БЭТ$ до определенного порога, за которым начинается ее снижение, что может быть связано с агломерацией частиц, и, соответственно, снижение их удельной поверхности.

В результате регрессионного анализа получены модели регрессии: полиномиальные уравнения с высокими значениями коэффициентов детерминации, позволяющими говорить о сильной связи значений, полученных по модели и реальными измеренными (рисунок 2):

$$E = 8,9422 - 6,7377B + 0,0117T + 1,2230B^2 - 0,0018BT; R^2 = 0,9113;$$

$$\text{ПСОЕ} = -25,8771 + 14,2898B + 0,1031T - 3,0650B^2 - 0,0173BT - 0,0002T^2 + \\ + 0,1467B^3 + 0,0028B^2T; R^2 = 0,8222;$$

$$S_{\text{уд.МГ}} = -1033,3734 + 554,8235B + 4,1655T - 115,7425B^2 - 0,6864BT - \\ - 0,0064T^2 + 4,9533B^3 + 0,1098B^2T; R^2 = 0,8249;$$

$$\text{БЭТ} = -96,1536 - 34,0000B + 0,6744T + 8,2500B^2 + 0,0365BT - 0,0008T^2; \\ R^2 = 0,7884.$$

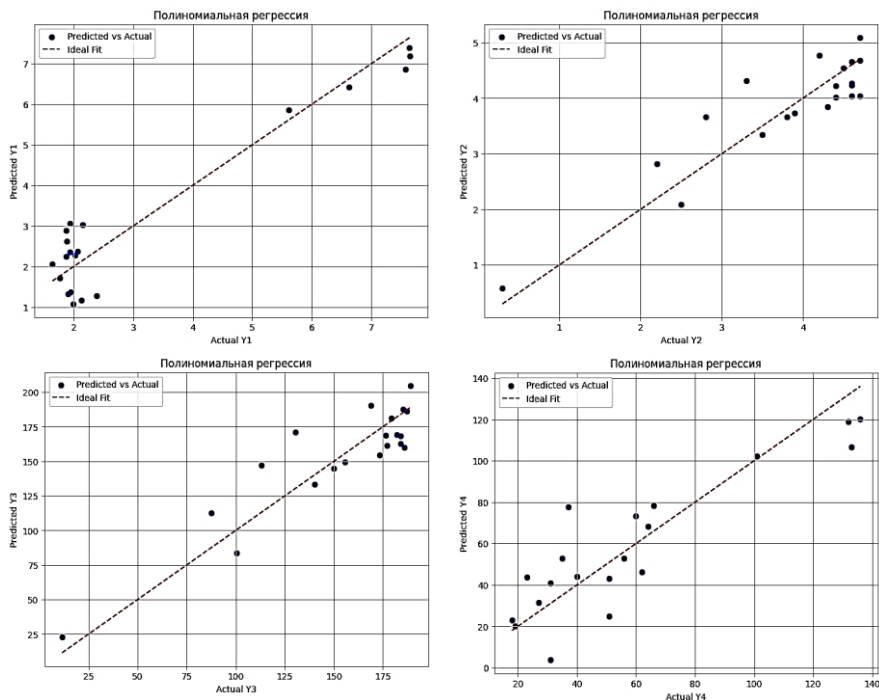


Рисунок 2 – Связь значений, полученных по модели и реальными измеренными

Выводы. Статистическая обработка результатов определения различных характеристик сорбционных материалов, синтезированных методом экзотермического горения в растворах, позволило оценить устойчивые зависимости между различными параметрами. Установлено, что значительную взаимосвязь между нефтеемкостью и удельной поверхностью по БЭТ играет выбор восстановителя.

Уравнение регрессии дает возможность оценить влияние каждой независимой переменной на прогнозируемые значения, включая коэффициент регрессии для каждой независимой переменной. Регрессионный анализ

подтверждает с высокой точностью связи независимых и зависимых переменных с возможностью предсказать значения зависимой переменной.

Список литературы

1 **Gruzinova, V.** Optimizing Oil-Contaminated Wastewater Purification with Polypropylene Thread Waste / V. Gruzinova, V. Romanovski // Waste and Biomass Valorization. – 2024. – Vol. 16 (5) – P. 2521–2533.

2 **Грузинова, В. Л.** Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2 (86). – С. 62–65.

3 **Романовский, В. И.** Оценка экономической эффективности применения промышленных отходов в технологии очистки сточных вод локомотивных депо от нефтепродуктов / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2013 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.

4 **Горелая, О. Н.** Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

5 **Горелая, О. Н.** Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.

УДК 621.762.001.2

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК

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

Актуальность. В настоящее время большое внимание уделяется полимерным композиционным материалам (ПКМ). Из них изготавливают изделия с уникальными свойствами и высокими эксплуатационными характеристиками. При получении деталей из ПКМ нужно учитывать не только их будущие высокие эксплуатационные характеристики, но и специфику их переработки (утилизации) с сохранением экологической безопасности. В противном случае преимущества высоких прочностных свойств ПКМ могут быть перевешены негативными последствиями для экологии [1].

Цель работы – обзор современных систем инженерного анализа для моделирования изделий из ПКМ, а также возможность их применения в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Основные результаты. Современные системы инженерного анализа – CAE (Computer Aided Engineering) – обеспечивают решение задач анализа частоты, усталости; линейного и нелинейного статистического и динамического анализа; устойчивости; температурного анализа; испытаний на ударную нагрузку и др. CAE применяются совместно с CAD-системами компьютерного геометрического моделирования (Computer Aided Design). CAD-системы применяют в целях создания 3D моделей и получения из них чертежей. Часто CAE интегрируются в CAD, образуя гибридные CAD/CAE-системы [2].

На рисунке 1 изображено распределение CAE-систем по сферам применения.

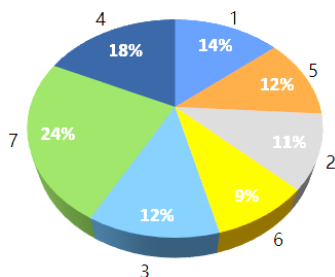


Рисунок 1 – Сферы применения CAE-систем:

1 – автомобильная промышленность; 2 – химическая промышленность; 3 – другое;
4 – машиностроение; 5 – аэрокосмическая промышленность; 6 – образование; 7 – электроника

На рисунке 2 представлен объем использования CAE-систем ведущими мировыми компаниями.

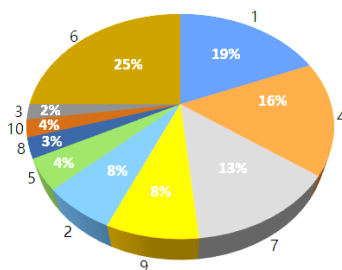


Рисунок 2 – Объем использования ведущими мировыми компаниями CAE-систем:

1 – ANSYS; 2 – Altair; 3 – Autodesk; 4 – Dassault Systems; 5 – MSC Software; 6 – другое;
7 – Siemens PLM; 8 – ESI group; 9 – Mathworks; 10 – Cybemet

На военно-транспортном факультете в УО «Белорусский государственный университет транспорта» для расчета прочностных характеристик изделий и 3D моделирования применяется программа Autodesk Inventor Professional.

В настоящее время в УО «Белорусский государственный университет транспорта» произведен расчет оптимального размера элемента сборно-разборного дорожного настила (СРДН), устанавливаемого на любую твердую поверхность, который собирается с помощью замков в любую конфигурацию без использования специальной грузоподъемной техники (рисунок 3) [3].

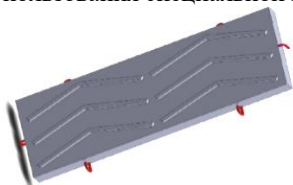


Рисунок 3 – Элемент СРДН

По формуле (1) было рассчитано давление, которое оказывает грузовой автомобиль массой 10 т с прилегающей площадью колеса 0,08 м² при проезде по элементу СРДН.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{10000 \cdot 9,81}{0,08} = 1226250 \text{ Па} \approx 1,2 \text{ МПа.} \quad (1)$$

В целях произведения расчетов с применением системы инженерного анализа Autodesk Inventor Professional была разработана 3D модель СРДН. Далее в качестве материала изделия были заданы характеристики разработанного в УО «Белорусский государственный университет транспорта» композиционного материала на основе геомодифицированных полиолефиов (рисунок 4) [4].

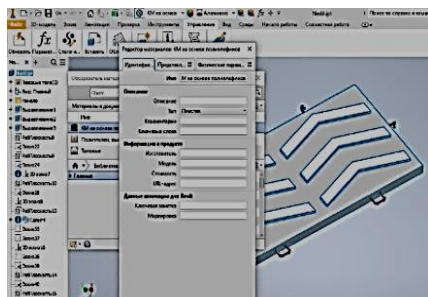
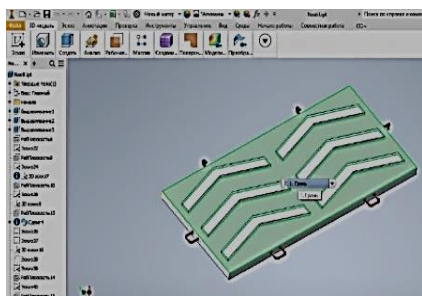


Рисунок 4 – 3D модель СРДН и выбор характеристик материала

Для измерения эксплуатационных характеристик элемента СРДН с применением системы инженерного анализа была выбрана зависимость для фиксации элемента с наименьших торцов, а также установлено давление, оказываемое при наезде колеса грузового автомобиля в соответствии с расчетами (рисунок 5).

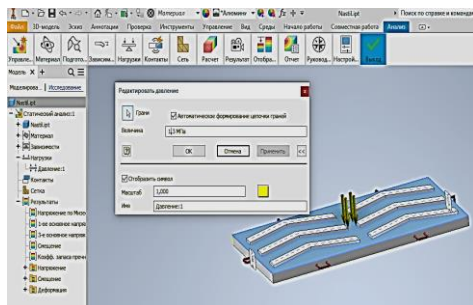


Рисунок 5 – Установка параметров в соответствии с расчетами

Для проведения точных расчетов элемент СРДН был разбит на конечные элементы с помощью сетки. После чего была определена величина смещения (прогиба) в месте приложения заданного давления (рисунок 6).

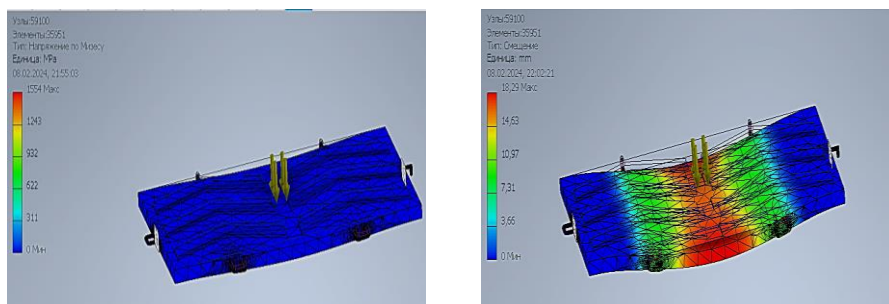


Рисунок 6 – Разбиение элемента СРДН на конечные элементы и определение величины прогиба

Необходимо отметить, что при проведении эксперимента элемент СРДН был условно зафиксирован со стороны наименьших торцов. При приложении рассчитанного давления элемент подвергается деформации, но не разрушается. Изготовленный элемент СРДН должен укладываться на полутвердый или твердый грунт, что исключает возможность его прогиба.

После проведения расчетов модель элемента была оптимизирована до размеров, которые возможно изготовить на производстве.

Выводы. Таким образом, с использованием систем инженерного анализа, таких как Autodesk Inventor Professional, можно предсказать, как будут вести себя элементы под воздействием различных нагрузок. Это позволяет сократить время, необходимое для создания нескольких экспериментальных образцов разных размеров, что ускоряет и удешевляет процесс проектирования и производства.

Список литературы

1 Восточно-европейский журнал передовых технологий : сб. науч. ст. / Частное предприятие «Технологический Центр» ; редкол.: Д. А. Демин (гл. ред.) [и др.] – Харьков : Технологический Центр, 2016. – 912 с.

2 **Ефимчик, К. В.** Моделирование изделий из порошковых материалов с использованием современных систем инженерного анализа / К. В. Ефимчик, Е. Ф. Кудина // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы Междунар. конф., посвященной 50-летию основания Государственного научного учреждения «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», г. Минск, 14–16 сент. 2022 г. / Ин-т порош. металлургии им. акад. О. В. Романа. – Минск : Беларуская навука, 2022. – С. 183–188.

3 Заявка № a20230136. Сборно-разборный дорожный настил : заявл. 01.06.2023 / Ефимчик К. В., Кудина Е. Ф., Поддубный А. А.

4 Патент ВУ 24427. Композиционный песчано-полимерный материал конструкционного назначения : опубл. 01.11.2024 / Ефимчик К. В., Поддубный А. А., Кудина Е. Ф., Доломанюк Р. Ю.

УДК 72

СИСТЕМА ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЙ

Е. Е. ПОРТНОЙ

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

Актуальность. Архитектурно-планировочную реабилитацию загрязнённых радионуклидами территорий можно условно разделить на следующие этапы: рекогносцировочный; подготовительный; аналитический; этап разработки плана архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий, реализации и эксплуатации (рисунк 1). Проводя рекогносцировочный этап, необходимо установить оценочную систему (индикаторы) для измерения результата проведённой реабилитации, так как без возможности количественной оценки анализ является лишь мнением.

Цель работы – анализ и подбор системы индикаторов, которые наиболее полно будут отражать эффективность реабилитационных мероприятий с учётом требования об относительной легкости сбора данных. Объект исследования – теоретическая основа для архитектурной реабилитации пространств населённых пунктов Восточного Полесья. Предмет исследования – система индикаторов для проведения оценки архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий.

Основные результаты. Ранее был введён термин «архитектурно-планировочная реабилитация загрязнённых радионуклидами территорий» – процесс переустройства местности средствами архитектуры, позволяющий воспроизводить безопасную среду для устойчивого развития местного сообщества [1].

Первый этап реабилитации (см. рисунок 1), он же рекогносцировочный, включает создание группы специалистов и консультантов («совет реабилитации»), которая будет проводить подготовительный, аналитический и планировочный этапы. После чего он должен будет усилен специалистами от организаций, которые будут реализовывать и эксплуатировать обновлённые пространства.

Элементы оценочной системы подбираются исходя из формата проведения мероприятия, их масштаба, географического критерия и временного отрезка, так как некоторые результаты не могут быть выявлены сразу после завершения трансформации. Полноценный анализ возможен только по прошествии 3, 5 и 10 лет, однако первые изменения будут видны после года эксплуатации обновлённых пространств.



Рисунок 1 – Этапы проведения архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий

Характеристики выбраны в связи с основными проблемами регионального развития, которые стоят перед населёнными пунктами на загрязнённых радионуклидами территориях Республики Беларусь: снижение уровня трудового и демографического потенциала, сокращение численности занятых в экономике, низкая экономическая эффективность районных хозяйственных комплексов, осложнение ситуации с обеспеченностью населения торговыми и бытовыми услугами [2].

Демографические характеристики:

- 1 Численность населения, чел.
- 2 Численность экономически активного населения, чел.
- 3 Миграционное сальдо (Миграционная привлекательность), чел.
- 4 Темп роста населения, %, чел.

Экономические характеристики:

- 1 Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата, руб.
- 2 Выручка от реализации продукции, товаров и услуг на одного занятого, тыс. руб.
- 3 Объём инвестиций в основной капитал на одного занятого, тыс. руб.
- 4 Товарооборот общественного питания на душу населения, тыс. руб.
- 5 Туристический поток (с разделением на внутриреспубликанский и иностранный), чел.

Комфортность среды проживания:

- 1 Обеспеченность населения жильём, м² общей площади.
- 2 Рост рыночной цены недвижимости, тыс. руб.
- 3 Численность культурно-бытовых объектов, ед.
- 4 Возможность удовлетворения повседневного спроса, баллы.
- 5 Число пользователей велосипедов и других средств мобильности, чел.
- 6 Увеличение функционального разнообразия объектов, кол-во типов.
- 7 Ликвидность арендной недвижимости, руб.
- 8 Количество центров активности, ед.
- 9 Длина велодорожек, км.

Выводы. Каждый населённый пункт, который планирует проведение архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий, обладает уникальными экологическими, историческими, архитектурными и символическими параметрами, из чего следует, что и набор оценочных характеристик (индикаторов) будет уникален, и предлагаемые выше единицы учёта в целом дадут содержательную картину для городских властей и местных жителей.

Данные характеристики отображают и позволяют сверить результаты с определением реабилитации, а именно с воспроизводством безопасной среды и развитием общины. Утверждение индикаторов должно проходить в сформированной до этого группе специалистов, ответственной за проведение реабилитации – «советом реабилитации».

Список литературы

1 Малков, И. Г. Применение модели «Местечко 2.0» при архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий Восточного Полесья / И. Г. Малков, Е. Е. Портной // Архитектура : сб. науч. тр. / Белорусский национальный технический университет. – Вып. 17. – Минск, 2024. – С. 154–160.

2 Рекомендации по ускоренному социально-экономическому развитию районов Республики Беларусь, пострадавших от аварии на ЧАЭС / В. Л. Гурский, Т. С. Вертинская, Д. В. Муха [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 99 с.

УДК 628.29

КАНАЛИЗАЦИОННАЯ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКОЙ

А. В. РОДЕНКО¹, Е. А. ЛИСИЦА¹, С. В. ГОРДЕЕВ²

*¹ Общество с ограниченной ответственностью «Гефлис», г. Гомель,
Республика Беларусь, geflis2013@yandex.ru*

*² Общество с ограниченной ответственностью «Кронос Инжиниринг»,
г. Витебск, Республика Беларусь, kronos.eng21@gmail.com*

Конструктивные особенности типовых канализационных насосных станций (КНС) и изменение качественного состава сточных вод приводят к целому ряду проблем эксплуатации:

- конструктивная невозможность обеспечения безлюдной технологии;
- конструктивная невозможность надежной работы в режиме затопления;
- невозможность существующей технологической схемы обеспечить надежную эксплуатацию в ситуации повышения количества мусора в сточных водах;
- повышенная аварийность канализационных станций и связанный с этим экологический ущерб;
- требования наличия значительной санитарной зоны для обслуживания станции и борьбы с мусором.

Нерастворимые гигиенические салфетки стали настоящей головной болью для служб эксплуатации и становятся основной причиной аварийных ситуаций. Применение дробилок и насосов с резаками не дает длительной гарантии от засорения и приводит к значительным дополнительным затратам в течение жизненного цикла оборудования.

ООО «Гефлис» для защиты от засорения канализационных насосов предлагает использовать канализационные насосные станции (рисунок 1) с предварительной очисткой (патенты № 13459 BY [1], № 224641 RU [2]). Данная технология имеет многолетний положительный опыт эксплуатации и используется во всех развитых странах мира.

Сточные воды поступают в распределитель и затем в открытый резервуар предварительной очистки. Там твердые частицы удерживаются фильтрующими решетками специальной конструкции, не требующими обслуживания. Затем отфильтрованная сточная вода проходит через выключенный насос в большой, комбинированный сборный резервуар. По мере заполнения

сборного резервуара уровень воды в резервуаре предварительной очистки также повышается. Запирающий плавающий шар автоматически перекрывает впускное отверстие. При достижении настроенного максимального уровня запускается процесс перекачивания. Один из двух насосов включается и начинает перекачивать отфильтрованные сточные воды в обратном направлении. Сточные воды протекают через резервуар предварительной очистки и равномерно уносят с собой задержанные твердые частицы в напорный трубопровод. При этом решается проблема забивания напорного коллектора, т. к. алгоритм работы станции исключает образование пробок.

Таким образом, происходит промывка и очистка системы предварительной очистки твердых частиц. При достижении минимального уровня воды в сборном резервуаре работающий насос выключается. Запирающий шар падает вниз и позволяет начать новое заполнение. Так как насосы работают попеременно, то во время работы одного из них по перекачиванию стоков поступающие сточные воды проходят в сборный резервуар через второй резервуар предварительной очистки и второй насос.

ООО «Гефлис» осуществляет полный цикл работ по внедрению станций данного типа: проектирование, изготовление, монтаж, ввод в эксплуатацию, сервисное обслуживание. Производство и поставка КНС «под ключ» минимизирует временные затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию.

ООО «Гефлис» 30 лет успешно работает в области очистки сточных вод, применяя хорошо опробованные и зарекомендовавшие себя технологии, и производит широкий ассортимент технологического оборудования для решения различных технологичных задач. Компания постоянно развивается: используются новейшие материалы и технологии, расширяется ассортимент и улучшается качество обслуживания клиентов.



Рисунок 1 – Канализационная насосная станция

Применение КНС с предварительной очисткой обеспечивает эксплуатирующей организации следующие преимущества:

- обеспечивается минимальная вероятность засорения, т. к. насосы не контактируют с твердыми и нерастворимыми частицами в сточной воде;
- обеспечивается возможность использования простых дешевых насосов с небольшим свободным проходом, за счет чего требуется более низкая потребность в электроэнергии при более высоком КПД, а также снижаются эксплуатационные расходы;
- обеспечиваются гигиенические условия для технического обслуживания и выполнения монтажных работ, т. к. все элементы доступны снаружи;
- помещение для насосов чистое, сухое и без запаха;
- меньший механический износ, т. к. не происходит перекачивания твердых частиц через гидравлическую часть;
- гарантированная непрерывная надежная эксплуатация;
- допускается сокращение санитарно-защитной зоны.

Список литературы

1 Патент BY 13459. Канализационная насосная станция с предварительной очисткой : опубл. 20.04.2024 / Лисицын В. Л., Роденко А. В., Гордеев С. В.

2 Патент RU 224641. Канализационная насосная станция с предварительной очисткой : опубл. 29.03.2024 / Лисицын В. Л., Роденко А. В., Гордеев С. В.

УДК 613.31; 628.16; 644.61

БЫТОВЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ. МАРКЕТИНГОВЫЙ ХОД ИЛИ ОСОЗНАННАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ?

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

*¹Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа,
г. Минск, Республика Беларусь
office@pminstitute.by*

*²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск
savich.vadim@gmail.com*

Актуальность. Очистка воды для ее условно безопасного потребления 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. Эффективным стало рытье ямки вблизи берега водоема, реки, ручья. Вода, просачиваясь сквозь толщу земли, фильтровалась естественным образом. Конечно, вода не была чистой в современном понимании, но визуально она выглядела, по крайней мере, прозрачной. Следующим шагом стало рытье колодцев – первых гидротехнических сооружений для добыwania и получения подземных вод из первого от поверхности безнапорного водоносного пласта, вода в котором проходила очистку фильтрацией через грунт.

С развитием мегаполисов уже в Древнем мире встала проблема централизованного водоснабжения их населения. Для этого разведывались источники чистой воды, которые зачастую находились в отдалении – на расстоянии десятков километров, что побудило к строительству водопроводящих каналов и акведуков, а в самих городах – к строительству закрытых трубопроводов из керамики, дерева и свинца, который, не загрязняя воду визуально, насыщал ее токсичными соединениями.

В эпоху Средневековья централизованное водоснабжение в Европе было предоставлено на откуп мэриям и магистратам городов. Однако со второй половины XVIII века повсеместно стали использоваться отстойники и засыпные песчаные фильтры для очистки воды перед ее подачей в уличные устройства для разбора питьевой воды, что позволяло ее неплохо очищать от механических примесей.

В современных населенных пунктах вода от источников до поступления в водопроводную сеть проходит все необходимые стадии промышленной очистки на соответствующих сооружениях, подвергается постоянному тщательному химическому и микробиологическому анализу и в целом соответствует санитарным нормам. Это значит, что она не токсична и не опасна для здоровья. То есть ПДК (предельно допустимые концентрации) вредных веществ в такой воде не превышены. Да, они там могут быть, но в количествах, допустимых стандартом. Чтобы было совсем понятно: такую воду можно пить без риска умереть сразу после питья. Но такая вода может содержать остатки хлора, пестициды, другую органику. Пройдя по трубам, вода собирает коллоидное железо, оксиды железа, ионы других металлов, из которых выполнены трубы, краны, задвижки, фитинги и другая водопроводная арматура.

В [1] приведено сравнение показателей качества питьевой воды, нормируемое в Российской Федерации, в СССР, в ЕС и рекомендации ВОЗ. На выходе из коммунальных очистных сооружений вода должна соответствовать этим показателям и, в принципе, не представляет опасности для здоровья потребителей. Однако на пути к распределительным устройствам в жилье качество воды неизбежно ухудшается вследствие ряда причин.

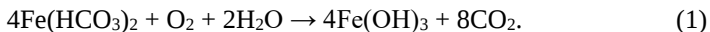
Основные результаты.

1 Вторичное загрязнение воды в водопроводных сетях

В результате транспортировки воды по водопроводным сетям качество ее ухудшается – увеличивается содержание железа в воде, повышается мутность и цветность. Указанное явление, именуемое как вторичное загрязнение, традиционно связывают с коррозионной активностью воды, которая, как правило, объясняется ее химическим составом. В ряде случаев наблюдаются увеличение концентрации железа до 1 мг/л и ухудшение качества воды по органолептическим показателям [2]. В результате биообрастания внутренние поверхности металлических трубопроводов покрываются органическими наростами и отложениями, высота которых может достигать 30–40 мм. Практика показывает [3], что 30–40 % вновь построенных металлических трубопроводов в результате образования таких наростов теряют пропускную способность на 20–60 % в течение 10–15 лет, а в некоторых случаях – даже в течение первых 4–6 лет эксплуатации. Микроорганизмы, прикрепившиеся к стенкам трубопроводов, образуют достаточно толстый слой, сокращают их проходное сечение и изменяют гидравлический режим работы водопроводной сети, что в свою очередь приводит к увеличению энергетических затрат на подачу воды потребителям, к периодическим смывам микроорганизмов, частиц оксидов железа, других металлов.

Вторичное загрязнение воды обусловлено заселением стенок трубопроводов железобактериями и неравномерностью гидравлического режима работы водопроводной сети. Железобактерии – типичные представители микрофлоры, которые выносятся из источника водоснабжения в водопроводную сеть, после чего закрепляются на стенках трубопровода. Учитывая, что поверхность трубы не является идеально гладкой, а железобактерии в большей своей части представлены нитчатыми формами, на первой стадии происходит механическое удерживание (иммобилизация) микроорганизмов. Закрепившись на стенке трубопровода, железобактерии размножаются, формируя биопленку. Низкие концентрации органических веществ, биогенных элементов и восстановленных соединений железа компенсируются условиями протока. Железобактерии окисляют двухвалентное железо (Fe^{2+}) до трехвалентного (Fe^{3+}), используют освобождающуюся при этом энергию на усвоение углерода из углекислого газа и карбонатов [4–7].

Окисление протекает по следующей реакции:



При этом энергии выделяется немного, поэтому железобактерии окисляют большое количество двухвалентного железа.

Например, род *Leptothrix*, окисляя двухвалентное железо $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ и FeCO_3 , присутствующее в водоемах, выделяет гидроокись железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, которая откладывается на поверхности клеток. При этом образуется чехол, который препятствует сообщению клеток с внешней средой. Когда чехол становится достаточно плотным и начинает препятствовать сообщению

клеток с внешней средой, они его покидают и начинают формировать новый. Даже при незначительном количестве (менее 0,3 мг/л) железа в воде (прежде всего двухвалентного) клетки микроорганизмов активно аккумулируют его, так как испытывают в нем физиологическую потребность для удаления токсичных продуктов метаболизма. Таким образом, на поверхности трубопровода появляются участки, покрытые обильными охристыми отложениями, образованными биогенным путем [5]. При резких изменениях давления и, соответственно, скоростей течения воды, а также знакопеременных потоков в водопроводной сети охристые отложения с внутренней поверхности трубы срываются, ухудшая тем самым качество воды по органолептическим показателям. В воде, протекающей по трубопроводу, содержится определенное количество кислорода. Участки трубопровода, не подвергшиеся обрастанию железобактериями, омываются водой и хорошо вентилируются. Участки под охристыми отложениями водой не омываются и поэтому аэрируются слабее, что способствует протеканию коррозии [6].

Во вторичное загрязнение воды вносят свою лепту мелкодисперсный песок и глина, попадающие в сеть через неплотности трубопроводов и арматуры [4, 7].

Основными проблемами, обусловленными качеством питьевых вод в Беларуси, являются повышенное содержание железа и марганца в воде из подземных источников, азотсодержащих соединений (нитратов, нитритов, аммиака) в воде неглубоких источников (колодцев), мутность и окраска воды, микробиологическое загрязнение воды колодцев [8].

Высокое содержание железа и марганца – это природное свойство наших подземных вод, превышение норматива по содержанию железа (0,3 мг/л) характерно для половины артезианских скважин на территории страны [8]. В то же время железо относят к веществам, присутствие которых в воде в повышенных количествах нежелательно по эстетическим и бытовым аспектам – вода становится мутной, приобретает бурую окраску и горьковатый металлический привкус. В такой воде стирка белья оставляет разводы, остаются пятна на санитарно-технических изделиях, да и на вкус и внешний вид она неприятна. Последствия же для организма наступают при более высокой концентрации: по данным ВОЗ при содержании железа до 2 мг/л (в 7 раз выше норматива) воду можно пить всю жизнь и не получить заболевания. Решают эту проблему в Беларуси с помощью массового строительства станций обезжелезивания, даже в малых населенных пунктах. В бытовых условиях железо, как правило, убирается самыми простыми фильтрами.

Жесткость воды является одним из критериев, по которому потребители судят о ее качестве. Известно, что в жесткой воде овощи и мясо развариваются плохо, она портит вид, вкус и качество чая, в жесткой воде плохо мылится мыло. Жесткость определяет отложение накипи на посуде и нагревательных элементах. Общая жесткость воды обусловлена содержанием солей кальция и магния. В основном проблема высокой жесткости характерна для воды из

глубоких водозаборов. У лиц с чувствительной тонкой кожей жесткая вода приводит к закупорке протоков сальных желез кожи и вызывает болезненную сухость и раздражение. Установлена связь очень высокой жесткости воды с мочекаменной болезнью, влияет жесткость и на изменение белково-липидного и водно-солевого обменов.

Однако и употребление очень мягкой воды неблагоприятно сказывается на здоровье. Научные данные свидетельствуют, что при ее употреблении возникают нарушения проводимости нервных импульсов в сердечной мышце, увеличивается частота и тяжесть течения сердечно-сосудистых заболеваний (ишемической болезни сердца, артериальной гипертензии). Кроме того, очень мягкие воды способствуют развитию коррозии водопроводных труб. Оптимальная жесткость питьевой воды составляет 7 мг-экв/л (в некоторых регионах допускается до 10). Такой гигиенический норматив для жесткости установлен исходя из влияния на приемлемость для потребления с точки зрения привкуса и отложения накипи.

Одной из приоритетных для Республики Беларусь является проблема загрязнения питьевой воды азотсодержащими соединениями (нитратами, нитритами, ионами аммония). Эта проблема в основном касается колодцев и артезианских скважин, подающих воду из неглубоких водоносных горизонтов. По данным санитарной службы Минздрава до 30 % проб воды из колодцев ежегодно не соответствуют нормативам по содержанию нитратов. Проникновение компонентов сельскохозяйственного загрязнения прослеживается на глубину до 14–16 м, а вниз по потоку грунтовых вод – до 1,5 км от зоны загрязнения. ВОЗ доказано, что если при концентрации нитратов в питьевой воде менее 10 мг/л основным источником поступления нитратов в организм действительно служат овощи, то при содержании нитратов в воде свыше 50 мг/л основным источником суммарного потребления нитратов является питьевая вода. Нитраты вступают в реакцию с гемоглобином в крови и лишают красные кровяные тельца возможности насыщать клетки организма кислородом. Это приводит к нарушению обмена веществ, снижению иммунитета, а при очень высоком содержании нитратов – к заболеванию, называемому метгемоглобинемией, при котором кровь полностью теряет способность переносить кислород к тканям и органам. Особенно опасно высокое содержание нитратов в воде для детей на искусственном вскармливании, беременных, людей, страдающих от заболеваний анемиями, сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, дисбактериозом кишечника, для здоровых взрослых – в меньшей степени. Гигиенический норматив для нитратов не более 45 мг на литр. Проблема нитратного загрязнения воды является актуальной еще и потому, что нитраты трудно удалить из воды обычными методами очистки, необходимо использование более совершенных дорогостоящих технологий.

Для обеззараживания питьевой воды, транспортируемой по металлическим трубопроводам, и борьбы с биообрастанием в отечественной и зарубежной

практике широко используются различные окислители, преимущественно хлор или гипохлорит натрия. Эти окислители обладают существенными недостатками – возможностью образования в виде канцерогенных и других токсических продуктов, являющихся вторичным загрязнением, инициирующим также развитие злокачественных новообразований в организме человека. Кроме того, у микроорганизмов, живущих в слое отложений на внутренней поверхности труб, вырабатывается резистентность к хлору, что свидетельствует об эпидемической опасности питьевой воды [9].

2 Основные типы бытовых фильтров

В работе [10] приведен характерный рисунок, связывающий виды загрязнений в воде и методы фильтрации, позволяющие их эффективно удалять (рисунок 1)

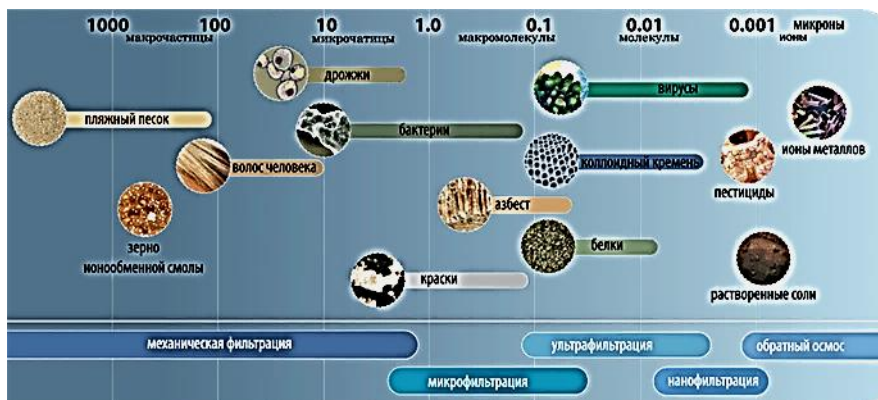


Рисунок 1 – Тонкость фильтрации различных методов очистки воды [10]

Из рисунка 1 хорошо видно, что значительную часть загрязнений можно и нужно удалять механической фильтрацией.

2.1 Механические фильтры грубой и тонкой очистки

На рисунке 2 представлена конструкция наиболее распространенного косого сетчатого фильтра грубой очистки. Такие фильтры обычно устанавливают перед счетчиками воды, предохраняя их от повреждения частицами песка, оксида железа и т. д. Тонкость очистки фильтров определяется размером ячейки сетки и составляет, как правило, 50, 80 или 100 мкм. Сетчатый фильтроэлемент обеспечивает поверхностный режим фильтрации и имеет небольшой ресурс работы до падения производительности, поэтому требует периодической регенерации обратным током либо промывкой вне корпуса. На рисунке 3 представлена конструкция самопромывного сетчатого фильтра. Его конструкция сложнее, чем у предыдущего, но позволяет на месте проводить промывку тангенциальным потоком либо обратным, в зависимости от схемы подключения. Имеются фильтры механической очистки с

объемно-пористыми картриджами, выполненными намоткой из полимерной нити, спеченные из порошка полимера, керамики или металла. Ресурс таких фильтров многократно выше, чем сетчатых, однако их регенерация затруднена, поэтому проще просто поменять картридж. При больших объемах фильтрации для механической очистки используют засыпные фильтры-колонны, в которые засыпают песок, мелкий гравий, щебень, другой гранулированный минеральный материал, часто комбинируемый с сорбентами.

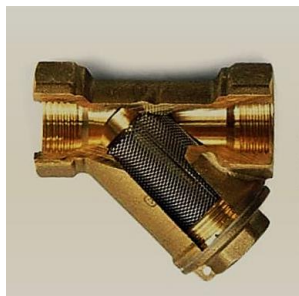


Рисунок 2 – Косой сетчатый фильтр грубой очистки. Тонкость очистки 50–100 мкм

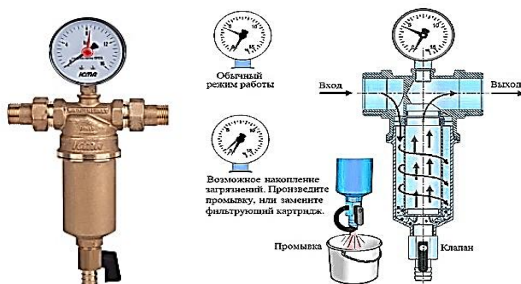


Рисунок 3 – Фильтр сетчатый самопромывной Иста 751 1/2" Ду15 Ру25 Т-образный с наружной резьбой, латунный. Тонкость очистки 50–100 мкм

2.2 Сорбционные фильтры

Первый и до недавнего времени самый распространенный сорбент – активированный уголь. Его, как впрочем и другие сорбенты, например ОДМ-2Ф – автокаталитический алюмосиликатный сорбент, используют в двух формах: гранулах размерами 0,8–2,0 или 0,7–1,5 мм либо в виде более мелких фрагментов (менее 0,6–1,0 мм), зафиксированных в объеме пористых элементов – картриджах, служащих фильтрами механической очистки.

На рисунке 4 [10] схематично представлена сепарация загрязнений из воды сорбентами.



Рисунок 4 – Схема очистки воды сорбентами [10]

На наш взгляд, сорбенты удаляют и неорганические вещества, и механические частицы. Сорбенты способны удалить неприятный привкус и запахи,

устраняют из воды хлор и побочные продукты хлорирования, эффективно удаляют многие химические вещества и газы. Но, как правило, это не влияет на общее количество растворенных твердых веществ, жесткость, тяжелые металлы и большинство бактерий и вирусов.

Гранулированный активированный уголь используется чаще всего, поскольку является основным продуктом производства. Он засыпается в большие баллоны (колонного типа), в небольшие корпуса фильтров (картриджного типа). Недостаток – он не удаляет из воды сложные хлорсодержащие соединения. При длительном использовании (более 3 месяцев) накапливает бактерии и микроорганизмы. На рисунке 5 представлена схема и внешний вид типовой станции водоподготовки с сорбционной колонной.

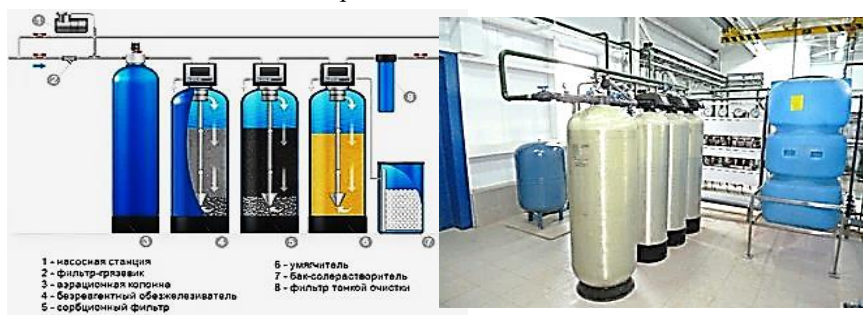


Рисунок 5 — Схема и внешний вид типовой станции водоподготовки с сорбционной колонной

2.3 Мембранные фильтры

Принцип работы мембранных фильтров прост. Вода проходит под давлением через полупроницаемую мембрану, при этом все загрязнения, превышающие размер её пор, задерживаются на поверхности фильтрующего элемента. По диапазону фильтрации различают следующие подгруппы (размер пор в мкм): «микро» – 0,5–5; «ультра» – 0,02–0,4; «нано» – 0,002–0,01. Исходя из размеров пор мембран, начиная от ультрафильтрации, мембраны удаляют не только механические частицы, коллоиды, но и бактерии, вирусы. Обратный осмос позволяет задерживать любые фракции загрязнений крупнее молекул воды. Через подобную преграду (минимальный размер отверстий 0,0001–0,0005 мкм) не проникают мельчайшие микроорганизмы, соли жесткости. Ее можно использовать как альтернативу термической дистилляции.

Основные типы мембранных фильтров:

1 Плоскостные мембранные фильтры. В качестве фильтрующего элемента используется набор плоских полимерных пленок или металлокерамических пластин, через которые проходит вода. Изначально их устанавливали в специальные плоскостные аппараты по типу фильтр-пресса, ограниченные по глубине очистки и производительности. Современные

фильтры с плоскими дисковыми мембранами применяют в основном для микрофильтрации.

2 Фильтры для воды с трубчатыми мембранами. Представляют собой корпус со встроенными в него тонкостенными трубками из пористых материалов: керамики, металла, полимеров. Его используют в основном для микро- и ультрафильтрации при условиях необходимости высокой химической, температурной или радиационной устойчивости материалов.

3 Фильтры для воды с полволоконными мембранами. Фильтры состоят из множества пористых трубочек малого диаметра. В качестве материала чаще всего используется пищевой полиэтилен, полисульфон. Размер пор составляет 0,1 мкм. Обладают компактными размерами при достаточной большой площади фильтрации. Однако быстро забиваются и требуют качественной предварительной очистки воды.

4 Фильтры для воды с рулонными мембранами и установки обратного осмоса. Мембранный элемент рулонного типа (рисунок 6) представляет собой дренажную трубку, на которую наматывается многослойный пористый материал, закрытый с двух сторон специальными прокладками.

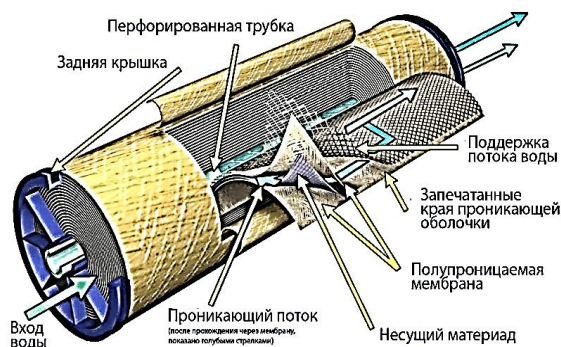


Рисунок 6 – Мембранный элемент рулонного типа

Такой вид мембраны применяют в основном для установок обратного осмоса. Большая площадь фильтрации и диаметр пор менее 0,0001 мкм позволяют получить практически идеальную дистиллированную воду. Это оборудование успешно применяется в промышленности для водоподготовки и обеспечения технологических процессов, опреснения морской воды и стерилизации растворов. Бытовые системы обратного осмоса достаточно компактны. Однако для защиты чувствительного мембранного элемента от забивания и повреждений необходима предварительная водоподготовка.

Если обратноосмотическая установка используется для получения питьевой воды, то рекомендуется дополнительно устанавливать специальный картридж для нормализации её минерального состава. Также специалисты рекомендуют делать замену обратноосмотической мембраны не реже, чем раз в 3 месяца.

Представляет интерес новое поколение фильтров с промывными мембранами из структурированного титана (рисунок 7). Фильтры с промывными титановыми мембранами применяются как для водоподготовки в промышленности, так и для очистки питьевой воды в бытовых условиях. Обычно устанавливается в качестве самостоятельного фильтра для водопроводной воды или в качестве фильтра тонкой очистки в последней ступени водоочистных систем.



Рисунок 7 – Промывная титановая мембрана

Мембрана состоит из структурированных частичек титана, нанесённых на полимерную пористую подложку плазмохимическим методом. Размер пор мембраны составляет 0,1 мкм. Устраняет из воды взвеси, коллоиды, механические частицы, окисленное железо и бактерии (размер самой маленькой из них – 0,2–0,3 мкм). Промывка осуществляется обратным гидроударом очищенной воды из гидробака или второго фильтра в параллели, после чего все накопленные на поверхности мембраны загрязнения сбрасываются в канализацию. Титан устойчив к коррозии, инертен и безопасен для человека. Срок службы фильтра с промывной титановой мембраной не менее 10 лет.

Выбор обратного осмоса или ультрафильтрации необходимо делать основываясь на качество исходной воды, а именно количество в ней примесей и уровень жесткости. Обратный осмос полностью очищает воду от всех микроэлементов. В результате она становится мягкой и чистой, а также приобретает приятный вкус. Но при этом теряет минеральные вещества.

Ультрафильтрация не оказывает влияние на минеральный состав исходной жидкости, но при этом удаляет из нее все вирусы и бактерии.

В очищенной воде сохраняются полезные минералы и микроэлементы, а также остается привычный вкус.

Итак, если качество исходной воды очень плохое, в ней содержится много хлора, присутствует неприятный запах, осадок, муть, то целесообразно использовать обратный осмос. Если вода в целом неплохого качества, но хочется его улучшить, то идеально подойдет система ультрафильтрации.

2.4 Ионообменные фильтры

Ионообменный фильтр используется для очистки воды от различных загрязнений и солей. Он основан на принципе обмена, который происходит между ионами веществ в воде и ионами, находящимися на поверхности фильтра. Он состоит из полимерной смолы, на которой располагаются ионы, меняющиеся с ионами веществ в воде. В процессе фильтрования вода проходит через слои смолы, и ионы загрязнений замещаются ионами, находящимися на поверхности фильтра. В результате этого вода очищается от различных загрязнений, таких как хлор, свинец, железо, медь и другие.

Ионообменные установки используются для смягчения воды – удаления из нее избыточного содержания кальция и магния, других элементов.

На поверхности каждой гранулы сосредоточен электрический заряд с отрицательным и положительным знаком (рисунок 8).

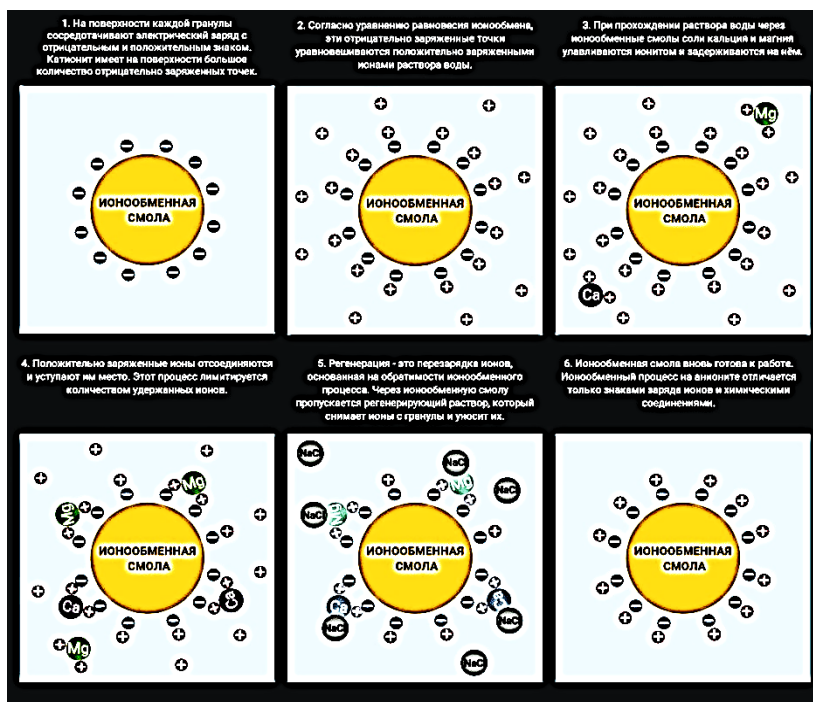


Рисунок 8 – Принцип работы ионообменной смолы

Катионит имеет на поверхности большое количество отрицательно заряженных точек. Согласно уравнению равновесия ионообмена, эти отрицательно заряженные точки уравниваются положительно заряженными ионами воды. При прохождении воды через ионообменные смолы

соли кальция и магния улавливаются ионитом и задерживаются на нём. Положительно заряженные ионы отсоединяются и уступают им место. Этот процесс лимитируется количеством удержанных ионов. Далее происходит перезарядка ионов – регенерация, основанная на обратимости ионообменного процесса. Теперь через ионообменную смолу пропускается регенерирующий раствор, который снимает ионы с гранулы и уносит их. Чаще всего в качестве регенерирующего раствора используют раствор нейодированной соли. Ионообменная смола вновь готова к работе. Ионообменный процесс на анионите отличается только знаками заряда ионов и химическими соединениями.

На рисунке 9 представлена конструкция типового бытового ионообменного фильтра для очистки воды.



Рисунок 9 – Конструкция бытового ионообменного фильтра для очистки воды

В зависимости от загрузки, ионообменные фильтры могут применяться для удаления из жидкости солей жесткости (Са и Mg), железа, марганца и тяжелых металлов, нитратов, кислот, солей кремния, органических соединений, радиоактивных отходов и прочих загрязнений. Результатом становится высокая степень очистки воды и, как следствие, возможность самостоятельного применения ионообменного фильтра без обратного осмоса.

3 Причины использования бытовых фильтров

Квартира в многоквартирном доме.

На рисунке 10 представлена типовая схема дополнительной очистки воды в квартире (отдельном жилом доме), подключенной к системе централизованного водоснабжения. Ниже приведены комментарии к составным частям указанной системы.

Редуктор холодной (1А) и горячей (1Б) воды. Предназначены для защиты сантехнической арматуры, шланговых соединений, стиральных, посудомоечных машин, а также душевых кабин и т. д. от скачков гидравлического

давления в системе холодного и горячего водоснабжения, а также способны поддерживать давление во входной магистрали не выше заданного.

На первом этапе воду освобождают от взвешенных частиц: песка, ржавчины, окалины труб и кальцинированного осадка. Для этого применяют фильтры механической очистки. В квартирах обычно используются такие фильтры двух видов: сетчатые и картриджные.

Сетчатые фильтры механической очистки (2А, 2Б). Сетки таких фильтров выполнены из коррозионностойкой стали и могут служить десятилетиями. Обеспечивают предварительную грубую фильтрацию и очистку от частиц свыше 100 мкм.

Картриджные фильтры (3А, 3Б). Представляют собой пластиковые или металлические корпуса, в которые помещаются сменные фильтрующие элементы. Картриджи механической очистки освобождают воду уже от более мелких примесей (диапазон 0,5–100 микрон). Можно использовать не только полипропиленовые и волоконные, но и угольные, а также угольно-волоконные картриджи, которые производят очистку воды не только от механических примесей, но и от хлора, неприятного вкуса и запаха.

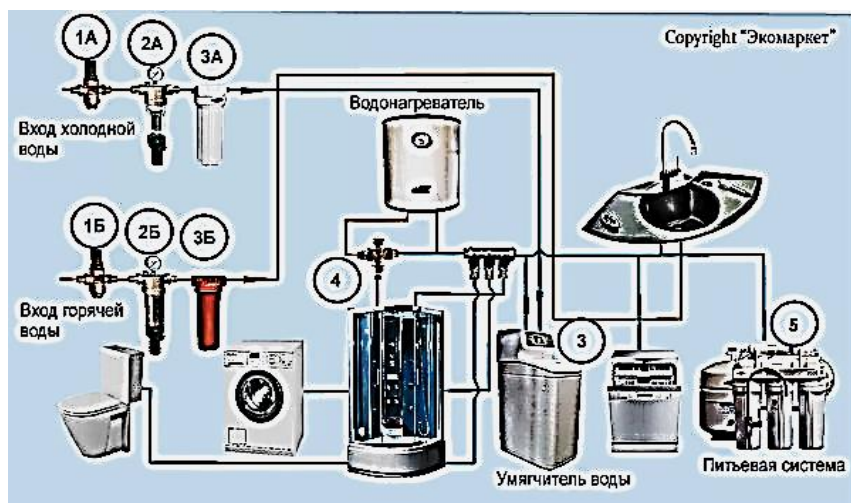


Рисунок 10 – Типовая схема дополнительной очистки воды в квартире (отдельном жилом доме), подключенной к системе централизованного водоснабжения

Фильтр-умягчитель воды малой производительности (3). Устанавливается только на холодную воду. Освобождает воду от солей жесткости. Требуется подключения к дренажной системе, так как этот аппарат нуждается в периодической регенерации фильтрующей среды. Установка такой системы очистки воды предотвратит образование накипи в проточных водонагревателях, бойлерах, на тэнах стиральных и посудомоечных машин,

в форсунках гидромассажных кабин, джакузи и другой бытовой технике. Обычно это ионообменный фильтр.

Терморегулирующий смесительный клапан с защитой от ожогов (4). Обеспечивает температуру воды на выходе не выше заданной. Используется для централизованной регулировки температуры в системах горячего водоснабжения, ограничения температуры воды в возвратном трубопроводе бойлера. При исчезновении холодной воды прекращается и поступление горячей. Также перекрывается впуск холодной воды при исчезновении горячей.

Фильтр питьевой воды (5). Устройство для получения чистой питьевой воды. Фильтр устанавливается под кухонную мойку и снабжен отдельным краном для чистой воды.

По субъективному мнению авторов, представленная на рисунке 10 схема является идеальной. Для практических целей в квартире с централизованным водоснабжением холодной и горячей водой достаточно позиций 1А, 2А и 3 на линии холодной воды. Вместо редукторов 1А и 1Б можно устанавливать обычные шаровые краны. Сетчатые фильтры 2А и 2Б целесообразно устанавливать последовательно с повышением тонкости очистки, например 100 и 50 мкм, что позволит повысить ресурс их работы, а также картриджных фильтров тонкой очистки 3А и 3Б до обслуживания. Подачу холодной воды в стиральную и посудомоечную машины, в бойлер (при его наличии) следует вести через ионообменный фильтр 3. При желании на отдельный кран питьевой воды можно подавать воду также через фильтр 3. В этом случае система фильтров 5 избыточна.

Индивидуальный дом в сельской местности. Дачный дом.

Как правило, водоснабжение в сельской местности ведется из двух источников: колодцы и скважины, качество воды в которых отличается. При этом следует регулярно проводить анализ воды в обоих случаях для оценки ее качества. При водоснабжении из колодцев ведрами обычно достаточно отстаивания в стационарной емкости для хозяйственных целей и дополнительной очистки фильтрами кувшинного типа при использовании для питья. Глубина колодцев от 5 до 30 метров. Часто используют в колодцах погружные насосы для водоснабжения дома. В этом случае в схему, подобную рисунку 10, вводится напорный бак на входе. Стандартным оснащением может быть использование устройств позиции 1А, 2А и 3А на линии холодной воды, причем тип ионообменной смолы следует выбирать по результатам анализа воды и наличию в ней конкретных загрязнений.

Глубина скважин от 20 до 200 метров. Водоснабжение ведется погружными насосами. Наличие напорного бака обязательно. Поскольку вода из скважин забирается с более глубоких горизонтов, чем колодцы, она более чистая, то вполне достаточно использовать в схеме водоочистки простейший механический сетчатый фильтр 2А и ионообменный фильтр 3 с ионообменной смолой, селективной к железу и марганцу.

Выводы. Беларусь входит по данным Программы развития ООН (ПРООН) в топ-20 стран по обеспеченности доступа населения к чистой воде. По величине водных ресурсов рек Беларусь занимает четвертое место в Европе после Норвегии, Великобритании и Польши. В Беларуси насчитывается более 10 тыс. озер и свыше 20 тыс. рек, каналов. Создано 1,5 тыс. прудов, 85 водохранилищ сезонного регулирования. Запасы только поверхностных вод оцениваются почти в 59 млрд м³, подземных – в 2,3 млрд. Используется лишь малая их часть. Показатель обеспеченности водными ресурсами в Беларуси находится на уровне среднеевропейского значения – 6,2 тыс. м³ в год на душу населения. Это значительно выше, чем, например, в Польше и Украине. Поэтому водные ресурсы Беларуси могут оцениваться как достаточные, чтобы удовлетворить потребности страны в воде.

Более 40 % воды используется для хозяйственно-питьевых нужд. Наблюдается устойчивая тенденция к сокращению удельного водопотребления на душу населения – с 214 до 137 л в сутки. И показатель не превышает средне-статистические значения в европейских странах. Например, в Испании он составляет 126 л, в Великобритании – 136 л, Германии – 145 л, Голландии – 148 л, Франции – 159 л, Дании – 190 л, Швеции – 194 л. Существенную экологию дает внедрение оборотного и повторного водоснабжения в производственные процессы.

Внутренняя политика в области охраны и использования вод формируется Водным кодексом, Национальной стратегией управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. Сформирована Национальная система мониторинга окружающей среды. Вниманию уделяется как поверхностным, так и подземным водам. Ежегодно берется на анализ 10 тыс. проб. На контроле гидрохимические, гидробиологические, гидроморфологические показатели, а на 8 трансграничных пунктах наблюдений – содержание загрязняющих веществ в донных отложениях.

Представленные в данной работе результаты анализа авторами систем дополнительной очистки воды в квартире и в индивидуальном доме и рекомендации по их использованию носят субъективный характер. Главное – они основаны на принципе разумной достаточности.

Список литературы

1 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : СанПиН 2.1.4.1074-01 : утв. постановлением М-ва здравоохранения Рос. Федерации, 26 сент. 2001 г. // Сибирская экологическая компания. – URL: <https://www.sibecolog.ru/informatsiya/81> (дата обращения: 05.01.2025).

2 Калимуллина, Д. Д. Проблема загрязнения водопроводных сетей / Д. Д. Калимуллина, А. М. Гафуров // Инновационная наука. – 2016. – № 6 – С. 95–96. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-zagryazneniyavodoprovo-dnyhsetey> (дата обращения: 05.01.2025).

3 Вторичное загрязнение – опасность водопроводной воды // Ключ здоровья. – URL: <http://www.artvoda.com/vtorichnoe-zagryaznenie-opasnost-vodoprovodnoj-vody> (дата обращения: 05.01.2025).

4 **Продоус, О. А.** Предотвращение вторичного загрязнения питьевой воды в металлических сетях водоснабжения / О. А. Продоус, Д. И. Шлычков, Д. В. Спицов // Строительство: наука и образование. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 62–71. – URL: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.2.5> (дата обращения: 05.01.2025).

5 **Клейн, С. В.** Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения / С. В. Клейн, С. А. Вековщина // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 49–60. – DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.06.

6 **Гевод, В. С.** Загрязнение питьевой воды внутри водопроводов и экономичный способ ее доочистки в местах потребления / В. С. Гевод, И. А. Борисов // Водные ресурсы и климат : материалы V Междунар. Водного Форума, 5–6 окт. 2017 г., г. Минск : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный технологический университет ; редкол.: О. Б. Дормешкин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 10–18.

7 **Богданова, О. Ю.** Микробиологический анализ качества водопроводной и фильтрованной воды г. Санкт-Петербурга с учетом современных требований / О. Ю. Богданова, Т. Ф. Черных // Формулы Фармации. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 70–75.

8 **Дроздова, Е. В.** Питьевая вода – безопасная и полезная / Е. В. Дроздова // Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии, вирусологии и микробиологии. – URL: <https://rspch.by/ru/node/312/> (дата обращения: 05.01.2025).

9 Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition. – Geneva : WHO, 2017. – 541 p.

10 Методы фильтрации воды их достоинства и недостатки // AQUANOVA. – URL: <https://www.aquanova.com.ua/stati-i-obzory/metody-filtratsii-vody-ikh-dostoinstva-i-nedostatki/> (дата обращения: 05.01.2025).

УДК 628.31

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. В. СЕМЁНОВ, А. Н. ЛУГОВКИН, И. В. ПАВЛОВИЧ

*Общество с ограниченной ответственностью «НПО Экосистема»,
г. Солнечногорск, Российская Федерация
info@eco-systema.com*

Актуальность. В России и Беларуси актуальна проблема защиты водных ресурсов от загрязнения сточными водами коммунальных и промышленных предприятий. Законодательство устанавливает строгие нормы на сброс загрязняющих веществ в водоемы и на централизованные очистные сооружения. За превышение допустимых показателей предусмотрены штрафы, которые могут достигать значительных сумм, сопоставимых с прибылью компаний. Однако одними финансовыми санкциями дело не ограничивается: при систематических нарушениях или нанесении серьезного ущерба

окружающей среде деятельность предприятия может быть приостановлена до устранения экологических нарушений.

Основная угроза, связанная с производственными сточными водами предприятий молочной промышленности, заключается в высоком содержании органических загрязнений. Эти загрязнения поступают преимущественно в результате мойки оборудования, а также из-за остатков продукции и производственных отходов. Дополнительную опасность представляет сброс кислотных и щелочных моющих средств, способных изменять уровень pH сточных вод в пределах от 2 до 12.

Попадание таких загрязнений в водоем приводит к резкому снижению концентрации растворенного кислорода, что вызывает гибель водных организмов. Санитарное состояние водоема ухудшается, делая его непригодным для водоснабжения. Если же сточные воды попадают на городские очистные сооружения, это может привести к угнетению или даже гибели активного ила, который, в свою очередь, становится новым источником загрязнения. Для небольших водоёмов такие последствия могут перерасти в экологическую катастрофу.

Цель работы – исследование состава и характеристик сточных вод предприятий молочной промышленности, а также обоснование эффективных методов их очистки. Рассматриваются основные источники загрязнения, их влияние на окружающую среду и очистные сооружения. Особое внимание уделяется разработке технологических решений, позволяющих привести состав сточных вод в соответствие с установленными нормативами.

Основные результаты. Основным источником органического загрязнения сточных вод на молочных предприятиях является сыворотка. На современных производствах предусмотрены ее сбор и переработка.

Полностью исключить кислотные и щелочные промывки из технологического процесса невозможно, однако можно минимизировать затраты на их нейтрализацию, установив перед очистными сооружениями усреднитель необходимого объема. Для молокоперерабатывающих предприятий объем усреднителя рекомендуется устанавливать в пределах 40–50 % от суточного расхода сточных вод. Это необходимо для эффективного перемешивания кислотных и щелочных стоков, выравнивания концентраций загрязняющих веществ и расхода при залповых сбросах.

Также учитывается различие в составе сточных вод на различных молокоперерабатывающих предприятиях. На молочных заводах основными загрязнителями являются жиры, взвешенные вещества и органические соединения. В сточных водах сыродельных производств, помимо этих загрязняющих веществ, отмечается повышенное содержание солей.

Сточные воды молочных заводов содержат загрязняющие вещества в растворенном, нерастворённом и эмульгированном виде. Первостепенной задачей является выбор оборудования для предварительной механической очистки, так как от его эффективности зависит надёжность функционирования всей системы очистки.

На этапе предварительной очистки удаляется крупный мусор, тяжелые минеральные примеси и всплывающие жиры, так как их присутствие может привести к засорению трубопроводов и повреждению насосного оборудования. Для этих целей традиционно используются механические решетки, жиросъемники и песколовки, которые размещаются перед усреднителем.

После удаления твердых частиц и жиров необходимо определить оптимальный метод дальнейшей очистки, соответствующий требованиям к качеству очищенной воды. Современные технологии предлагают различные способы очистки сточных вод молочного производства, которые можно разделить на пять ключевых категорий: физико-химические методы; ультрафильтрация; обратный осмос; анаэробная биологическая очистка; аэробная биологическая очистка.

Как правило, на практике эти методы комбинируют для достижения наилучшего результата. В качестве примера можно рассмотреть очистные комплексы «Валдай-ОРГАНИК» (рисунок 1), созданные на основе опыта компании «НПО Экосистема» в проектировании и наладке очистных систем для предприятий молочной промышленности.



Рисунок 1 – Комплекс очистки «Валдай-ОРГАНИК»
производства «НПО Экосистема»

Эти комплексы реализуют технологическую схему, обеспечивающую стабильную и эффективную работу оборудования. Локальная система очистки включает в себя:

- механическую очистку (решетки, песколовки, жиросъемники);
- усреднение состава и объема поступающих сточных вод (резервуары-усреднители с механическим или пневматическим перемешиванием);
- физико-химическую очистку (процессы нейтрализации, а также флоатационную обработку с применением коагулянтов и флокулянтов);
- сбор и обезвоживание осадков (шнековые обезвоживатели).

Применение данной схемы позволяет добиться высоких показателей очистки (таблица 1). Эксплуатационные затраты на очистку промышленных сточных вод молочных предприятий с использованием комплекса «Валдай-ОРГАНИК» составляют не более 12–14 рос. рублей за 1 м³. Такая технология обеспечивает эффективную локальную очистку сточных вод перед их отведением в систему хозяйственно-бытовой канализации или на заводские сооружения биологической очистки.

Таблица 1 – Эффективность очистки комплекса «Валдай-ОРГАНИК»

Показатель сточных вод	До очистки	После механической очистки и усреднения	Эффективность реагентной флотации, %	ПДК для сброса в канализацию*
Взвешенные вещества, мг/л	1500–2000	<1000	90	300
Плотный остаток, мг/л	800–1500	<1200	**	3000
ХПК, мг О ₂ /л	2500–3000	<1500	60–70	500
БПК _{полн} , мг О ₂ /л	1500–2000	<1000	60–70	300***
Жиры, мг/л	1500–2000	<1000	95	50
Фосфор общий, мг/л	10–15	<12	50–60	12
Азот общий, мг/л	60–110	<50	5–10	50
рН, ед.	2–12	3–10	Стоки нейтрализуются до ПДК	6–9
*Постановление Правительства РФ от 09.07.2013 г. № 644 «Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в не-которые акты Правительства Российской Федерации». В Республике Беларусь нормы сброса в городскую сеть канализации устанавливаются местными исполнительными и распорядительными органами. **Показатель «Сухой остаток» практически не снижается на стадии физико-химической очистки, кроме того, за счет применения минеральных кислот, щелочей и коагулянтов он увеличивается по сравнению с входящим стоком. ***По БПК₅.				

В случае, если очищенные сточные воды предприятия должны сбрасываться в водоем, после локальных очистных сооружений дополнительно проводится биологическая очистка. Для этого используются комплексы «Валдай-БИО» (рисунок 2), процесс очистки включает несколько стадий:

- биохимическое окисление органических веществ и нитрификацию (аэротенк-нитрификатор со взвешенным активным илом);
- денитрификацию (удаление нитратного азота в аноксидной зоне аэротенка);
- глубокую аэробную доочистку с использованием иммобилизованного активного ила на полимерном бионосителе;
- доочистку на напорных песчаных фильтрах с хлорированием и коагуляцией, обеспечивающую удаление остаточных соединений азота, фосфора и органики;
- обеззараживание очищенного стока с помощью ультрафиолетового излучения.

Избыточный активный ил, образующийся в процессе биологической очистки, подается на шнековый обезвоживатель (рисунок 2) или на установку обезвоживания, где также удаляется осадок, образующийся после физико-химической очистки. Данная схема позволяет достичь высоких результатов, как указано в таблице 2. Удельные эксплуатационные затраты на доочистку промстоков молочных производств на комплексе «Валдай-БИО» не превышает 8–10 рос. рублей за 1 м³.



Рисунок 2 – Железобетонный биоблок с установленными аэрационными элементами (слева) и шнековый обезвоживатель (справа)

Таблица 2 – Эффективность очистки комплекса «Валдай-БИО»

Показатель сточных вод	На входе в сооружения биоочистки	После биоочистки	После доочистки	ПДК для сброса в водоём*
Взвешенные вещества, мг/л	<200	5–10	< 3	3,0
Плотный остаток, мг/л	<1500	<1500	1500**	1000
ХПК, мгО ₂ /л	<800	<30	<30	30
БПК _{полн} , мгО ₂ /л	<500	<3,0	<3,0	3,0
Жиры, мг/л	<50	<0,5	<0,5	–
Фосфор общий, мг/л	<8	<0,5	<0,2	0,2
Азот аммонийный, мг/л	<30	<0,39	<0,39	0,39
Нитраты, мг/л	<5	<40	<40	40
Нитриты, мг/л	<0,5	<0,08	<0,08	0,08
рН, ед.	3–10	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5

*Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

**Показатель «Сухой остаток» практически не снижается на стадии биологической очистки. Для его снижения требуется применение методов обессоливания воды.

Следует отметить, что схема очистки рассчитана на гораздо более жесткие нормы сброса, чем действующие для большинства водных объектов в Республике Беларусь. В условиях Республики Беларусь обычно не требуются стадии глубокой биологической и фильтрационной доочистки.

Выводы. Результаты исследования подтверждают необходимость применения комбинированных методов очистки сточных вод молочной промышленности. Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду и сбоя работы централизованных очистных сооружений рекомендуется использовать комплексные системы обработки, включающие механическую, физико-химическую и биологическую очистку. Внедрение таких решений позволяет обеспечить соблюдение экологических нормативов, снизить нагрузку на городские очистные сооружения и минимизировать экологические риски.

Список литературы

1 Данилович, Д. А. Современные решения по локальной очистке сточных вод предприятий молочной промышленности / А. А. Данилович, А. А. Максимова // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2014. – № 3. – С. 55–63.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

УДК 628.16

УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА РЕАГЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

В. Н. АНУФРИЕВ¹, Г. А. ВОЛКОВА²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск

²Брестский государственный технический университет,

Республика Беларусь

vladimir.anufriev@bntu.by, vvit@bstu.by

Актуальность. При поступлении в водные объекты биогенных питательных элементов, в том числе соединений азота и фосфора, происходят интенсивные процессы эвтрофикации. При повышении температуры в летний период происходит массовое развитие и отмирание клеток фитопланктона в поверхностных водных объектах, при этом ухудшается качество воды, повышение мутности и цветности воды, увеличение концентрации органических веществ. Важной составляющей комплекса мер по снижению антропогенной нагрузки на водные объекты является развитие технического регулирования в области очистки сточных вод, в том числе при использовании технологий очистки сточных вод, включающих удаление фосфорных соединений.

Цель работы – оценка применения реагентных методов удаления фосфора из сточных вод.

Основные результаты. Одним из направлений решения экологической проблемы, связанной с эвтрофикацией природных водных объектов, является снижение концентрации фосфора как лимитирующего элемента в пищевом балансе при массовом размножении водорослей.

Нормативы сбросов сточных вод в водные объекты, которые являются источником фосфора, ужесточены. Так, остаточные концентрации общего фосфора, установленные для очистных сооружений мощностью более 10 тыс. эквивалентов населения (ЭН), составляют 3,0 мг/дм³, а для очистных сооружений мощностью более 100 тыс. ЭН составляют 2,0 мг/дм³[1].

Биологическая очистка сточных вод с глубоким удалением биогенных веществ обеспечивает снижение содержания фосфорных соединений до 75–80 %. При этом биологическое удаление фосфора из сточных вод нестабильно и зависит от состава сточной воды и ее температуры. В случаях,

когда биологического удаления фосфора недостаточно для обеспечения природоохранных требований к степени очистки сточных вод, предусматривают осаждение фосфора реагентами [2].

Концентрация соединений фосфора, удаляемых химическим методом, $X_{P,e}$, мг/дм³, определяется по балансовому уравнению

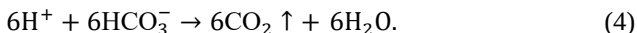
$$X_{P,e} = C_{P,en} - C_{P,ex} - X_{P,BM} - X_{P,Bio} \quad (1)$$

где $C_{P,en}$ – концентрация фосфора в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³; $C_{P,ex}$ – концентрация фосфора в сточных водах на выходе из вторичных отстойников, мг/дм³; $X_{P,BM}$ – концентрация фосфора для ассимиляции гетеротрофными микроорганизмами активного ила, мг/дм³; принимают 1 % от БПК₅; $X_{P,Bio}$ – концентрация фосфора, удаляемого биологическим методом, мг/дм³; принимают:

– при наличии анаэробной технологической емкости после первичного отстойника – от 0,010 до 0,015 БПК₅ сточных вод, поступающих на биологическую очистку;

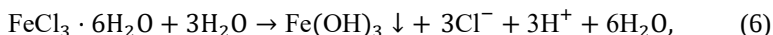
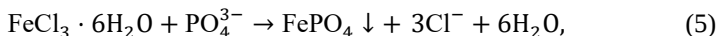
– в установках с предварительной и каскадной денитрификацией без устройства отдельной анаэробной технологической емкости – до 0,005 БПК₅.

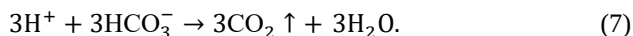
Реагентная обработка основана на снижении содержания растворимых соединений фосфора в результате химических реакций реагента с фосфатами с образованием нерастворимых соединений, а также в результате сорбции соединений фосфора хлопьями гидроксидов металлов. В качестве реагентов могут быть использованы известь, соли железа и алюминия, а также другие минеральные коагулянты. При использовании в качестве реагента сульфата алюминия происходят химические реакции



При дозировании указанного реагента pH рабочего раствора поддерживают в пределах от 5,0 до 7,5.

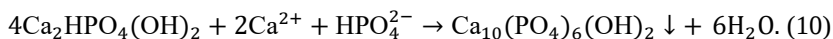
Чаще всего применяются реагенты в виде солей двухвалентного железа: сульфата (FeSO₄), хлорида (FeCl₂); солей трехвалентного железа: сульфата (Fe₂(SO₄)₃), хлорида (FeCl₃); комплексной соли (FeClSO₄). При дозировании FeCl₃ происходят химические реакции





При приготовлении рабочего раствора FeSO_4 pH поддерживают в пределах от 3,5 до 6,5. При использовании двухвалентных солей железа предусматривают аэрацию рабочего раствора реагента, дозирование в аэрируемые технологические емкости или дозирование совместно с известью.

Осаждение фосфора ионами кальция производят при дозировании раствора извести с образованием малорастворимых соединений в результате реакций



При приготовлении рабочего раствора извести pH поддерживают в пределах от 10 до 12 [3]. Осаждение фосфора при дозировании раствора извести происходит при повышении pH сточных вод и образовании малорастворимых соединений фосфора при взаимодействии фосфатов с катионами железа, алюминия и кальция, содержащимися в сточной воде.

Существуют методы прямого, предварительного, параллельного и последующего осаждения соединений фосфора реагентами. Прямое осаждение фосфора применяют при физико-химической очистке сточных вод без проведения биологической очистки. Дозы реагентов устанавливают с учетом осаждения других загрязняющих веществ (кроме соединений фосфора). В качестве реагентов применяют железо (II) совместно с известью.

Предварительное осаждение фосфора производят при дозировании реагентов в поток сточных вод, поступающих в первичный отстойник или песколовку. Продолжительность пребывания сточных вод в первичном отстойнике принимают 1,5–2,0 ч при гидравлической нагрузке не более $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. При дозировании реагентов pH сточных вод поддерживают от 6 до 9.

При предварительном осаждении уменьшение концентрации общего фосфора принимается до 70 %, органических веществ по БПК₅ после первичных отстойников – от 50 до 60 %. Дополнительный объем осадка первичного отстойника, образующегося при предварительном осаждении, составляет от 20 до 50 %. При проведении предварительного осаждения учитывают снижение концентрации взвешенных веществ и БПК₅ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку.

Параллельное осаждение фосфора осуществляют при дозировании реагентов в поток сточных вод, поступающих в аэротенки, или непосредственно в иловую смесь аэротенка. Продолжительность пребывания сточных вод

в аэротенке при параллельном осаждении фосфора принимают не менее 4 ч, для очищенных сточных вод, отводимых после вторичных отстойников, – не менее 3 ч при гидравлической нагрузке, не превышающей $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Дополнительный объем осадков, образующихся во вторичных отстойниках, при параллельном осаждении фосфора принимают не более 40 %.

Последующее осаждение фосфора осуществляют при дозировании реагентов в поток сточных вод, отводимых после вторичных отстойников. Продолжительность пребывания сточных вод в смесителе и камере флокуляции принимают 0,5 ч, в отстойнике для выделения осадков – 2,0–2,5 ч при гидравлической нагрузке $0,7\text{--}1,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Дополнительный объем осадков, образующихся при последующем осаждении, принимают от 20 до 50 %.

Параметры химического осаждения фосфора для различных способов обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Способы химического осаждения фосфора

Характеристика способов осаждения фосфора	Значение характеристик Способ химического осаждения фосфора			
	Предварительное осаждение	Параллельное осаждение	Последующее осаждение	Флокуляция с фильтрованием
Остаточная концентрация фосфора в сточных водах, мг Р/дм ³	2,0	1,0	1,0	0,5
Рекомендуемое значение коэффициента β_F	1,2	1,2	1,2–2,5	2,5*
Место дозирования	Перед первичным отстойником или в аэрируемой песколовке	Перед, или после, или в аэротенке	После вторичного отстойника	Перед фильтром**
Сооружение для задержки и удаления осадков химического осаждения фосфора	Первичный отстойник	Вторичный отстойник	Дополнительный отстойник или флотатор	Фильтр
*Значение коэффициента, превышающее указанное в таблице, применяют при последующем осаждении фосфора, выполняемом в две ступени. ** При одноступенчатом дозировании реагент подается перед фильтром, при двухступенчатом дозировании реагент подается перед фильтром, а также производится предварительное либо параллельное осаждение				

Коэффициент, учитывающий условия дозирования, β_F определяют по формуле [4]

$$\beta_F = \frac{X_{Me} / M_{Me}}{X_{P, Fall} / M_P}, \quad (11)$$

где X_{Me} – доза коагулянта в пересчете на металл, мг/дм³; M_{Me} – молярная масса металла, мг/моль; $X_{p, Fall}$ – снижение концентрации фосфора в сточных водах в результате химического осаждения, мг/дм³; M_p – молярная масса фосфора, мг/моль.

Осаждение соединений фосфора флокуляцией с фильтрованием применяют в случае, когда концентрация фосфора в очищенных сточных водах должна быть в пределах от 0,3 до 0,5 мг/дм³. С этой целью производят параллельное или последующее осаждение и дополнительную последующую обработку сточных вод флокуляцией с фильтрованием.

Дополнительную обработку сточных вод флокуляцией с фильтрованием производят при дозировании солей трехвалентного железа и полиэлектролитных флокулянтов. При обработке сточных вод предусматривают их интенсивное перемешивание с реагентами в течение от 0,1 до 1,0 с, далее – выдерживание в течение от 10 до 30 мин для образования флоккул. Для фильтрования используют двухслойные фильтры с зернистой загрузкой.

Выводы. Проведен анализ применения реагентных методов удаления фосфора из сточных вод. Химическое осаждение фосфора применяется в случаях, когда биологическое удаление фосфора не обеспечивает природоохранные требования к степени очистки сточных вод. При этом существуют значительные ограничения по использованию химического осаждения, связанные с высокой стоимостью реагентов. Направления разработок связаны с минимизацией расхода реагентов при удалении фосфора из сточных вод. Глубокое удаление фосфора из городских сточных вод является важной задачей при проектировании сооружений, а также при оптимизации режима эксплуатации существующих очистных сооружений.

Список литературы

1 О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732141> (дата обращения: 6.02.2025).

2 СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 31.10.2019. – Минск : ЭНЕРГОПРЕСС, 2020. – 79 с.

3 П1-2029 к ТКП 45-4.01-321-2018 (33020). Проектирование очистных сооружений сточных вод. – Минск : Минстройархитектуры, 2019. – 123 с.

4 Arbeitsblatt DWA-A 202 Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser. – Hennef, 2011. – 33 s.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Г. Н. БЕЛОУСОВА

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

Актуальность. Железобетонные конструкции городских очистных сооружений в процессе эксплуатации подвергаются сложным и опасным физическим и химическим воздействиям агрессивных компонентов сточных вод и реагентов, а также механическим воздействиям от технологического оборудования. Это приводит к тому, что после 7–10 лет эксплуатации бетонные и железобетонные конструкции в подводной зоне и зоне периодического смачивания имеют существенные повреждения поверхностного слоя.

При возведении из сборного и монолитного бетона и железобетона сооружений систем водоснабжения и водоотведения наиболее сложным и трудоемким для производства работ являются многочисленные емкостные сооружения цилиндрической, прямоугольной и круглой (в плане) формы. Железобетонные резервуары цилиндрической формы применяют в строительстве первичных и вторичных отстойников, резервуаров чистой воды. Особенностью бетонирования стен таких сооружений является то, что толщина этих стен незначительна (20–40 см), а высота достигает 5–7 м. Сооружения выполняются из сборных железобетонных элементов стен, перегородок, перекрытий и монолитного дна.

Цель работы – обследование многих канализационных очистных сооружений, а также анализ состояния их бетонных и железобетонных конструкций выявил их моральный и физический износ. Поэтому совершенствование технологии строительства новых и ремонта существующих конструкций очистных сооружений представляет практический интерес и является актуальной задачей, направленной на увеличение их срока службы, защиты от воздействия агрессивных сред и увеличения коррозионной стойкости их элементов.

Строительный материал (бетон) для железобетонных конструкций должен обладать необходимой прочностью, хорошим сцеплением с арматурой, достаточной плотностью для защиты арматуры от коррозии. В зависимости от назначения сооружения бетон также должен удовлетворять специальным требованиям: морозостойкости, коррозионной стойкости при агрессивном воздействии среды, водонепроницаемости и др. Важнейшим физико-механическим свойством бетона с точки зрения его работы в железобетонных конструкциях является прочность и деформативность, определяемые

его структурой. Структуру бетона можно представить в виде пространственной решетки из цементного камня (включающего кристаллический сросток, гель и большое количество пор и капилляров, содержащих воздух и воду), в котором хаотично расположены зерна песка и щебня. В таком неоднородном теле нагрузка создает сложное напряженное состояние. Бетон, как и другие каменные материалы, обладает значительным сопротивлением сжимающим напряжениям и весьма малым сопротивлением растяжению (прочность бетона на растяжение в 10–15 раз меньше прочности на сжатие), а сталь работает и на сжатие, и на растяжение. Поэтому железобетон сжимающие напряжения воспринимает бетоном, а растягивающие – стальной арматурой. Разрушение бетонных (неармированных) конструкций происходит внезапно (хрупко), в то время как разрушение железобетонных элементов наступает постепенно, что позволяет снизить запас прочности. Кроме обычных железобетонных конструкций в строительстве очистных сооружений используются предварительно напряженные. Цилиндрическая форма сооружений позволяет наиболее просто производить предварительное напряжение бетона в стенах путем навивки на них спирали из высокопрочной проволоки (радиальные отстойники диаметром до 40 метров, глубиной 3–5 метров).

Арматура в бетоне не ржавеет, пока она покрыта достаточной толщиной щелочестойкого слоя бетона. В действительности железобетонные конструкции часто имеют волосяные трещины после заливки бетона, очень часто защитный слой локально очень тонкий. Все это вместе в сочетании с механическими нагрузками, влажностью, влиянием низких температур и солей, углекислого газа и других внешних воздействий может привести к карбонизации бетона, коррозии арматуры, а затем и к угрозе несущей способности конструкции очистного сооружения.

Большинство систем и сооружений водоотведения было построено и пущено в эксплуатацию в 60–80-х гг. XX века, в соответствии с существовавшими тогда нормативными требованиями к техническому состоянию и эксплуатации. В результате обследования ряда очистных сооружений наблюдаются массовое разрушение поверхностного слоя бетона, оголение арматуры, пятна ржавчины на наружной поверхности, свидетельствующие о коррозии арматуры и закладных деталей, наличие множества местных и силовых трещин, локальные нарушения внутренней штукатурки и т. п.

При реконструкции и ремонте железобетонных конструкций, имеющих коррозионные повреждения, применение традиционных строительных растворов и бетонов на цементном вяжущем не обеспечивает необходимой плотности, прочности и долговечности.

Разгерметизация стыков и появление трещин в железобетоне очистных сооружений может привести к утечке агрессивных сточных вод, которые опасны не только для строительных конструкций, но и для окружающей

среды. Поэтому необходимо надежно заделывать стыки и различные трещины, возникающие в бетоне.

В железобетонных конструкциях арматура, как правило, защищена бетоном, который имеет высокий водородный показатель, что ведет к пассивированию стали. Однако в конструкциях, имеющих трещины, арматурная сталь остается активной даже в бетоне с $\text{pH} = 12,6$. Поэтому для заделки трещин и реконструкции железобетонных конструкций необходимо разработать и исследовать полимерные композиции, специальные технологии ремонта и антикоррозионной защиты, позволяющие повысить долговечность, коррозионную стойкость, восстановить утерянные части конструкций, а также обеспечить надежную эксплуатацию в течение нормативных сроков.

Нормами проектирования для железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной жидкой среде, допускается длительное раскрытие трещин шириной 0,05 мм и кратковременное 0,2 мм, а в газообразной и твердой среде – длительное 0,1 мм и кратковременное 0,025 мм. На основе проведенных исследований отмечено, что только ограничением ширины раскрытия трещин нельзя достичь абсолютной защиты арматуры железобетонных конструкций от коррозии, поэтому необходимо предусматривать покрытия, пропитку и гидрофобизацию. В последние годы для тампонирувания трещин в бетонных и железобетонных конструкциях и сооружениях применяют полимерцементные растворы.

Для реконструкции очистных сооружений необходимо выполнить не только ремонтные работы, но и демонтаж некоторых железобетонных элементов. Повреждения железобетонных элементов можно восстановить с помощью ремонтных составов на полимерцементной основе. Защитить арматуру можно сразу после ее очистки двух компонентным цветным покрытием на цементной основе BETONPROTEK K2, нанесенным в два слоя общей толщиной 1,5–2 мм с интервалом в 1 час. Данная смесь имеет прекрасную адгезию к арматуре, водо- и газонепроницаема. Дополнительная защита обеспечивается ингибиторами коррозии, которые создают защитную пленку на арматуре. При нанесении покрытия на арматуру можно его нанести и на бетон, так как BETONPROTEK K2 может быть использован в качестве грунтовки между старым и новым бетоном или в качестве ремонтного материала для бетона.

Для реставрации используется специально подготовленная микроармированная ремонтная смесь BETONPROTEK KT (толщина нанесения 5–40 мм). Финальную защиту отремонтированного и неповрежденного бетона выполняют микроармированным тонкослойным составом BETONPROTEK F, обеспечивающий специальную защиту от атмосферного воздействия и дальнейшего разрушения. Таким образом, реконструкция железобетонных очистных сооружений выполняется в краткие сроки и в следующей последовательности: очистка и защита арматуры; восстановление и защита бетона.

Сегодня при возведении очистных сооружений используются разные строительные материалы, но основным является сборный и монолитный бетон и железобетон. Долговечность зависит от двух мероприятий: вторичной защиты и гидроизоляции. Правильный выбор технологии защиты и гидроизоляции конструкций зависит от множества факторов: вид воздействия, тип и материал конструкции, условия эксплуатации, эстетические требования и др. При ремонте конструкций очистных сооружений должно обеспечиваться получение ремонтного слоя с сочетанием таких необходимых свойств, как его прочность сцепления с поверхностью ремонтируемой конструкции, коррозионная стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость.

На бетонные и железобетонные конструкции, эксплуатируемые в очистных сооружениях, действуют агрессивные среды. Долговечность конструкции определяется стойкостью как бетона, так и арматуры к воздействию на них агрессивной среды. Для ремонта необходимо использовать составы, исключаяющие усадку, сходные по своей природе с материалом основы, стойкие к карбонизации, обладающие высокой водонепроницаемостью, стойкие к проникновению хлоридов, обладающие требуемой укладываемостью. К таким составам относятся материалы химического концерна BASF (ООО «БАСФ – Строительные Системы»), производящего ремонтные смеси серии *MasterEmaco*, *MasterSeal*, *MasterFlow*.

ЗАО «ЭМАКОМ» (дилер в РБ предприятия BASF) создана ремонтно-строительная технология на базе сухих смесей *MasterEmaco*, *MasterSeal* и *MasterFlow* для восстановления, защиты и усиления бетонных и железобетонных сооружений. Мировой опыт применения ремонтных смесей *MasterEmaco* насчитывает более 30 лет, что подтверждает высокую надежность материала. При новом строительстве ответственных сооружений находят применение технологии, повышающие долговечность, темпы работ и безопасность. Для решения данных задач концерн BASF предлагает добавки для бетонов; пропитки; герметизирующие ленты для конструкционных швов и холодных стыков; покрытия для защиты стенок и подпорных элементов и для защиты днища; ремонтные составы для быстрого устранения дефектов при бетонировании и другие.

Таким образом, в зависимости от вида выполняемой гидроизоляции и защиты можно выбирать соответствующие полимерные материалы и технологии их использования.

Композитобетон является одним из перспективных стройматериалов, по многим параметрам превосходящим прекрасно известный всем железобетон. В конце XX века композиционные материалы начали внедрять и в железобетон, где вместо стальной арматуры стала использоваться неметаллическая композитная (из стекловолокна или базальтоволокна). Такими разработками занимаются БНТУ, БелНИИС, Полоцкий государственный университет, РУП «Стройтехнорм», БелГИМ, а также Министерство

жилищно-коммунального хозяйства и ряд других организаций.

Композитная арматура – это не просто альтернатива металлической, это новый материал, разработанный с применением нанотехнологий, экологичный и экономичный.

Базальтопластиковая и стеклопластиковая арматуры выполняются в виде стержня, имеющего непрерывную спиральную рельефность, любой строительной длины с диаметром от 4 мм до 14 мм. Экономическая эффективность применения композитной арматуры – это следствие ее низкой плотности (в 4 раза легче стальной арматуры) и высокой прочности. Это позволяет увеличить выход армированного бетона из одной тонны такой арматуры в 4–5 раз по сравнению с использованием арматуры стальной. Вес 1 км композитной арматуры диаметром 8 мм составляет всего 65 кг, а металлической арматуры составляет 400 кг. Относительное удлинение при растяжении 5,6 %.

Использование при строительстве очистных сооружений современной бесшовной технологии бетонирования со специальной опалубкой и композитной арматурой, позволит обеспечить идеальную герметичность в процессе эксплуатации, увеличить скорость строительства, исключить коррозию армирующих элементов, что позволит значительно экономить денежные средства при реконструкции очистных сооружений.

Выводы. Надежность работы очистных сооружений целесообразно рассматривать по комплексным показателям, что в целом регулирует режимы очистки и повысит надежность их работы.

Реконструкция систем водоотведения и очистки сточных вод напрямую связано с экологической обстановкой водных бассейнов Республики Беларусь. Сохранение водных источников от загрязнения и истощения путем реконструкции сооружений с минимизацией капитальных вложений является в настоящее время весьма важной и актуальной задачей. За последние годы накоплен значительный опыт, позволяющий применять новые материалы и методы реконструкции, основанные на современном научно-техническом уровне.

Список литературы

1 Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие для студентов строительных специальностей / Н. П. Блещик, Д. Д. Жуков, Д. И. Лазовский [и др.] ; под ред. Т. М. Пецольда и В. В. Тура – Брест : БрГТУ, 2003. – 380 с.

2 СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Введ. 20.06.2002. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2003. – 139 с.

3 ТКП 45-5.03-97-2009. Железобетонные сборно-монолитные конструкции. Правила проектирования. – Введ. 27.05.2007. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2009. – 86 с.

4 ТКП 45-5.03-130-2009. Сборные бетонные и железобетонные конструкции. Правила монтажа. Строительные нормы проектирования. – Введ. 14.04.2009. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 36 с.

5 ТКП 45-5.09-33-2006. Антикоррозионные покрытия строительных конструкций зданий и сооружений. Правила монтажа. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2006. – 19 с.

УДК 628.1:004.9

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ВОДОКАНАЛОВ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ

А. А. БРАКОРЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
alesbrakorenko222@gmail.com*

Актуальность. Создание цифровой экономики является ключевой целью развития информационного общества для каждой цивилизованной страны, которая стремится обеспечить технологическую независимость. Концепция «Цифровой водоканал» подразумевает интеграцию современных информационных технологий в процессы водоснабжения и водоотведения. Главная задача заключается в оптимизации управления производственными и технологическими процессами, регулировании режимов работы водоканалов, а также в снижении затрат и издержек для всех участников процесса.

Цель работы – анализ процесса осуществления цифровизации водоканалов с использованием современных методов цифровизации.

Основные результаты. Цифровизация экономики предполагает широкое внедрение компьютерных систем в различные области, такие как образование, торговля, промышленность, сельское хозяйство и жилищно-коммунальное хозяйство. Эти системы взаимодействуют друг с другом, что способствует росту социально-экономического потенциала страны. В сфере водоснабжения и водоотведения существует концепция «Цифровой водоканал», которая в упрощённом виде включает оцифровку и цифровизацию. На их основе создаётся компьютерная модель, к которой затем добавляются дополнительные модули и программные комплексы.

«Цифровой водоканал» – это цифровизация практически всех сфер водной отрасли, начиная от водоподготовки и водоочистки, и заканчивая оплатой услуг водоснабжения клиентами. В области производства концепция «Цифровой водоканал» предполагает введение системы прогнозирования и анализа ситуации, которая обрабатывает информацию с датчиков, анализаторов и сенсоров с помощью искусственного интеллекта [1]. Современные методы цифровизации водоканалов включают ряд технологий и стратегий, направленных на оптимизацию управления водными ресурсами и повышение эффективности процессов. Основные аспекты цифровизации.

Интернет вещей. Внедрение сенсоров и устройств *IoT* позволяет осуществлять мониторинг состояния водопроводных сетей и очистных сооружений в режиме реального времени. Эти устройства могут отслеживать параметры воды, такие как качество, давление и уровень текущих запасов. Сбор данных с сенсоров и других источников позволяет применять алгоритмы анализа больших данных для выявления паттернов, предсказания потребления и определения потенциальных утечек. Это способствует более точному планированию и оперативному реагированию на возможные проблемы.

Системы управления активами (*Enterprise Asset Management, EAM*). Цифровизация включает внедрение систем управления активами, которые автоматизируют процессы мониторинга, обслуживания и ремонта инфраструктуры. В функции *EAM* входит полный учет всех активов, включая оборудование, инфраструктуру и другие ресурсы, а также создание и поддержание базы данных, содержащей информацию о состоянии, местоположении и характеристиках активов. *EAM* осуществляет планирование, управление или техническое обслуживание, для этого создаются планы обслуживания и ремонтов на основе анализа состояния активов. Такие системы помогают снижать затраты и увеличивать срок службы оборудования.

Внедрение ГИС в производственную деятельность и бизнес-процессы положительно влияет на качество и достоверность управленческих решений, технико-экономическое состояние предприятий водопроводно-канализационного хозяйства. Внедрение геоинформационных систем так же продиктовано необходимостью расширения спектра возможностей для разработки систем подачи и распределения воды. Основная цель внедрения ГИС заключается в разработке «цифровых двойников» – электронных моделей систем подачи и распределения воды и систем сбора и отведения сточных вод.

Мобильные приложения. Разработка мобильных приложений для потребителей предоставляет возможность следить за показателями потребления воды, подавать заявки на обслуживание и получать информацию о статусе работы водоканала. Это повышает вовлеченность пользователей и улучшает сервис.

Автоматизация процессов. Внедрение интеллектуальных систем управления, таких как автоматизированные насосные станции и системы диспетчеризации, позволяет оптимизировать работу водоканалов. Использование систем *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)* позволяет в реальном времени контролировать и управлять процессами, такими как распределение воды, уровень резервуаров и состояние насосных станций. Это не только повышает эффективность, но и способствует быстрой ликвидации инцидентов. Устройства для контроля качества воды в реальном времени позволяют отслеживать такие параметры, как pH, уровень загрязняющих веществ и микробиологические характеристики, что так же способствует более быстрому реагированию на нестандартные ситуации.

Эти методы способствуют созданию устойчивых и эффективных систем водоснабжения, решая такие проблемы, как потеря воды, неэффективное распределение ресурсов и низкий уровень обслуживания потребителей.

Процесс цифровизации водоканалов включает несколько последовательных этапов, каждый из которых играет важную роль в создании интегрированной и эффективной системы управления водными ресурсами. Основные этапы этой последовательности:

1 Оценка текущего состояния. На первом этапе необходимо провести комплексный анализ существующей инфраструктуры, процессов и технологий, используемых в водоканале. Включает оценку состояния оборудования, а также выявление проблемных областей и узких мест.

2 Определение целей и задач. На основе проведенного анализа формулируются конкретные цели цифровизации, такие как улучшение качества воды, сокращение затрат, повышение эффективности управления ресурсами и оптимизация обслуживания клиентов.

3 Разработка стратегии. На этом этапе разрабатывается стратегический план, который включает детализацию шагов по внедрению цифровых технологий. Стратегия должна определить приоритетные области цифровизации, необходимые ресурсы и ожидаемые результаты.

4 Выбор технологий и подходящих решений для цифровизации. Это может включать IoT-устройства для мониторинга, системы анализа данных, платформы для управления активами, выбор программного обеспечения и другие решения, соответствующие поставленным целям.

5 Интеграция систем. После выбора технологий необходима интеграция новых решений с существующими системами. Это включает настройку программного, аппаратного обеспечения и баз данных для обеспечения совместимости и эффективного обмена данными.

6 Обучение персонала. Ключевым аспектом цифровизации является обучение работе с новыми технологиями. Необходимо проводить тренинги и семинары, которые помогут работникам адаптироваться к изменениям и использовать новые инструменты для оптимизации рабочих процессов.

7 Внедрение и тестирование. На этом этапе осуществляется практическое внедрение технологий в работу водоканала. Важно провести тестирование новых систем для выявления возможных проблем и корректировки процессов до их полного запуска.

8 Мониторинг и анализ результатов. После внедрения цифровых решений необходимо регулярно мониторить их эффективность. Система должна быть настроена на сбор и анализ данных, чтобы отслеживать ключевые показатели и оценивать результаты цифровизации.

9 Оптимизация и масштабирование. На основе собранных данных и анализа результатов выполняется оптимизация процессов и систем. Успешные методы и технологии могут быть масштабированы и применены к другим участкам работы или другим водоканалам.

10 Постоянное совершенствование. Цифровизация – это непрерывный процесс. Должна производиться установка новых и улучшение уже существующих средств вывода и мониторинга информации (планшетов), модернизация информационных систем, постепенное внедрение беспроводных систем, работающих в общей сети *Wi-Fi*, вместо громоздких проводных *Ethernet*-систем, разработка нового программного обеспечения. Следование этой последовательности позволяет создать устойчивую и эффективную современную систему цифровизации водоканалов, что способствует улучшению управления ресурсами, повышению качества обслуживания и устойчивости инфраструктуры.

Выводы. Современные методы цифровизации позволяют произвести оптимизацию технологических процессов и снижение издержек, а также снизить риски и уменьшить количество аварийных ситуаций. Оцифровка позволяет осуществлять заблаговременное решение технических проблем и формировать качественный подход к регулированию режимов работы водоканалов.

Список литературы

1 «Цифровой водоканал»: потенциал, достоинства и недостатки // Элдис. – URL: <https://eldis24.ru/news/articles/tsifrovoy-vodokanal-potentsial-dostoinstva-i-nedostatki/> (дата обращения: 6.03.2025).

УДК 628.16

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕОЛИТОВЫХ ЗАГРУЗОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ИСХОДНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ ВИТЕБСКОГО РЕГИОНА

Е. С. ВЕЛЮГО, В. Д. ЮЩЕНКО

*Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь
e.velugo@psu.by*

Введение. Подземные воды Витебского региона нередко содержат в своем составе железо в комплексной форме, а также могут быть значительные концентрации органических соединений, прежде всего аммонийных солей и перманганатной окисляемости.

Как показывают наши исследования [1, 2], использование окислителей (кислорода воздуха и гипохлорита натрия, совместно или раздельно) с последующей обработкой на фильтрах с каталитическими и сорбционными загрузками для удаления загрязнителей до нормативных значений не всегда является эффективным. Особенно это проявляется в напорных фильтрах водоподготовки малых населенных пунктов, где очень часто проблема качества питьевой воды сложного состава остается все еще актуальной.

В последнее время благодаря своим адсорбционным, каталитическим и ионообменным свойствам в качестве загрузки напорных фильтров стали широко применяться цеолитовые материалы с общей химической формулой $\text{Me}_n\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Эффективность удаления микроэлементов типа железа и марганца, а также снижения органических соединений в подземных водах цеолитами прежде всего зависит от доли алюмосиликатной и натриевой группы в их составе, которая определяет размер пор данного материала, позволяющих в конечном итоге селективно удалять различные ионы и вещества размером 2 нм и менее [3].

На первом этапе [4] были проведены исследования для двух объектов по удалению комплексных соединений железа аэрацией и с использованием цеолитовых загрузок марки *Экоферокс* и *Цеол*, отличающихся между собой минеральным составом и долей клиноптилолита.

Установлено, что при содержании в подземной воде трудно окисляемой (комплексной) формы железа, ее обработке аэрацией с воздушно-водяным соотношением до 2 : 1 и последующим фильтрованием на песчаной загрузке или с применением сорбентов *АС* и *ОДМ-2ф* не происходило его удаление до нормируемого значения. В данном случае концентрация аммонийного азота в подземных водах рассматриваемых объектов составляла менее нормируемой величины ($1,5 \text{ мг/дм}^3$), а окисляемость до $5 \text{ мг } \text{O}_2/\text{дм}^3$, то есть удаление комплексных форм железа явилось основной задачей при использовании цеолитов этих марок [4]. Были сделаны следующие выводы:

- цеолитовые загрузки *Ecoferox* и *Цеол* могут рассматриваться в качестве загрузок для обезжелезивания воды, работающих даже с длительными простоями в течение суток;

- процесс удаления комплексного железа из природных вод на материалах на основе цеолитов для фильтров обезжелезивания воды осуществляется за счет сорбционных каталитических процессов;

- цеолитовые загрузки отличаются примерно в 30–35 % более низкой скоростью для обратной промывки фильтров, чем на песчаной загрузке, что сокращает потери воды и мощность промывных насосов;

- по сравнению с *Цеолом* исследуемый материал *Экоферокс* проявил малую способность к окислению аммонийного азота и снижению перманганатной окисляемости.

Цель работы – провести исследования по рассмотрению способности применения цеолита марки *Цеол* для возможного удаления загрязнений из воды сложного состава.

Методология исследований. Исследования были проведены на пилотной (полупроизводственной) установке, загруженной цеолитом на подземной воде исходного состава двух объектов Витебской области, которая отличается повышенными концентрациями по железу, марганцу, аммиаку (по азоту) и перманганатной окисляемости.

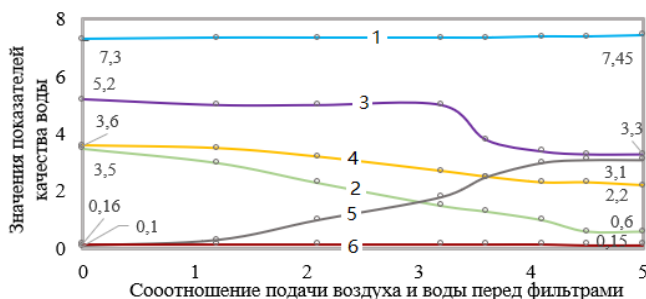
Состав исходной воды объекта № 1 соответствовал следующим параметрам: железо – $3,5 \text{ мг/дм}^3$, аммонийный азот – $3,6 \text{ мг/дм}^3$, перманганатная

окисляемость – 5,2 мг/дм³, марганец – 0,12 мг/дм³, величина рН 7,2–7,3 ед. Состав исходной воды объекта № 2 соответствовал следующим параметрам: железо – 3,6 мг/дм³, аммонийный азот – 4,53 мг/дм³, перманганатная окисляемость – 5,6 мг/дм³, марганец – 0,16 мг/дм³, величина рН 7,2–7,3 ед.

Пилотная установка состоит из аэрационной колонны и стекловолокнистого фильтра диаметром 250 мм. Объем цеолита в фильтре составил 25 л. Скорость фильтрования воды составила 8 м/ч, расход – 0,4 м³/ч. Сжатый воздух в аэрационную колонну подавался компрессором, позволяющим устанавливать воздушно-водяное соотношение в 5 : 1. Пробы воды отбирались в начальный момент фильтрования воды и через каждые четыре часа непрерывной работы фильтра. Один раз в сутки проводилась промывка фильтра обратным током воды со скоростью 36 м/ч, продолжительностью 8 мин.

Результаты опытов представлены на рисунке 1.

а)



б)

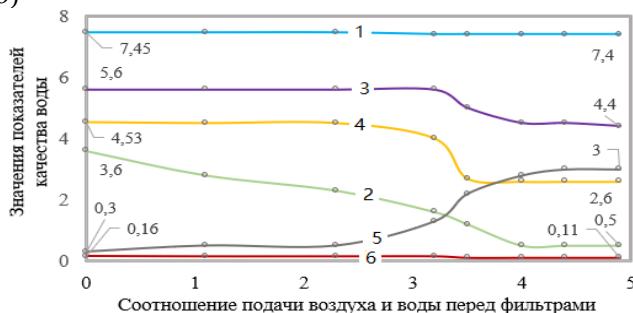


Рисунок 1 – Результаты опытов по аэрации воды исходного состава с последующим фильтрованием с цеолитовой загрузкой:

а – объект № 1; б – объект № 2:

- 1 – величина рН, ед; 2 – железо общее, мг/дм³; 3 – перманганатная окисляемость, мг/дм³;
4 – азот аммонийный, мг/дм³; 5 – растворенный кислород, мг/дм³;
6 – марганец, мг/дм³

Результаты проведенных экспериментов:

1) для обработки воды сложного состава цеолит показал большую эффективность ее очистки по сравнению с загрузками из песка и сорбентов;

2) с увеличением воздушно-водяного соотношения цеолит прежде всего снижает концентрацию железа и марганца соответственно до 0,5–0,6 и 0,1–0,11 мг/дм³, а затем, после его значения (3–3,5) : 1, – перманганатную окисляемость и азот аммонийный на 30–40 %;

3) перманганатная окисляемость стабилизируется ниже 5 мг/дм³, что соответствует нормативному значению, но не достигнуто по железу, марганцу и аммонийному азоту;

4) в данном случае для всех рассматриваемых видов загрязнений их снижение происходит, прежде всего, за счет сорбционных и каталитических процессов, может быть частично ионным обменом.

Вывод. Полученные результаты являются предпосылкой к дальнейшим исследованиям цеолитовых материалов и доработкой технологической схемы по очистке подземной воды сложного состава. Например, предусматривать аэрацию с двухступенчатым фильтрованием и повышением роли ионного обмена путем проведения реагентной регенерации цеолита.

Список литературы

1 Велюго, Е. С. К вопросу обработки подземных вод сложного состава в Республике Беларусь / Е. С. Велюго // Environment Protection : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. онлайн-конф., посвященной Междунар. дню охраны окружающей среды. Выпуск 1, Киев, 5 июня 2020 г. / Киевский национальный университет строительства и архитектуры ; под ред. П. М. Куликова [и др.]. – Киев, 2020. – С. 18–21.

2 Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в Республике Беларусь / В. Д. Ющенко, Е. С. Велюго, С. В. Седлуха [и др.]. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 124–130.

3 Study of Using Natural Sorbent to Reduce Iron Cations from Aqueous Solutions / I. Pandová, M. Rimár, A. Panda // Int J Environ Res Public Health. – 2020. – № 17 (10). – DOI: 10.3390/ijerph17103686. PMID: 32456216; PMCID: PMC7277563.

4 Велюго, Е. С. Исследование фильтрующих свойств цеолитовых загрузок для обезжелезивания воды на территории г. Полоцка / Е. С. Велюго, Т. В. Козицин, В. Д. Ющенко // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : сб. науч. тр. Междунар. науч. конф., Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфенова [и др.]. – Новополоцк, 2019. – С. 533–538.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ УМНОГО ДОМА

К. М. ГОЛОМИДОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
golomidovaksenia18@gmail.com*

Актуальность. На сегодня система «умный дом» позволяет автоматизировать работу инженерных сетей для обеспечения высокой степени комфорта проживания и эффективности использования ресурсов.

Технологии умного дома постоянно развиваются, с помощью системы умный дом появилась возможность управлять подсистемами внутри жилых помещений: водоснабжением, теплоснабжением, климатом и вентиляцией.

Цель работы – анализ существующих автоматизированных систем водоснабжения, теплоснабжения и вентиляции на базе технологий умного дома.

Основные результаты. Система «умный дом» начала развиваться с 2000 г. в Англии, в то время системы автоматизации внутреннего водоснабжения и теплоснабжения имели малый спрос в связи с проблемами интегрирования с другими системами снабжения жилых домов. Система «умный дом» позволяет информировать пользователей о параметрах работы элементов, сообщать о наличии протечек в трубопроводах, измерять температуру воздуха в помещении и др. Система водоснабжения «умный дом» контролирует протечки воды в каждом помещении, при возникновении аварийной ситуации производит быстрое отключение подачи воды к потребителю с помощью электрических вентилей. Для работы системы «умный дом» в квартирах и на основных участках системы водоснабжения предусматривается установка датчиков давления и расхода воды.

Одна из важных задач, которую решают умные приборы, – контроль индивидуального потребления в режиме реального времени.

В системе «умный дом» используются запорная арматура в виде шаровых кранов с электроприводом, мембранные клапаны, дисковые затворы с пневмоприводом. Большую популярность имеют умные счетчики воды, которые легко интегрируются как в систему умного дома, так и в системы диспетчеризации. Использование умных счетчиков с передачей данных по Wi-Fi приводит к снижению расходов. Упрощение их внедрения и запуска повышает спрос на их установку в новых жилых квартирах. Удобные функциональные приборы позволяют производить мониторинг водопотребления пользователем через специальное мобильное приложение.

Система отопления умного дома обеспечивает регулировку температуры внутри помещения и поддержание ее на заданном уровне независимо от температуры воздуха на улице, что позволяет:

- сократить затраты времени на регулировку температурного режима в помещениях;
- поддерживать оптимальный температурный режим в помещении;
- осуществлять эксплуатацию нагревательного оборудования в щадящем режиме, продлевая его срок службы;
- обеспечивать безопасность эксплуатации оборудования, контроль перегревов и перегрузок давления.

Основными элементами системы отопления умного дома являются:

- датчики температуры и влажности;
- термоголовки, регулирующие клапаны, насосы и т. д.;
- системы автоматизации и управления;
- датчики движения.

Для упрощения контроля работы систем отопления и вентиляции используются системы диспетчеризации, основным элементом которых является компьютер. Система автоматизированного воздухообмена повышает энергоэффективность и создает в квартире благоприятный микроклимат. Автоматизированные установки вентиляции оснащены датчиками качества воздуха, которые постоянно отслеживают температуру, влажность, уровень углекислого газа и наличие загрязняющих веществ в жилых помещениях.

Работу системы вентиляции возможно настроить на определенный промежуток времени, что существенно снижает энергопотребление по сравнению с традиционными установками. Многие автоматизированные системы вентиляции оснащены функцией рекуперации тепла, которая позволяет создавать тепло из вытяжного воздуха и использовать его для нагрева приточного воздуха, снижая затраты на отопление.

Систему умного воздухообмена можно привязать к другим инженерным системам, например вентиляция может самостоятельно отключаться, если датчик движения не обнаруживает присутствия людей в комнате или окна в квартире открыты. Такая настройка предотвратит одновременный обогрев и охлаждение одного помещения разными устройствами. Умная система может автономно запускаться в определенное время или переходить в энергосберегающий режим.

Вывод. Автоматизация систем водоснабжения, теплоснабжения и вентиляции позволяет повысить степень комфорта и безопасности для проживания людей, улучшить работу инженерных систем, а также способствует рациональному использованию ресурсов. На сегодня использование автоматизированных систем становится необходимым условием для строительства новых жилых зданий с целью улучшения работы систем и увеличения срока эксплуатации.

Список литературы

1 Внедрение систем «Умный дом» на примере многоквартирного жилого дома / И. В. Шанюкевич, Я. В. Гузаревич, Е. Д. Курганов, П. О. Лапука // Актуальные проблемы экономики и организации строительства : материалы студ. науч.-техн. конф. БНТУ «Наука – образованию, производству, экономике», и 17-й студ. науч.-техн. конф. БНТУ, 12–14 мая 2021 г. / редкол. : О. С. Голубова [и др.] ; сост. Н. А. Пашкевич ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – С. 257–266.

2 **Ращинский, Н. В.** «Умный дом» для комфортного пребывания в жилых помещениях / Н. В. Ращинский. – Полоцк : Полоцк. гос. ун-т., 2023.

3 **Липунова, М. И.** Автоматизация систем отопления умных домов / М. И. Липунова // Молодой ученый. – 2024. – № 22 (521). – С. 28–30

УДК 551.4(476.13)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А. В. ГРИЩЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
grishhenko19n@gmail.com*

Актуальность. Современные технологии в области очистки сточных вод играют важную роль в сохранении природных экосистем. Они позволяют увеличить эффективность, снизить эксплуатационные затраты и энергопотребление на очистку сточных вод.

Цель работы – анализ вариантов внедрения инновационных технологий в область очистки сточных вод.

Основные результаты. В настоящее время существует большое количество проверенных методов очистки сточных вод, которые повсеместно используются на различных очистных станциях. Однако применение таких методов не всегда экономически выгодно и целесообразно, если речь идет о небольших населенных пунктах. Одним из менее распространенных методов очистки является фитоочистка или гидроботанический метод – это технология, искусственно реконструирующая природную способность водных объектов к самоочистке. Процесс очистки основывается на микроорганизмах, которые в процессе жизнедеятельности поглощают органические вещества и таким образом очищают воду. При комбинации с высшими водными растениями создаются более комфортные условия для роста и развития бактерий, которые позволяют удалять из воды тяжелые металлы путем поглощения их корнями растений.

Процессы очистки воды в фитоочистных сооружениях (ФОС) происходят за счет жизнедеятельности фотоавтотрофных организмов (растительности). В этом их главное отличие от классических сооружений с активным илом. Очистка воды от биогенных элементов в ФОС происходит не только за счет процессов биохимического окисления, нитрификации / денитрификации, но и за счет ассимиляции биогенов растительной биомассой. Высшая растительность выполняет функцию не только «ассимилятора» загрязняющих веществ, но и «загрузки», на которой развиваются прикрепленные бактериальные ценозы: на корнях – в случае полупогруженных растений; на корнях, листьях и стеблях – в случае полностью погруженных растений.

Изначально для фитоочистки использовалась простейшая технология, представлявшая собой биопруды. Со временем начал проводиться поиск путей для усовершенствования технологии, появились технологии фитоочистки с системами горизонтального и вертикального движения воды, которые способствовали удалению не только органических загрязнителей, но и азотсодержащих загрязняющих веществ.

В настоящее время существует пять обособленных подходов фитоочистки:

- на основе погруженного горизонтального движения воды;
- на основе погруженного вертикального движения воды;
- на основе погруженного вертикального потока (*VF* или *SFS-v*);
- французская технология без использования септиков (улучшенная фитоочистка);
- аэрируемая фитоочистка.

Фитоочистка на основе погруженного горизонтального потока (*HF* или *SFS-h*) состоит из одного или нескольких водоемов, заполненных специально подобранным инертным материалом, в которых воды движутся горизонтально в слое загрузки при условиях постоянного насыщения. Растения, используемые для этих целей, принадлежат к группам погружных гелофитов, имеющих корневую систему.

Фитоочистка на основе погруженного вертикального потока (*VF* или *SFS-v*) состоит из одного или нескольких водоемов, заполненных слоями гравия и песка различной гранулометрической зернистости, в которых сточные воды, распределяемые на их поверхности с помощью насоса или сифона, двигаются вертикально через слой загрузки в условиях чередующегося насыщения. Растения, используемые для этих целей, принадлежат к группам погружных гелофитов, имеющих корневую систему.

Французская техника (*FRB*) является технологическим решением более чем 20 лет, используемая во Франции и инновационная для Италии. Её основным преимуществом является то, что она не требует предварительного осаждения, что снижает затраты на управление, так как не образуется отработанный осадок

активного ила. Кроме того, обеспечивается высокая эффективность очистки и небольшой размер самих сооружений.

Аэрируемая фитоочистка (FBA) – реализуется в одном или нескольких водоемах горизонтального или вертикального движения воды, поддерживаемых в режиме насыщения, в которые встроена система подачи воздуха посредством компрессионной воздушной насосной станции. Воздух, подаваемый в загрузку, позволяет оптимизировать процессы окисления, сокращая в 4–5 раз (по сравнению с классическими методами фитоочистки) потребность в территории для сооружений. Энергопотребление при этом остается минимальным по сравнению со стандартными очистными сооружениями, работающими на активном иле.

В настоящее время сооружения фитоочистки получают широкое распространение во многих странах мира, наибольшее количество представлено в Германии и США. Компания *Ambiente*, занимающаяся строительством и эксплуатацией фитоочистных сооружений, предлагает варианты применения данной технологии для очистки сточных вод различных типов и промышленных областей. Данная технология может быть использована для очистки сточных вод от аэропортов, торговых центров, продуктовых баз, промышленных, сельскохозяйственных и пищевых производств, населенных пунктов. Специалисты компании *Ambiente* утверждают, что фитоочистку всегда возможно применить даже при увеличении нагрузок, единственным ограничением является пространство доступной территории.

Площадные характеристики ФОС имеют следующие значения: максимальные площади, необходимые для систем с открытой поверхностью, составляют 3–10 м² на 1 популяционный эквивалент (ПЭ). Минимальные площади же составляют до 0,2 м². Для сравнения очистные сооружения Москвы имеют площадь около 0,33 м²/ПЭ [2].

Капитальные затраты на строительство ФОС в сравнении с классическими очистными сооружениями на 20–30 % ниже, кроме того ФОС имеют низкие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание [2].

Главное отличие фитоочистных систем от других технологий очистки сточных вод в следующем:

- биогеохимическая совместимость с природными ландшафтами, эстетическая привлекательность;
- высокая надежность сооружений в течение длительного времени, повышение эффективности очистки со временем;
- удаление загрязняющих веществ (и ксенобиотиков) до нормативных требований за счет использования растительно-бактериальных сообществ;
- отсутствие необходимости применения реагентов для очистки воды и для обеззараживания;
- низкие эксплуатационные затраты, основанные на сравнительно небольшом энергопотреблении;
- меньшая численность персонала.

Выводы. Технология фитоочистки может стать хорошей альтернативой классическим системам биологической очистки на малых и средних очистных сооружениях. Задокументированные исследования показывают, что фитоочистка применима к большому количеству промышленных областей и для различных типов сточных вод. Разнообразие технологий данного метода позволяет применять различные варианты в зависимости от характеристики сточных вод и требований к их очистке в каждом конкретном случае.

Список литературы

1 Брешини, Р. Фитоочистка как инновационный метод водоочистки / Р. Брешини // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14, № 7. – С. 885–900.

2 Применение фито-систем для очистки сточных вод России / Н. М. Щеголькова, В. Диас, Е. А. Криксунов, К. Ю. Рыбка // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2014. – № 5. – С. 20–31

УДК 502.51:006

АНАЛИЗ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОСТУПЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИТОКА ВОДЫ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ (КАНАЛИЗАЦИИ) НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

А. И. ДЕНИЩИК, Ю. В. ГОЛОД
РУП «ЦНИИКИВР», г. Минск, Республика Беларусь
onvnaos@cricuwr.by

Актуальность. Проблема поступления дополнительного притока вод в системы водоотведения (канализации) населенных пунктов является одной из наиболее значимых в сфере жилищно-коммунального хозяйства и экологии. Рост урбанизации, увеличение интенсивности атмосферных осадков, вызванное изменением климата, износ систем водоотведения (канализации) приводят к значительным перегрузкам канализационных сетей. Это, в свою очередь, вызывает ряд серьезных последствий, таких как переполнение коллекторов, затопление территорий, увеличение нагрузки на коммунальные очистные сооружения сточных вод и, как следствие, сброс недостаточно очищенных сточных вод в окружающую среду.

Цель работы – анализ источников, причин и последствий поступления дополнительного притока вод в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, а также разработка научно обоснованных

рекомендаций по снижению негативного воздействия данного явления на коммунальную инфраструктуру, экологию и качество жизни населения.

Основные результаты. Системы водоотведения (канализации) населенных пунктов предназначены для сбора хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, их транспортировки, очистки и сброса очищенных сточных вод в окружающую среду. Однако эффективность работы системы водоотведения (канализации) может быть значительно снижена за счет поступления дополнительного притока вод, который не связан с хозяйственно-бытовыми или производственными сточными водами и неорганизованно поступает в сети канализации. Одним из основных источников поступления дополнительного притока вод, неорганизованно поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, является приток, связанный с поступлением поверхностных сточных вод, а также приток, связанный с поступлением грунтовых вод (инфильтрация в сети). Приток, связанный с поступлением поверхностных сточных вод, образуется в результате выпадения атмосферных осадков и снеготаяния, которые поступают в систему водоотведения (канализации) с крыш зданий, дорог, тротуаров и других непроницаемых покрытий через неплотности люков, трещины, неплотные соединения сетей канализации, а также при затоплении смотровых колодцев сетей канализации, которое может происходить в случае, если сети канализации расположены на низменных территориях, где скапливаются осадки. Приток, связанный с поступлением грунтовых вод, происходит за счет инфильтрации грунтовых вод через поврежденные участки труб, стыки или трещины сетей канализации.

Для притока, связанного с поступлением поверхностных сточных вод, характерно поступление большого объема их в систему водоотведения (канализации) за относительно короткий период времени, например во время сильных дождей или интенсивного снеготаяния. Приток, связанный с поступлением грунтовых вод, в свою очередь во многом зависит от уровня грунтовых вод, и его поступление в сети канализации происходит медленно, но продолжительное время.

Причинами поступления дополнительного притока воды в системы водоотведения (канализации) могут служить:

- 1 Износ канализационных сетей. Со временем материалы труб и соединений теряют свою герметичность из-за коррозии, механических повреждений или естественного старения. Это создает условия для проникновения поверхностных и грунтовых вод. В соответствии с исследованиями [1] порядка 80 % дополнительного притока вод поступает через сети канализации большого диаметра.

- 2 Уровень грунтовых вод. В районах с высоким уровнем грунтовых вод даже небольшие повреждения в канализационной сети могут стать причиной значительного притока грунтовых вод.

3 Отсутствие регулярного технического обслуживания сетей канализации. Несвоевременное устранение дефектов сетей канализации способствует накоплению проблем, которые в итоге приводят к проникновению вод в сети канализации.

4 Врезки дождевой канализации в систему водоотведения (канализации) населенных пунктов. Несанкционированные подключения дождевой канализации к системе водоотведения (канализации) населенных пунктов приводит к поступлению поверхностных сточных вод в систему водоотведения (канализации) населенных пунктов.

5 Ошибки проектирования и строительства. Неправильное проектирование системы водоотведения (канализации), проектирование без учета уровня грунтовых вод или недостаточная гидроизоляция могут привести к дополнительному притоку вод в систему водоотведения (канализации).

Поступление дополнительного притока вод в системы водоотведения (канализации), создает проблемы технического, экономического и экологического характера.

Дополнительный приток вод приводит к увеличению нагрузки на сети канализации, насосное оборудование и другие элементы системы водоотведения (канализации), сокращая их срок службы. В некоторых случаях резкое увеличение объема сточных вод в сети канализации, во многом за счет притока вод, связанного с поступлением поверхностных сточных вод, может стать причиной гидравлического удара и привести к нарушению целостности сетей канализации.

Дополнительный приток вод также приводит к увеличению нагрузки на очистные сооружения сточных вод, что влияет на эффективность работы коммунальных очистных сооружений, так как для поверхностей сточных вод характерно высокое содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов, что может стать причиной сброса недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты. Кроме того, дополнительный приток в целом может оказывать влияние на качественный состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения, что затрудняет их очистку. Перегрузка канализационных сетей увеличивает эксплуатационные расходы, включая затраты на ремонт, ликвидации аварии и затопления. Увеличение объема сточных вод, которые проходят очистку на очистных сооружениях, влечет дополнительные финансовые затраты организаций водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

В мировой практике в настоящее время применяются следующие способы диагностики поступления дополнительного притока вод в систему водоотведения (канализации):

1 Телеинспекция канализационных сетей. Использование специальных камер позволяет визуально оценить состояние труб, обнаружить трещины, разрывы и места проникновения грунтовых вод.

2 Гидродинамическое тестирование. Метод заключается в подаче воды под давлением в канализационную сеть для выявления утечек и повреждений.

3 Анализ расхода сточных вод. Сравнение объемов сточных вод в сухую и дождливую погоду помогает выявить наличие дополнительного притока вод.

4 Контроль уровня грунтовых вод. Регулярный мониторинг уровня грунтовых вод позволяет оценить риск их проникновения в канализационную сеть.

5 Использование трассирующих веществ. Введение в систему специальных красителей или химических маркеров помогает определить пути проникновения дополнительного притока вод.

Выводы. Дополнительный приток вод, неорганизованно поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, является серьезной проблемой, которая требует своевременного выявления и устранения. Понимание причин и последствий этого явления, а также применение современных методов диагностики позволит минимизировать ущерб и обеспечить эффективную работу системы водоотведения (канализации) и недопущение сброса недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты.

Список литературы

1 Zeydalinejad Nejat. Global perspectives on groundwater infiltration to sewer networks: A threat to urban sustainability / Nejat Zeydalinejad, Akbar A. Javadi, James L. Webber // Water Research. – Vol. 262. – 2024. – P. 122098.

УДК 551.4(476.13)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Я. А. ДУНИН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
yan.dunin2013@yandex.by*

Актуальность. Нефть, попадая в водоем, образует масляную пленку на поверхности, не допуская проникновение кислорода в объем акватории. Кроме этого, нефть содержит токсичные компоненты, оказывающие разрушительное воздействие даже в небольших концентрациях [1–3]. Это приводит к гибели живых существ, разрушению экосистем и снижению биоразнообразия. Для человека опасно содержание нефти в питьевой воде.

Цель работы – анализ инновационных технологий в очистке сточных вод от нефтепродуктов.

Основные результаты. Попадание в воду нефтепродуктов (нефти, топлива, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и других углеводородов) может происходить в результате:

- аварийных разливов нефти при ее добыче, хранении и перевозке (20 % разливов становятся причиной экологических катастроф);
- загрязнения сточных вод промышленных предприятий, которые используют в производстве топливо и СОЖ;

– загрязнения дождевых сточных вод поверхностно-активными веществами (ПАВ) и нефтепродуктами при стекании в дождевую канализацию атмосферных осадков.

Для выбора эффективного способа очистки воды от нефтяных загрязнений нужно провести качественный и количественный анализ состава сточных вод, чтобы определить, насколько они загрязнены. После этого можно перейти к составлению схемы очистки сточных вод, включающей способы, оборудование, реагенты, обеспечивающие наиболее эффективное удаление загрязняющих компонентов.

Для оперативного устранения разливов нефти эффективно применение диспергентов [2, 3], которые расщепляют нефть, превращая в мелкие эмульсии, поддающиеся естественному разложению. Диспергенты представляют смесь ПАВ в растворителе. Растворитель включает две функции: действует как разбавитель, снижающий вязкость ПАВ с тем, чтобы его можно было распылять, а также способствует проникновению ПАВ в масляное пятно [1]. Этот метод позволяет значительно ускорить процесс очистки, снижая вред окружающей среды. Современные диспергенты обладают низкой токсичностью, высокой эффективностью и могут использоваться как в открытых водоемах, так и в прибрежных зонах, не нанося вред экосистемам.

Обработка разливов нефти диспергентами является одним из самых оперативных и эффективных методов ликвидации плавающих нефтяных пленок. Кроме этого, применяемые ПАВ предотвращают прилипание капель нефти к твердым поверхностям, включая перья птиц, песок, камни.

Эффективным методом удаления нефтепродуктов из сточной воды является применение напорных и безнапорных гидроциклонов, принцип действия которых основан на действии центробежных сил.

В напорный гидроциклон вода подается через патрубок под воздействием давления. Благодаря этому вдоль конических и цилиндрических стенок создается спиралевидный поток, в котором вредные вещества, находящиеся в воде, отделяются и попадают на дно устройства. Очищенная вода выводится через отводную трубу, расположенную в верхней части гидроциклона. Таким методом можно очистить воду от 70 % вредных нефтепримесей.

В безнапорных гидроциклонах спиралевидный поток очищаемой сточной воды создается за счет откачки из патрубка, находящегося внизу устройства. Вредные вещества, от которых нужно очистить воду, собираются в центральной части аппарата в виде пленки, которая выводится по сбросовому патрубку. Этот метод эффективен для удаления из сточных вод примесей в виде мелких и достаточно твердых частиц, которые задерживаются в сетках фильтров.

Эффективным методом является более глубокая механическая очистка сточных вод от нефтепродуктов при использовании фильтров каркасного типа, в которых в качестве материалов, улавливающих вредные частицы,

применяются [1, 4, 5]: керамзит; кварцевый песок; пенополистирол; шлак (котельный или металлургический); антрацит; пористые зернистые материалы; волокнистые материалы; нетканая синтетика; пенополиуретан и другие пористые материалы высокой степени эластичности.

Перспективным методом очистки сточных вод от нефти является биочистка. Биологические методы очистки сточных вод от нефтепродуктов наиболее современны и безопасны [5]. Сущность их заключается в том, что для удаления из воды нефти и нефтепродуктов используют природные способности и свойства микроорганизмов к их расщеплению.

Некоторые микроорганизмы используют непосредственно саму нефть и нефтепродукты в процессе жизнедеятельности в качестве основного источника питания. Переработанные микроорганизмами нефтепродукты окисляются с последующим разложением на безопасные для человека и окружающей среды вещества: воду, углекислый газ, соли (нитраты и сульфаты).

Критериями оценки эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов являются концентрация взвешенных веществ в очищенной воде; содержание нефтепродуктов в очищенных стоках; уровень pH и биологического потребления кислорода.

Вывод. Выбор способа очистки сточных вод от нефтепродуктов определяется составом сточных вод, их объемом и требуемыми нормами ПДК нефтепродуктов. Наиболее эффективными методами очистки воды от нефтепродуктов являются биологические методы, так как они позволяют использовать свойства микроорганизмов к расщеплению. Переработанные нефтепродукты окисляются, а затем разлагаются на безопасные для человека и окружающую среду вещества.

Список литературы

1 Современный подход к ликвидации разливов нефти: «ОйлСд Про» – инновационный диспергент // Корабел.ру. – URL: https://www.korabel.ru/-news/comments/sovremennyy_podhod_k_likvidacii_razlivov_nefti_oysld_pro_innovacionnyy_dispergent.html (дата обращения: 22.02.2025).

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. Невеорова. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.

3 **Буря, А. И.** Вода – свойства, проблемы и методы очистки : монография / А. И. Буря, Е. Ф. Кудина. – Днепропетровск : Пороги, 2006. – 520 с.

4 **Сизенева, М. Е.** Очистка воды как проблема экологии человека / М. Е. Сизенева, Г. И. Могилевская // Modern Science. – 2020. – № 11–1. – С. 419–422.

5 Методы очистки нефтесодержащих вод / В. А. Чернов, Д. И. Бевза, О. П. Шураев, А. Г. Чичурин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 3. – С. 50–59.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. В. ЕВДОКИМОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
alesya0708@gmail.com*

Актуальность. В современном мире проблема загрязнения окружающей среды становится всё более актуальной. Особенно остро этот вопрос стоит в малых населенных пунктах, где зачастую отсутствуют или неэффективно функционируют очистные сооружения.

В Республике Беларусь в небольших городах, поселках городского типа и селах, которые можно отнести к малым населенным пунктам, проживает более 60 % населения. Сегодня всего около 3 % сельских населенных пунктов имеют централизованную хозяйственно-бытовую канализацию, что представляет большую опасность для окружающей среды и санитарной обстановки в стране [2].

Цель работы – анализ эффективности работы очистных сооружений малых населенных пунктов.

Основные результаты. Малые населенные пункты, как правило, имеют локальные системы канализации и очистки сточных вод. В отличие от крупных городов, где используются современные технологии механической и биологической очистки, в малых населенных пунктах чаще всего применяются септики, аэротенки продленной аэрации, биологические пруды и поля фильтрации. Эти системы рассчитаны на небольшой расход сточных вод. Выделены основные факторы, оказывающие влияние на эффективность работы очистных сооружений малых населенных пунктов:

- неудовлетворительное техническое состояние очистных сооружений, обусловленное отсутствием регулярного обслуживания оборудования;
- неравномерность поступления и колебания качественного состава поступающих сточных вод;
- несоблюдение режима работы очистных сооружений.

Контроль за работой очистных сооружений необходим для обеспечения эффективной очистки сточных вод. Одним из основных критериев эффективной работы очистных сооружений является степень очистки сточных вод.

Для обследования выбраны очистные сооружения населенных пунктов Шклов и Мосты Правые. Состав очистных сооружений населенного пункта

Шклов: приемная камера, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды, первичные радиальные отстойники, аэротенк продленной аэрации, вторичные радиальные отстойники, контактные резервуары.

На основании обследования очистных сооружений города Шклов установлено, что:

- в решетках низкая эффективность задержания отбросов из-за широких прозоров между стержнями решетки;
- горизонтальные песколовки имеют отколотые края, но на работе самих сооружений это никак не сказывается;
- в первичных радиальных отстойниках отсутствуют водосливы, что не позволяет равномерно распределить сточную воду по всему периметру;
- во вторичных радиальных отстойниках имеются зубчатые водосливы, которые частично разрушены и требуют замены [1].

Превышения концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений над допустимыми значениями составляют: БПК₅ – в 2 раза, ХПК – в 1,5 раза, азот общий – в 2 раза. Существующие аэротенки продленной аэрации не обеспечивают эффективную очистку сточных вод.

Сточные воды населенного пункта Мосты Правые проходят механическую очистку и поступают на поля фильтрации. Проектная производительность очистных сооружений – 50 м³/сут. Сооружения механической очистки представляют собой решетки. Конструкции сооружений разрушены, поля фильтрации заросли [2].

На основании обследования очистных сооружений малых населенных пунктов выделены основные факторы низкой эффективности их работы: устаревшие технологии, недостаточная мощность работы существующих очистных сооружений. В населенных пунктах, где очистные сооружения имеют механическую очистку и поля фильтрации, в большинстве своём сооружения механической очистки разрушены и требуют реконструкции.

Поля фильтрации, построенные в 60–80-е г. XX в., можно отнести к типу сооружений, которые в технологическом отношении морально устарели, а их применение оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Распространённой практикой в Республике Беларусь является устройство полей фильтрации без отводящей сети. При значительных нагрузках велика вероятность фильтрации сточных вод, содержащих значительное количество биогенных элементов в грунт и нижележащие водоносные горизонты [2]. В соответствии с требованиями норм проектирования Республики Беларусь сточные воды перед направлением на поля фильтрации должны отстаивать. В реальных условиях отстойники или не работают, или отсутствуют в технологической схеме очистки.

Недостаточная мощность работы очистных сооружений при пропуске фактического расхода приводит к перегрузке системы и ухудшению качества очистки. Повышенные концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений негативно сказываются на состоянии водных объектов.

В некоторых населенных пунктах, таких как деревня Городки, Лясковичи и Пески Гомельского района отсутствует централизованная система канализация и ее строительство экономически нецелесообразно. В таких населенных пунктах отведение сточных вод от отдельно стоящих домов осуществляется в выгребные ямы, применение которых не экологично и требует частого вызова ассенизационной машины. И попадание таких сточных вод в грунт приводит к его загрязнению.

Выводы. В результате проведенного анализа работы очистных сооружений населенных пунктов установлено: поля фильтрации построенные в 60–80-е годы XX в. морально устарели и оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду; в малых населенных пунктах имеющих очистные сооружения включающие механическую и биологическую очистку, сооружения работают неэффективно, не обеспечивают очистку до нормативных значений на выпуске, требуют реконструкции. Аэротенки продленной аэрации не обеспечивают очистку сточных вод до допустимых значений на выпуске, поэтому необходимо производить их модернизацию.

В населённых пунктах, где очистные сооружения представляют собой механическую очистку с последующей биологической доочисткой на полях фильтрации, целесообразно строительство очистных сооружений с применением компактных установок заводского изготовления, которые обеспечивают эффективную очистку. При выборе эффективных технологий очистки при реконструкции или строительстве новых очистных сооружений необходимо применять простые технологии, обеспечивающие эффективную очистку сточных вод на выпуске очистных сооружений.

Список литературы

- 1 Евдокимова, А. В. Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Шклова / А. В. Евдокимова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. / под ред. Е. Ф. Кудиной ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2023. – С. 47–48.
- 2 Системы канализации малых населенных пунктов: текущая ситуация и проблемные аспекты / О. К. Новикова, А. Б. Невзорова // Труды БГТУ. – 2020. – № 2 (235). – С. 183–188.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

А. В. ЕВДОКИМОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
alesya0708@gmail.com*

Актуальность. В настоящее время процесс очистки сточных вод в малых населенных пунктах имеет большое экологическое значение.

подавляющая часть очистных сооружений в малых населенных пунктах была построена в 1970–1990-е гг. прошлого века и нуждается в реконструкции в части как изменения мощности, так и применения более современных технологий. Реконструкция очистных сооружений в малых населенных пунктах является важной задачей, направленной на улучшение качества очистки сточных вод и снижение негативного воздействия на окружающую среду [1].

Цель работы – анализ технологий, применяемых при реконструкции очистных сооружений малых населенных пунктов.

Основные результаты. Необходимость в реконструкции очистных сооружений возникает при невысокой эффективности работы одного или нескольких сооружений.

Сооружения биологической очистки являются одним из основных элементов процесса очистки сточных вод и включают две подгруппы:

- сооружения для очистки в естественных условиях;
- для очистки в искусственно созданных условиях [2].

Первая группа сооружений включает поля фильтрации, поля подземной фильтрации, фильтрующие колодцы и траншеи, песчано-гравийные фильтры, вентилируемые площадки подземной фильтрации, грунтово-растительные площадки, а также биологические пруды. Сооружения очистки сточных вод в искусственно созданных условиях включают следующие виды:

- биологические фильтры, предусматривающие очистку преимущественно прикрепленными формами микроорганизмов, в том числе создающими биопленку на поверхности носителя;
- сооружения очистки сточных вод активным илом, предусматривающие использование свободноплавающих форм микроорганизмов;
- комбинированные сооружения [2].

В большинстве населенных пунктов применяются поля фильтрации, биологические пруды, аэротенки продленной аэрации, однако большая

часть таких сооружений находится в аварийном или нерабочем состоянии. Поэтому они требуют реконструкции или полной замены.

Применение современных технологий повышает эффективность работы очистных сооружений, снижает эксплуатационные расходы и улучшает качество очистки сточных вод.

К современным биологическим методам, применяемым при строительстве или реконструкции очистных сооружений, можно отнести грунтово-растительные площадки и установки заводского изготовления.

Установки заводского изготовления представляют собой сооружения, состоящие из нескольких модулей, которые могут быть объединены в зависимости от потребностей конкретного населённого пункта. Технологии, применяемые в установках, аналогичны способам очистки, используемым на очистных сооружениях большой производительности, с тем отличием, что из-за требований по обеспечению компактности технологические емкости блокируются и унифицируются по типу применяемого оборудования [3].

Установки оснащаются автоматизированными системами управления, что снижает вероятность ошибок. Использование энергоэффективного оборудования позволяет сократить расходы на электроэнергию. Это позволяет гибко подходить к проектированию очистных сооружений.

Применение установок заводского изготовления при реконструкции очистных сооружений малых населенных пунктов имеет ряд преимуществ:

1) компактность и мобильность, что позволяет устанавливать их на небольших площадях;

2) высокая степень очистки по органическим веществам;

3) снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание.

Отличительным признаком грунтово-растительных площадок является использование водной, околородной и влаголюбивой растительности [3].

Преимущества применения грунтово-растительных площадок:

1) простота конструкции;

2) отсутствие сложных систем управления;

3) широкое использование местных строительных материалов;

4) использование естественных процессов очистки [3].

Установки заводского изготовления применяются и при строительстве новых очистных сооружений в малых населенных пунктах при производительности до 300 м³ в сутки, и при реконструкции существующих очистных сооружений для повышения эффективности очистки сточных вод.

Грунтово-растительные площадки – новый тип локальных очистных сооружений для Беларуси, сейчас по всей стране их не больше 10. В Германии, Польше, Швеции они широко используются в сельской местности, где дорого устраивать централизованную канализацию. В РБ в домах усадьбного типа сейчас распространены выгребные ямы и септики. Во время

эксплуатации таких очистных сооружений могут возникать ситуации, когда они становятся источником нитратного загрязнения грунтовых вод.

В некоторых малых населённых пунктах успешно внедряют современные технологии при реконструкции очистных сооружений. Например, локальное очистное сооружение, которое построено в д. Лукашино Ивьевского района, представляет грунтово-растительную площадку. Очистка происходит благодаря отстаиванию сточных вод и фильтрации через песчаный фильтр.

Выводы. Применение современных технологий при реконструкции очистных сооружений в малых населённых пунктах является важной задачей, обеспечивающей улучшение качества жизни населения и защиту окружающей среды. Современные технологии, такие как грунтово-растительные площадки и установки заводского изготовления, имеют ряд преимуществ при строительстве и реконструкции очистных сооружений в малых населённых пунктах. Эти сооружения обеспечивают качественную очистку сточных вод, экономичны и снижают негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

1 Ахмадиева, Ю. И. Выбор технологических решений при строительстве и реконструкции очистных сооружений сточных малых населённых пунктов / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Экология. – 2022. – № 4. – С. 97–107.

2 Ануфриев, В. Н. Очистные сооружения сточных вод: классификация в соответствии с новым стандартом / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2015. – № 6 (48) – С. 51–60.

3 Ануфриев, В. Н. Рекомендации по организации водоотведения в сельской местности / В. Н. Ануфриев. – Минск : Позитив центр, 2014. – 60 с.

УДК 628.32/35

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АЭРАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ С АКТИВНЫМ ИЛОМ

К. В. ЖУРО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
k66557238@gmail.com*

Актуальность. Сточные воды, образующиеся в результате бытовой и производственной деятельности человека, требуют эффективной очистки перед сбросом в водный объект. Биологическая очистка является основным методом очистки городских сточных вод. Для обеспечения оптимальной производительности, эффективной эксплуатации и защиты окружающей среды важно использовать корректный метод расчета аэрационных сооружений с активным илом.

Цель работы – анализ методов расчета сооружений биологической очистки для разработки оптимальной методики расчета.

Основные результаты. Реализация современных технологий очистки сточных вод от азота и фосфора при проектировании и реконструкции очистных сооружений и дальнейшая их эксплуатация сопровождаются двумя основными проблемами:

1) неточность проектных решений: неверно разработанная технологическая схема для конкретных сточных вод, ошибки в расчетах сооружений биологической очистки сточных вод от азота и фосфора, неоптимальное техническое (конструктивное) исполнение.

2) неэффективная эксплуатация очистных сооружений, особенно при пусконаладочных работах, а также при нештатных и аварийных ситуациях.

Для корректного проектирования аэрационных сооружений с активным илом необходимо провести анализ динамики расходов и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, и определить из полученного массива данных значения расходов и концентраций сточных вод, которые будут использоваться в расчете.

Выбор оптимальной технологической схемы удаления азота и фосфора осуществляется с учетом качественных и количественных параметров сточных вод, поступающих на биологическую очистку, и требований к качеству очищенной воды.

Важным моментом, на который стоит обратить внимание при анализе и оценке предлагаемых проектных решений, является достоверность выполненных расчетов объемов сооружений, количества образуемых осадков, а также технологических параметров работы сооружений и оборудования.

В настоящее время действующим в Республике Беларусь нормативным документом по проектированию очистных сооружений являются строительные нормы СН 4.01.02-2019 [2], разработанные на базе ТКП 45-4.01-321-2018 [1].

В Российской Федерации отсутствует обязательная к применению методика расчета очистных сооружений. Основная методика расчета, представленная в СНиП 2.04.03-85 [3], и разработанные на ее основе методики носят рекомендательный характер.

В качестве объекта исследования приняты очистные сооружения г. Гомеля. Проектная мощность по полной биологической очистке составляет 180 тыс. м³/сут. В настоящее время среднесуточный прием сточных вод очистными сооружениями составляет 115 тыс. м³/сут, при максимальном притоке 125 тыс. м³/сут.

На очистных сооружениях реализуется механическая и биологическая очистка. Механическая очистка включает в себя ступенчатые решетки, аэрируемые песколовки, первичные радиальные отстойники. В блок биологической очистки входят аэротенки и вторичные отстойники.

В настоящее время на очистных сооружениях эксплуатируется пять секций аэротенков:

- три четырехкоридорных аэротенка объемом 14580 м^3 ;
- два четырехкоридорных аэротенка объемом 12150 м^3 .

Два аэротенка объемом 14580 м^3 находится на реконструкции. Средняя доза ила на сегодня составляет $3,80 \text{ мг/л}$.

Выполнен анализ и расчет технологической схемы глубокого удаления азота и фосфора, которая заложена в проекте реконструкции (рисунок 1). *Bardenpho* – наиболее известная и широко применяемая в Европе схема очистки, позволяющая эффективно удалять соединения азота и фосфора на низконагружаемых сооружениях [4]. Данная схема применяется для очистки сточных вод с высокими концентрациями азота, так как позволяет достичь глубокого удаления соединений азота.

В данной схеме вторая аэробная зона используется для доокисления органических соединений. Концентрация растворенного кислорода в ней поддерживается, даже на выходе, не более $1,5\text{--}2,0 \text{ мг/л}$, что позволяет обеспечить минимальное количество растворенного кислорода, заносимого с возвратным активным илом в анаэробную зону, и повысить тем самым эффективность биологического удаления фосфора. Качество очищенной воды может достигать концентрации по общему азоту $2,0\text{--}5,0 \text{ мг/л}$ [4].

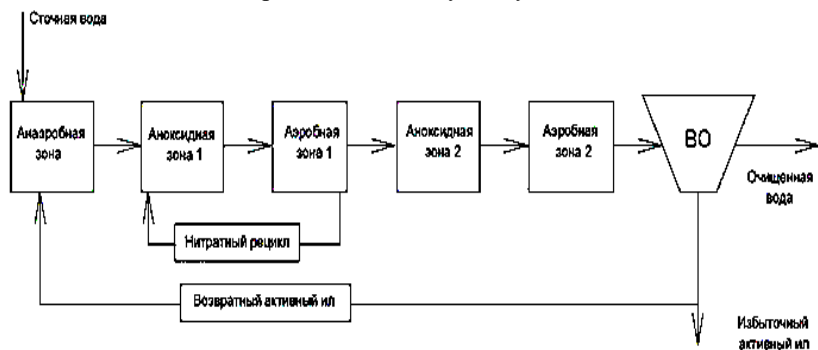


Рисунок 1 – Принципиальная схема процесса *Bardenpho*

В результате расчета рассмотренной схемы по методике, представленной в СН [2], установлено:

1 Возраст активного ила – $13,2$ сут. Прирост активного ила, получаемый в процессе биологической деструкции органических веществ, – 16597 кг/сут . Доза активного ила – 4 г/дм^3 . Объем технологических сооружений с активным илом составил 71070 м^3 .

2 Объемы зон в одной секции аэротенка объемом 14580 м^3 : анаэробной – 1414 м^3 , первой аноксидной зоны – 3329 м^3 , первой аэробной зоны – 3329 м^3 , второй аноксидной зоны – 3329 м^3 , второй аэробной зоны – 3329 м^3 .

3 Объемы зон в одной секции азротенка объемом 12150 м³: анаэробной – 1121 м³, первой аноксидной зоны – 3038 м³, первой аэробной зоны – 3038 м³, второй аноксидной зоны – 3037 м³, второй аэробной зоны – 3037 м³.

При расчете по методике, представленной в СНиП [3], установлено:

1 Доза активного ила – 4 г/дм³. Общий объем сооружений биологической очистки составил 81152 м³.

2 Объемы зон в одной секции азротенка объемом 14580 м³: анаэробной – 1960 м³, первой аноксидной зоны – 4247 м³, первой аэробной зоны – 4247 м³, второй аноксидной зоны – 4248 м³, второй аэробной зоны – 4248 м³.

3 Объемы зон в одной секции азротенка объемом 12150 м³: анаэробной – 1257 м³, первой аноксидной зоны – 2723 м³, первой аэробной зоны – 2723 м³, второй аноксидной зоны – 2723 м³, второй аэробной зоны – 2723 м³.

Вывод. Методики расчета сооружений с активным илом имеют свои преимущества и недостатки. Методика расчета Республики Беларусь является эффективной, отличается большей гибкостью, что позволяет лучше адаптироваться к изменениям в составе сточных вод. Однако некоторые параметры принимаются усредненно по табличным данным. Это может привести к неточности расчетов. Методика расчета аэрационных сооружений с активным илом в Российской Федерации не утверждена государством. До сих пор используется основной метод расчета, заложенный в СНиП [3], и является единственной возможностью рассчитывать и контролировать сооружения биологической очистки сточных вод.

Наличие надежного и проверенного метода расчета обеспечит контроль за необоснованным использованием непроверенных методов расчета, исключит неоправданное завышение стоимости строительства и реконструкции, позволит грамотно реализовать внедрение разрабатываемых наилучших доступных технологий на практике. Поэтому совершенствование и актуализация универсального, научно обоснованного метода расчета сооружений биологической очистки сточных вод является актуальной и неотложной задачей.

Список литературы

1 ТКП 45-4.01-202-2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования. – Введ. 16.03.2018. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 80 с.

2 СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Введ. 31.10.2019. – Минск. : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 80 с.

3 СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения: Актуализированная редакция. – Введ. 01.01.2013. – М. : М-во регионального развития РФ, 2013. – 129 с.

4 **Харькина, О. В.** Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харьковина. – Волгоград : Парама, 2015. – 433 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

А. М. ЗИМИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. Увеличение численности населения и стремительная урбанизация требуют эффективных и устойчивых инженерных решений для обеспечения необходимой инфраструктуры, таких как водо-, электро-, тепло- и газоснабжение. Современные инженерные системы должны учитывать экологические аспекты. Развитие новых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), автоматизация и цифровизация, открывает новые возможности для проектирования эффективных интеллектуальных инженерных систем. В глобальном масштабе наблюдается тренд на устойчивую архитектуру и «умные города», что требует комплексного подхода к проектированию инженерных систем и их адаптации к меняющимся условиям [1].

Цель работы – исследование и систематизация подходов к проектированию объектов инженерных систем с целью создания эффективных, устойчивых и безопасных инженерных решений, способствующих оптимизации эксплуатации ресурсов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Основные результаты.

Общие принципы и стандарты проектирования инженерных систем

Проектирование инженерных систем – это сложный процесс, требующий строгого соблюдения нормативных документов и стандартов. Важным аспектом является соблюдение требований к энергоэффективности и экологичности. Современные проекты все чаще разрабатываются с использованием BIM-технологий (*Building Information Modeling*), позволяющих создавать трехмерные модели зданий и инженерных систем, что значительно повышает точность и эффективность проектирования. Общие требования к надежности систем включают минимальные коэффициенты запаса прочности для трубопроводов и оборудования и расчеты рисков и вероятности отказов. При выборе материалов и оборудования необходимо учитывать требования нормативных документов и отдавать предпочтение качественной продукции от проверенных отечественных и зарубежных производителей.

Процесс проектирования состоит из этапов от разработки технического задания до подготовки рабочей документации. На первом этапе разрабатывается концепция и выбираются оптимальные решения. Затем проектная документация согласовывается с заинтересованными организациями. На этапе строительства и монтажа осуществляется авторский надзор, позволяющий контролировать соответствие выполненных работ проектным решениям. Анализ успешных проектов и типичных ошибок позволяет избежать повторения ошибок и внедрять современные инженерные решения. При проектировании

необходимо учитывать климатические особенности региона и экономическую целесообразность применяемых решений.

Проектирование систем газо-, тепло-, водоснабжения, канализации, автоматической пожарной сигнализации и систем для сельского хозяйства

Проектирование *систем газоснабжения* включает расчет потребления газа, выбор оборудования, определение диаметров газопроводов и давления газа. Важным элементом являются газорегуляторные пункты (ГРП) и шкафные газорегуляторные пункты (ШГРП), обеспечивающие поддержание необходимого давления газа в системе. Системы контроля загазованности и автоматического отключения газа обеспечивают безопасность эксплуатации газового оборудования. В современных проектах в настоящее время предусматривается интеграция систем газоснабжения с системами «умный дом», что позволяет автоматизировать управление газовым оборудованием.

При проектировании *систем теплоснабжения* необходимо выполнить расчет тепловых нагрузок и выбрать источники тепла. Проектирование тепловых сетей и тепловых пунктов также является важной задачей. В современных проектах все чаще используются возобновляемые источники энергии: солнечные коллекторы и тепловые насосы. Автоматизация управления тепловыми сетями и системами отопления позволяет повысить эффективность использования энергии и снизить затраты на отопление. Применение современных теплоизоляционных материалов снижает теплопотери и повышает энергоэффективность зданий.

Проектирование *систем водоснабжения и канализации* включает расчет потребления воды и выбор насосного оборудования [2]. Важным этапом является проектирование систем водоподготовки и очистки сточных вод. В качестве трубопроводов используются современные полимерные трубы, которые обладают высокой коррозионной стойкостью и долговечностью [3]. Системы учета и контроля расхода воды позволяют контролировать потребление воды и выявлять утечки. Разделение систем водоснабжения на хозяйственно-питьевые и противопожарные обеспечивает надежное водоснабжение при пожаре.

Автоматическая *пожарная сигнализация* проектируется на основе определения категорий пожарной опасности помещений. Выбор типа пожарных извещателей и систем оповещения зависит от особенностей объекта. Проектирование систем автоматического пожаротушения (водяное, пенное, газовое) позволяет быстро локализовать и потушить пожар. Интеграция систем пожарной сигнализации с системами управления зданием обеспечивает комплексную безопасность объекта. Важным требованием является обеспечение надежного электроснабжения систем пожарной сигнализации.

Для сельского хозяйства проектируются системы орошения и полива, которые обеспечивают оптимальное увлажнение почвы. Используются различные методы орошения: капельное орошение, дождевание и подпочвенное

орошение. Выбор насосного оборудования и трубопроводов зависит от площади орошаемого участка и требований к поливу. Автоматизация управления системами орошения позволяет оптимизировать расход воды и повысить урожайность. Также проектируются системы водоотведения и очистки стоков животноводческих комплексов, системы вентиляции и отопления теплиц и животноводческих помещений. В некоторых проектах используется геотермальная энергия для отопления теплиц. На рисунке 1 представлен пример проектирования объекта внутренними сетями.

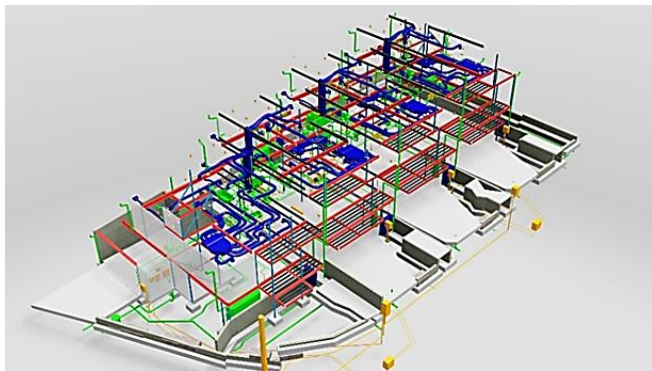


Рисунок 1 – Проект размещения инженерных сетей

Интеграция инженерных систем и обеспечение безопасности

При проектировании необходимо применять комплексный подход, который предполагает увязку всех инженерных систем между собой. Разрабатывается единая диспетчерская система управления зданием (BMS), которая позволяет контролировать и управлять всеми инженерными системами. Интеграция систем безопасности (охранная сигнализация, видеонаблюдение, контроль доступа) обеспечивает комплексную защиту объекта от несанкционированного доступа. Важным аспектом является обеспечение электромагнитной совместимости оборудования. Для обеспечения взрыво- и пожаробезопасности необходимо выполнять расчет зон безопасности вокруг газопроводов и оборудования, применять взрывозащищенное оборудование и обеспечивать огнестойкость строительных конструкций. Для охраны окружающей среды необходимо минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы, утилизировать отходы строительства и эксплуатации и использовать экологически чистые материалы.

Для успешной реализации проекта необходимо организовать процесс проектирования и строительства, разработать календарный план-график работ, распределить ответственность между участниками проекта и организовать строительный контроль и технический надзор. Для получения разрешительной документации необходимо пройти экспертизу проектной документации, получить разрешения на строительство и ввод объекта в эксплуатацию. Важным

этапом является контроль качества проектных и строительно-монтажных работ, включающий входной контроль материалов и оборудования, операционный контроль при выполнении работ и приемочный контроль после завершения работ. По завершении проекта оформляется исполнительная документация, включающая акты скрытых работ, протоколы испытаний и измерений и сертификаты соответствия на материалы и оборудование. После завершения строительства осуществляется мониторинг и анализ результатов реализации проекта, оценивается соответствие фактических показателей проектным, выявляются отклонения и разрабатываются корректирующие мероприятия, а также готовится отчет о завершении проекта и передается заказчику.

Выводы. Проектирование объектов инженерных систем представляет сложный и многогранный процесс, который требует глубоких знаний в области инженерии, строительства и управления. Эффективное проектирование обеспечивает не только функциональность и надежность систем, но и их устойчивость к внешним воздействиям и изменениям.

Список литературы

1 Епифанов, В. А. Создание современных систем нормативов и стандартов в проектировании объектов различного назначения в России / В. А. Епифанов // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2021. – № 16–1. – С. 321–324.

2 Георгиева, А. Й. Оптимизация процесса проектирования систем водоснабжения в зданиях / А. Й. Георгиева // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 6. – С. 94–97.

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.

УДК 539.3

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВОЛНЫ ПРИ ГИДРОУДАРЕ В ДВУХСЛОЙНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ТРУБАХ

С. В. КИРГИНЦЕВА, В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

kirgintseva.s@mail.ru, val-mozh@yandex.ru

Актуальность. В случае, если инфраструктуры водопроводов устарели, необходим ремонт, который бывает очень дорогостоящим, поэтому требуется использовать новые бестраншейные технологии для ремонта трубопроводов (CIPP) [1], то есть на основе метода вставки отвержденной, пропитанной смолой трубы («чулка»), которая часто бывает композитной. Разработка и развитие теории на базе механики элементов конструкций из

ортотропного материала, описывающей явления гидроудара при течении жидкости, является актуальной задачей. В частности, сюда входит расчет скорости волны, которая создает избыточное давление в трубе.

Цель работы – определение скорости волны при гидроударе для двухслойных труб из композитов, а также решение задачи компьютерной реализации расчета вышеуказанных параметров для труб из композиционных материалов и сравнение расчета с другими методиками.

Методики определения скорости волны при гидравлическом ударе при течении жидкости в двухслойных композитных трубах.

Скорость волны в ортотропных трубах с ортотропным покрытием определяется соотношением [2]

$$C = \sqrt{\frac{K / \rho}{1 + K \Omega}} ;$$

$$\Omega = \frac{2}{\alpha} \left[-1 + \left(\frac{-\beta}{\alpha} + 1 \right) \left(\frac{r_a}{r_b} \right)^{-2k_1} \times \frac{\left[\alpha \left(1 - (r_c / r_b)^{-2k_2} g / \gamma \right) - g \left(1 - (r_c / r_b)^{-2k_2} \right) \right]}{\beta \left(1 - (r_a / r_b)^{-2k_1} \right) \left(1 - (r_c / r_b)^{-2k_2} g / \gamma \right) - g \left(1 - (r_c / r_b)^{-2k_2} \right) \left(1 - (r_a / r_b)^{-2k_1} \beta / \alpha \right)} \right],$$

$$\beta = A_{12}^{(1)} - k_1 A_{11}^{(1)}; \alpha = A_{11}^{(1)} k_1 + A_{12}^{(1)}; \gamma = A_{11}^{(2)} k_2 + A_{12}^{(2)}; g = A_{12}^{(2)} - k_2 A_{11}^{(2)};$$

$$A_{11} = \frac{E_r}{1 - \nu_{r0} \nu_{0r}}; A_{12} = \nu_{r0} \frac{E_{\theta}}{1 - \nu_{r0} \nu_{0r}}; A_{22} = \frac{E_{\theta}}{1 - \nu_{r0} \nu_{0r}},$$

где r_a – внутренний радиус; r_c – внешний радиус; r_b – межслойный радиус для двухслойной трубы; верхние индексы «1» и «2» характеризуют материалы покрытия и трубы.

Коэффициенты обобщенного закона Гука определяются по зависимостям, в которых упругие характеристики материала вычисляют по правилу смесей [2]

$$E_r = E_m \frac{1 + \eta V}{1 - \eta V}, \quad E_{\theta} = V E_f + (1 - V) E_m; \quad \nu_{r0} = V \nu_f + (1 - V) \nu_m;$$

$$\eta = \frac{E_f - E_m}{E_f + E_m}; \quad G_{r0} = \frac{G_f G_m}{G_f (1 - V) + G_m V},$$

где E_f , G_f , ν_f – технические постоянные волокна, E_m , G_m , ν_m – технические постоянные матрицы, ρ – плотность жидкости, K – объёмный модуль упругости жидкости, V – объемное содержание волокон.

В [3] скорость волны для многослойных труб определяется следующим образом:

$$C = c^* / \sqrt{1 + a_{22}DK},$$

где $c^* = \sqrt{K/\rho}$ – скорость звука в жидкости; a_{22} – коэффициент, вычисляемый согласно методике [3]; D – диаметр трубы; параметры c^* и E являются константами с известными значениями для большинства жидкостей.

По указанным методикам создана программа в среде *Delphi*, которая адаптирована для двухслойных труб из композитов и проведен расчет для случая двухслойной ортотропной трубы.

Пример расчета. Рассмотрим двухслойную ортотропную трубу из материала, указанного в [4] (эпоксидная смола со стекловолокном: $E_f = 86$ ГПа; $\nu_f = 0,22$; $E_m = 3,76$ ГПа; $\nu_m = 0,374$), с радиусами $r_a = 0,12$ м, $r_b = 0,135$ м, $r_c = 0,15$ м. Исследуем влияние процентного содержания волокна в матрице композиционного материала на скорость волны при гидроударе. Результаты представлены на рисунке 1.

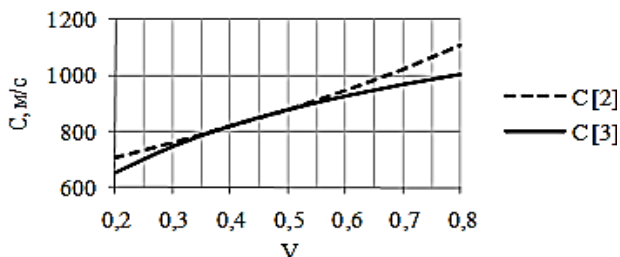


Рисунок 1 – График зависимости скорости волны, рассчитанной по методикам [2] и [3], от содержания волокна в матрице композиционного материала

Выводы. Представлены методики расчета скорости волны при гидроударе при течении жидкости в двухслойных трубах из композитов. Из рисунка 1 видно, что значения скоростей волны при гидравлическом ударе по методикам, представленным в [2] и [3], близки по значениям, отличие составляет не более 10 %. Для оптимизации трубопроводов из композиционных материалов необходимо производить компьютерный расчет скорости волны, далее определять возникающие дополнительные напряжения, что позволит предотвратить разрушения труб при эксплуатации.

Список литературы

1 **Можаровский, В. В.** Обзор литературы о реновации и перепрофилировании трубопроводов и явлений гидроудара с использованием инноваций и компьютерных технологий / В. В. Можаровский, Ю. В. Василевич, С. В. Киргинцева // Теоретическая

и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2024. – Вып. 39. – С. 86–99.

2 **Можаровский, В. В.** Скорость волны при гидроударе и напряженно-деформированное состояние слоистых футерованных труб из ортотропных материалов / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – № 2 (51). – С. 44–51.

3 **Pavlou, Dimitrios G.** Composite Materials in Piping Applications / Dimitrios G. Pavlou; Technological Institute of Halkida (TEI-Halkida). – Greece : Mechanical Engineering Department, 2013. – 395 p.

4 **Volnei Titaa.** Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes / Volnei Titaa, Mauricio Francisco Caliri Júniora, Ernesto Massaroppi Juniorb // Materials Research. – 2012. – № 15 (1). – P. 70–80.

УДК 004.9:528.8:332.1

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЛУЖБ И ПРЕДПРИЯТИЙ ЖКХ В ЕДИНУЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ГОРОДА

В. Н. КОВАЛЕНКО

*Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь,
Общество с ограниченной ответственностью «ПроГИС», г. Минск,
Республика Беларусь, kovalbyu@gmail.com*

Актуальность. Современные города сталкиваются с постоянным ростом нагрузки и усложнением управления инженерной инфраструктурой, что делает необходимым повышение энергоэффективности и оптимизацию производственных бизнес-процессов. Существующие цифровые системы ресурсоснабжающих организаций и специализированных служб (МЧС, ГАИ, Зеленстрой, Автодор и др.) зачастую функционируют асинхронно и разрозненно, представляя собой «обособленные царства», где взаимодействие с иными организациями осуществляется на минимальном уровне.

Отсутствие простых каналов связи и постоянного обмена информацией приводит к дублированию и устареванию данных, сложностям в координации между ведомствами, увеличению времени на принятие управленческих решений и неэффективному использованию ресурсов.

В условиях цифровизации городского хозяйства необходимо интегрировать разные информационные системы в единую геоинформационную платформу (доступную как службам, так и населению), которая позволит централизовать управление инженерной инфраструктурой, повысить скорость реагирования на аварийные ситуации и создать основу для концепции «умного города».

Цель работы – разработка методологии интеграции существующих цифровых платформ и информационных технологий специализированных служб и ресурсоснабжающих организаций (электронных моделей, цифровых двойни-

ков, SCADA, АСКУЭ, IoT, SAP TOPO и других) в единую геоинформационную систему (ЕГИС) города. Это позволит повысить эффективность управления городской инфраструктурой, сделать процессы более прозрачными для населения и контролирующих органов, сократить эксплуатационные издержки и минимизировать негативные последствия от аварийных ситуаций.

Основные результаты. Результаты проведения технических аудитов ресурсоснабжающих организаций Республики Беларусь, Российской Федерации, Республики Казахстан показали, что на сегодня в городском хозяйстве используется типовый набор информационных систем (в зависимости от экономического положения предприятий), который обычно включает следующие технологии:

- SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) – используются для диспетчерского мониторинга и сбора данных;

- АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета энергии) – позволяет контролировать потребление энергоресурсов (тепловой энергии и теплоносителя, электрической энергии);

- IoT-устройства – датчики, передающие телеметрию в режиме online;

- SAP TOPO, 1C – системы учета активов, технического обслуживания и ремонта объектов инженерной инфраструктуры;

- биллинговые системы автотранспорта.

Интеграция всех данных в ЕГИС позволяет сформировать многослойную цифровую карту города, включающую:

- топологию инженерных сетей и объектов капитального строительства, малых архитектурных форм;

- схему переключения световых огней светофоров;

- зоны обслуживания аварийных участков;

- прогнозное состояние инфраструктуры;

- иные тематические аспекты взаимодействующих служб.

В своей концепции ЕГИС должна представлять собой платформу, включающую:

- геопространственную визуализацию (цифровая карта с разными уровнями детализации);

- базу данных специализированных служб и объектов ЖКХ (информацию о трубопроводах, насосных станциях, котельных и других элементах городской инфраструктуры с точным указанием балансодержателя);

- механизмы интеграции с внешними системами (API и протоколы обмена данными с уже существующими цифровыми решениями);

- аналитические инструменты геопространственного анализа.

Одной из главных задач ЕГИС является синхронизация данных из разных источников, для чего могут использоваться:

- ETL-процессы (механизмы извлечения, преобразования и загрузки данных в единую базу);

- программные коннекторы (программные модули, обеспечивающие автоматический обмен информацией между системами разных архитектур);
- облачные решения (единое хранилище данных с возможностью доступа через веб-интерфейсы со строгим разделением доступов и возможностей).

Интеграция большого количества систем требует повышенного внимания к кибербезопасности: несанкционированному доступу к данным; кибератаке на городскую инфраструктуру; уязвимости в протоколах передачи данных. Для защиты данных предлагается использование технологий блокчейна для мониторинга изменений, шифрование информации, а также разграничение прав доступа между разными участниками системы. Участники системы имеют полный доступ (в зависимости от должности и сферы ответственности) к своим объектам, ограниченный доступ (ограниченный перечень информации) к объектам смежных участников ЕГИС.

Выводы. Интеграция цифровых платформ в ЕГИС города является ключевым этапом цифровой трансформации служб ЖКХ, что позволит создать единую информационную среду для всех ресурсоснабжающих организаций; повысить эффективность управления инженерными сетями; снизить аварийность и оптимизировать производственные затраты бизнес-процессов; обеспечить основу для внедрения концепции «умного города» и постепенной интеграции иных служб.

Таким образом, разработка и внедрение ЕГИС города станет важным шагом на пути цифровизации городской инфраструктуры и повышения качества жизни в современном городе.

УДК 628.541(476.2)

СБРОС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВЕ СТОЧНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

О. В. КОВАЛЁВА, Г. Л. ОСИПЕНКО

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

sanakovaleva@mail.ru, myshlion@mail.ru

Первая по величине область Республики Беларусь – Гомельская, обладающая хорошим промышленным и сельскохозяйственным потенциалом, богата водными ресурсами. Однако сохранность этих ресурсов будет обеспечена только при их рациональном использовании. Вышеотмеченным и обусловлена актуальность настоящих исследований.

Материалами для работы послужили данные Государственного водного кадастра [1].

Результаты исследований показали следующее. По сравнению с 2021 г. отмечается рост количества сбрасываемых сточных вод на территории Гомельской области на 5,50 %. Увеличились и другие показатели: сброс сточных вод в поверхностные водные объекты – на 5,02 %, сброс сточных вод в поверхностные водные объекты без предварительной очистки – на 7,27 %, сброс сточных вод в поверхностные водные объекты без превышения нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ после очистки на очистных сооружениях – на 4,02 %. Снижение величин отмечено для одного показателя – сброса сточных вод в поверхностные водные объекты с превышением нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ на 13,27 %.

В составе сбрасываемых сточных вод преобладают хлорид-ион (11,07 %), сульфат-ион (9,17 %). Доли других веществ составляют: взвешенных веществ – 1,69 %, азота общего – 1,18 %, аммоний-иона – 0,92 %, фосфат-иона – 0,1 %, нитрат-иона – 0,02 %, нефтепродуктов – 0,013 %, нитрит-иона – 0,0006 % (рисунок 1). Минерализация составляет 71942,512 тонн (68,35 %), ХПК – 6531,8 тонн (6,21 %), БПК₅ – 1351,4 (1,28 %).

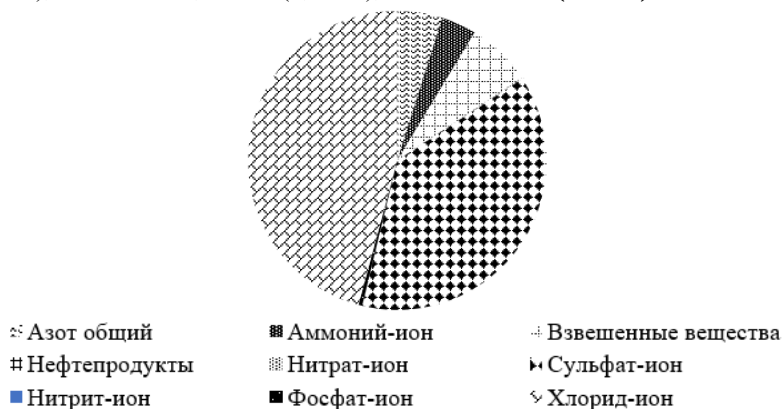


Рисунок 1 – Состав сбрасываемых сточных вод области, %

Анализ динамики количества сбрасываемых загрязняющих веществ (таблица 1) позволил установить, что наряду с увеличением объема сточных вод увеличиваются сбросы нитрат-иона (на 87,14 %), нефтепродуктов (на 21,56 %), аммоний-иона (на 19,17 %), а также БПК₅ (на 11,42 %), а также нитрит-иона, ХПК, сульфат-иона, азота общего, доля которых в сбросах сточных вод составляет 3,49–6,98 %. Наиболее существенное снижение (51,30 %) количества сброса отмечено для фосфат-иона, на втором месте по этому признаку взвешенные вещества (23,29 %). Также снижение количества сбросов характерно по таким показателям как минерализация и хлорид-ион.

Таблица 1 – Динамика сброса загрязняющих веществ по отношению к 2021 г.

Наименование показателя	Рост, %	Снижение, %
Азот общий	+3,49	
БПК ₅	+11,42	
ХПК	+5,17	
Аммоний-ион	+19,17	
Минерализация		–11,81
Взвешенные вещества		–23,39
Нефтепродукты	+21,56	
Нитрат-ион	+84,17	
Сульфат-ион	+4,66	
Нитрит-ион	+6,98	
Фосфат-ион		–51,30
Хлорид-ион		–4,49

Вывод. Таким образом, в последние годы на территории Гомельской области отмечается увеличение объема сбрасываемых сточных вод в окружающую среду. При этом снизился объем сброса сточных вод в поверхностные водные объекты с превышением нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ. Однако значительно возросли сбросы нитрат-иона (более чем на 87 %) и нефтепродуктов (более чем на 21 %). Ощутимое снижение сбросов характерно для фосфат-иона (более чем на 51 %) и взвешенных веществ (более чем на 23 %).

Список литературы

1 Государственный водный кадастр. Информационная система : [сайт]. – URL: <http://195.50.7.216:8081/watstat/data/> (дата обращения: 22.02.2025).

УДК 551.4(476.13)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. Ю. КОРШУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Геоинформационная система (ГИС) – современная компьютерная технология для картографирования и анализа объектов реального мира, происходящих и прогнозируемых событий и явлений. Геоинформационные системы наиболее естественно отображают пространственные данные. ГИС объединяет традиционные операции при работе с базами данных (запрос и статистический анализ) с преимуществами полноценной визуализации и

географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эта особенность дает уникальные возможности для применения ГИС в решении широкого спектра задач, связанных с анализом явлений и событий, прогнозированием их вероятных последствий, планированием стратегических решений [1].

Возможность проведения инженерных расчетов является главной причиной принятия решения о внедрении геоинформационных систем. С их помощью можно за считанные минуты рассчитать сеть, состоящую из десятков тысяч объектов, моментально произвести перерасчет при изменении состояния сети [1].

В случае водопроводной сети с использованием ГИС осуществляются следующие типы расчетов: обеспечение потребителей требуемым количеством воды; наладка водопроводной сети – дросселирование (гашение) избыточного напора у потребителя.

Проведение расчета самой водопроводной сети дает возможность отказываться от дорогостоящих услуг наладочных организаций.

При внедрении геоинформационных систем неизбежно возникает вопрос правильного пространственного описания объектов [2]. При использовании ГИС применительно к предприятиям сферы жилищно-коммунального хозяйства выдвигаются требования:

- 1) к системе координат;
- 2) точности: для предприятий сферы жилищно-коммунального хозяйства нужна высокая относительная точность расположения сетей относительно базовых пространственных объектов (привязок на местности), т. к. именно по привязкам ориентируются мастер или ремонтная бригада при проведении работ;

- 3) масштабу: основным масштабом, используемым при работе с бумажными картами на предприятиях сферы ЖКХ, является М 1 : 500. В случае электронной карты данное понятие несколько видоизменяется – увеличивать изображение на экране можно без ограничений [2].

Геоинформационные технологии постепенно становятся неотъемлемой частью информационного пространства предприятий водоснабжения. Однако анализ опубликованных научно-технических данных свидетельствует о том, что уровень использования возможностей и преимуществ ГИС-технологий на предприятиях водоснабжения еще недостаточно высок. В частности, основные усилия в настоящее время направлены на их разработку, а использование ограничивается «электронными планшетами».

Одним из инструментов гидравлического моделирования является система *WaterGems* фирмы *Bentley Systems* (США), с помощью которой создано более 10000 моделей водопроводных сетей городов в 170 странах [3]. Система моделирования *WaterGems* позволяет:

- 1) выбрать оптимальный режим подачи воды при сокращении затрат;

2) проводить оптимизацию зонирования и выбирать насосное оборудование;

3) моделировать и планировать отключения трубопроводов и участков сети с целью оценки и минимизации их последствий (снижение давления у потребителей, ухудшение качества воды в результате изменения потокораспределения) [3];

4) проводить моделирование аварийных ситуаций и устанавливать их влияние на работу системы подачи и распределения воды (СПРВ) с целью разработки мероприятий по повышению надежности работы системы;

5) осуществлять расчет на пропуск противопожарных расходов, а также проводить оценку застоя воды в часы минимального расхода;

6) планировать развитие сетей и выбирать оптимальные варианты изменений в СПРВ при подключении новых потребителей [3].

Необходимо отметить, что производители программного обеспечения для расчета гидравлических сетей часто включают в него модули, осуществляющие некоторые функции ГИС. Для этого в них имеется возможность использования специальных фоновых слоев, в качестве которых используются графические (растровые или векторные) файлы, содержащие рисунки, чертежи, схемы и т. п. (рисунок 1) [2].

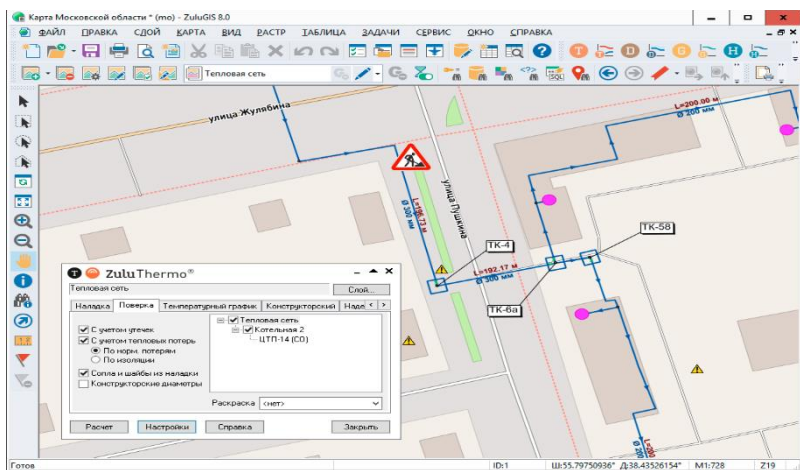


Рисунок 1 – Задание масштаба плана сети в среде программы для выполнения гидравлических расчетов

При использовании геоинформационной системы совместно с программой для гидравлических расчетов она не только может служить источником данных, но и позволяет также отображать результаты вычислений в графическом виде. С помощью ГИС возможно построение линий постоянных напоров (изобар) непосредственно на схеме сети, выделение участков и

узлов, значения параметров которых выходят за границы указанного пользователем диапазона и т. п.

Таким образом, геоинформационные системы управления качеством питьевого водоснабжения служат основой внедрения инновационных технологий в системах очистки воды коллективного пользования. Они позволяют существенно повысить эффективность рациональных способов использования систем водоснабжения при разработке схем территориального планирования и обеспечить повышение качества питьевой воды.

Список литературы

1 **Акимов, П. В.** Моделирование аварийных ситуаций в сети водоснабжения с использованием ГИС-технологий : в 3 т. Т. 3. Ч. 1 / П. В. Акимов, К. И. Зуев, А. А. Саунин // Высокие технологии, фундаментальные исследования, экономика / под ред. А. П. Кудинова ; Политехн. ун-т. – СПб., 2011. – С. 46–48.

2 **Денисенко, В. В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

3 **Зуев, К. И.** Использование ГИС-технологий при моделировании чрезвычайных ситуаций и промышленных задач водоснабжения, теплогазоснабжения сети водоснабжения / К. И. Зуев // Высокие технологии и фундаментальные исследования : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 09–11 дек. 2010 г. : в 4 т. Т. 4 / Ин-т оптики атмосферы Сибирского отделения Рос. акад. наук; Ин-т прикл. исслед. и технологий; Рос. фонд фундаментальных исслед.; Рос. гос. гидрометеорологический ун-т; Ин-т физиологии им. И. П. Павлова РАН; Санкт-Петербургский гос. ун-т водных коммуникаций; Акад. стратегич. исслед. информации и высоких технологий; Общенациональный конгресс молодежи / под ред. А. П. Кудинова. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2010. – С. 139–140.

УДК 551.4(476.13)

ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Е. И. КУЗЬМИНСКАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
katakuzminskaa4@gmail.com*

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих выполнение комплексной программы развития сельского хозяйства, способствующей сближению условий жизни города и деревни, является создание системы централизованного водоснабжения малых населенных пунктов [1].

По официальным данным Национального статистического комитета Республики Беларусь 98,5 % городского населения обеспечены централизованными системами водоснабжения. Однако значительная часть жилого

фонда в сельской местности не оснащена инженерными коммуникациями: водопровод доступен лишь в 65,9 % сельских домов [2]. Некоторые населенные пункты не имеют постоянных жителей и используются как дачные участки в летний период. Тем не менее такие поселения также нуждаются в определенных объемах водных ресурсов для локализации и ликвидации пожаров. Согласно статистике в сельской местности Республики Беларусь в 2024 году зарегистрировано 1682 пожаров. В результате этих пожаров погибло 196 человек, в том числе 5 детей. Доля пожаров и погибших от пожаров в сельской местности составила 57,1 % [3].

Пожарная безопасность населения и материальных ценностей обеспечивается современными системами противопожарного водоснабжения, которые представляют комплекс сложных технических устройств. При проектировании, строительстве, реконструкции общего водоснабжения населенных пунктов учитывается противопожарное водоснабжение, так как от наличия и технического состояния сооружений противопожарного водоснабжения зависит успех спасения жизней людей, материальных ценностей и исход тушения пожара.

В соответствии с требованиями СН 2.02.02-2019 «Противопожарное водоснабжение» в небольших населенных пунктах (с числом жителей до 5000 чел.) при застройке зданиями высотой до 10 м кроме противопожарных гидрантов допускается предусматривать наружное противопожарное водоснабжение из пожарных резервуаров, водонапорных башен и водоемов с площадками для подъезда к ним пожарной техники и устройствами для возможности отбора воды из них. Качество воды источников противопожарного водоснабжения должно соответствовать условиям эксплуатации пожарного оборудования и применяемым способам пожаротушения [4].

Наиболее распространенным вариантом наружного противопожарного водоснабжения малых населенных пунктов является устройство пожарных резервуаров, забор воды из которых осуществляется пожарными насосами пожарных (пожарно-спасательных) автомобилей. Пожарные резервуары особенно актуальны в населенных пунктах, где напор в водопроводной сети оказывается недостаточным для пожаротушения и отсутствует доступ к другим источникам воды.

Количество противопожарных резервуаров и их объем зависит от расхода воды на наружное пожаротушение, от расчетного количества одновременных пожаров и продолжительности тушения пожара. Также учитываются требования к их расположению и возможности забора воды пожарными автомобилями и мотопомпами. Резервуары должны быть оборудованы быстросъемными, легко открывающимися люками, крышками на горловинах подземных емкостей и иметь площадки с твердым покрытием для установки пожарной автотехники. По месту расположения емкости делятся на подземные и надземные. В настоящее время подземные сооружения

являются очень сложными в производстве. Однако они более предпочтительны с точки зрения ландшафтного дизайна и, кроме этого, обеспечивают дополнительную защиту от внешних воздействий: вода не испаряется и уровень жидкости не меняется, вода не замерзает при отрицательной температуре, поскольку грунтовая засыпка – природный теплоизолятор.

Выполнение резервуаров наиболее целесообразно из следующих материалов: железобетон, сталь, стеклопластик, полиэтилен.

Железобетон обеспечивает надежность, прочность и долговечность конструкции. Строятся они долго, но при этом не требуют каких-либо дополнительных затрат по эксплуатации. Железобетонные резервуары применяются в том случае, если востребованный запас воды превышает 100 м³. В зависимости от конструкции железобетонный резервуар противопожарного запаса воды может быть монолитным или сборным.

Стальные – обладают большим запасом прочности и жесткости, устойчивы к погодным условиям, при необходимости можно нарастить объем существующей емкости, однако они подвержены коррозии [4].

Стеклопластик является современным и перспективным материалом: легок, не проводит электрический ток, устойчив к коррозии, прочен и устойчив к различным воздействиям, имеет очень низкую теплоизоляцию.

Полиэтиленовые и полипропиленовые резервуары – имеют малый вес, что упрощает транспортировку и установку, устойчивы к коррозии и агрессивным средам, долговечны, срок службы составляет до 50 лет. Однако при использовании данных материалов необходимо соблюдать температурный режим. При температуре ниже нуля полипропилен становится хрупким. Полиэтилен устойчив к холоду до –50 °С, при положительных температурах может использоваться только до +60 °С [5].

Наиболее перспективным представляется применение железобетонных резервуаров с полимерным покрытием. Такое сочетание материалов обеспечивает устойчивость к коррозии, пригодность для хранения питьевой воды, дополнительную устойчивость и прочность за счет железобетонного основания. Однако вследствие большого веса доставка таких конструкций стоит значительно дороже доставки конструкций из пластика и металла.

Проблема обеспечения противопожарным водоснабжением малых населённых пунктов остается актуальной и требует комплексного подхода. Необходимо учитывать особенности каждого населенного пункта и разрабатывать индивидуальные решения, основанные на анализе рисков возникновения пожаров и доступности водных ресурсов.

Одним из возможных путей решения проблемы является устройство противопожарных резервуаров. Их использование позволяет эффективно решать задачи по обеспечению доступа к необходимому объему воды для тушения пожаров. Применение данной системы водоснабжения позволяет

обеспечить надежное тушение пожаров в малых населенных пунктах, где отсутствуют централизованные системы водоснабжения. Противопожарные резервуары позволяют быстро реагировать на возгорания и предотвращать их распространение, что способствует сохранению жизни и имущества.

Список литературы

1 Государственная программа «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?gu_id=3871&p0=C22100050 (дата обращения: 24.02.2025).

2 Стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года // М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Proekt-Strategii.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).

3 Обстановка с чрезвычайными ситуациями в Республике Беларусь в 1 полугодии 2024 года // Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций. – URL: https://niipb.mchs.gov.by/upload/iblock/302/9rjdt69b66hbpt1vngl8flgyd9c8ssmd/18_25.pdf (дата обращения: 24.02.2025).

4 **Кудина, Е. Ф.** Химические свойства металлов и неметаллов : учеб.-метод. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 119 с.

5 **Kudina, H.** Protective coatings based on thermosetting plastics / H. Kudina E. Barkanov, L. Negoita [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. V. – P. 55–74.

УДК 551.4(476.13)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОПЛАСТИКА И ПОЛИПРОПИЛЕНА ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д. В. МАЛЬЦЕВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
@dm9631160@gmail.com*

Актуальность. На сегодня существует большое количество труб для конструирования любых инженерных систем.

Использование металлопластика и полипропилена (ПП) для прокладки внутреннего водоснабжения обусловлено их высокими эксплуатационными характеристиками, долговечностью и простотой монтажа, применяется как для горячего, так и для холодного водоснабжения.

Цель работы – сравнение металлопластиковых и полипропиленовых труб для прокладки внутреннего водоснабжения.

Основные результаты. Трубы из металлопластика и полипропилена по внешнему виду практически ничем не отличаются и имеют гладкую внутреннюю поверхность, которая не создает условий для засорения.

Металлопластиковая труба представляет трехслойную конструкцию, внутренний слой изготавливается из пластика, имеет гладкую поверхность с минимальной степенью шероховатости. Тонкий слой алюминиевой фольги проклеивается между внутренним и внешним слоями, создавая дополнительную прочность и надежность. В качестве внешней оболочки используется гибкий полимер (ПЭ), основная функция которого заключается в защите от образования конденсата и снижении теплопроводности.

Металлопластиковые трубы, объединившие в себе свойства металла (прочность, пластичность, сохранение формы при изгибе, низкий коэффициент линейного расширения, непроницаемость для кислорода) и пластика (коррозионная стойкость, долговечность, легкость, отсутствие зарастания, низкая теплопроводность, поглощение шума водяного потока), обладают высокой термостойкостью, гибкостью.

Трубы между собой соединяются при помощи пресс-клещей с использованием обжимных или пресс-фитингов или с использованием резьбовых соединений.

Преимуществами использования металлопластиковых труб в системах внутреннего водоснабжения являются:

- антикоррозионная стойкость;
- бесшумность;
- гладкая внутренняя поверхность;
- простота монтажа;
- доступная стоимость.

К недостаткам металлопластиковых труб можно отнести:

- старение полимера при воздействии прямых солнечных лучей;
- разрушение и расслоение трубы при низких температурах, замерзание воды в трубе;
- высокая стоимость соединений;
- уменьшение проходного сечения при использовании резьбовых соединений.

Полипропилен представляет полимерный материал, полученный из сжиженного пропилена. Физико-химические свойства материала определяются пространственной структурой полимерных молекул, а также наличием различных примесей (например, этилена). ПП трубопроводная система включает в себя несколько различных типов труб для внутренних инженерных сетей зданий. В настоящий момент производятся три вида ПП труб: трубы из однородного полипропилена, штабিতрубы (армированные алюминиевой лентой) и трубы, армированные волокном.

При соединении элементов ПП трубопровода важно соблюдать температуру, так как от этого зависит прочность соединения. Недостаточный нагрев

материала увеличивает риск возникновения протечек. Температура в помещении, где осуществляется монтаж, не должна быть меньше +10 °С. Производство работ при отрицательных температурах не допускается.

При температуре транспортируемой воды выше +70 °С срок службы трубопровода сокращается в два раза и может составлять максимум 25 лет.

Преимуществами использования ПП труб являются:

- антикоррозийная стойкость;
- отсутствие склонности к образованию отложений на стенках;
- высокая жесткость и прочность;
- устойчивость к механическим воздействиям и повышенному давлению;
- абсолютная герметичность стыков при соблюдении технологии монтажа;
- долговечность;
- низкая теплопроводность;
- низкая цена трубы и соединительных элементов.

ПП трубы обладают большей жесткостью по сравнению с металлопластиковыми трубами. Жесткость труб определяет твердость пластика и толщина стенок. Высокая жесткость ПП труб дает преимущества при эксплуатации, но приводит к усложнению процесса монтажа системы. ПП трубы соединяются при помощи пайки. При монтаже трубопровода используется большое количество ПП фитингов.

Недостатки полипропиленовых труб:

- материал чувствителен к УФ-лучам и легко воспламеняется;
- более сложный монтаж с использованием большого количества соединений;
- невозможность использования при отрицательных температурах

Трубы из ПП отличаются от труб из металлопластика более высокой прочностью, износостойкостью и долговечностью. ПП способен выдерживать кратковременное воздействие льда изнутри, а металлопластик разрушается при замерзании воды внутри трубопровода.

Вывод. ПП трубы обладают большей долговечностью, прочностью, износостойкостью по сравнению с металлопластиковыми трубами, но металлопластиковые трубы гибкие, стойкие к длительному действию высоких температур. Для систем водоснабжения целесообразно применить полимерные полипропиленовые изделия.

Список литературы

1 Новикова, О. К. Канализационные сети : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 179 с.

2 Белоусова, Г. Н. Инженерные системы зданий и сооружений (водоснабжение и водоотведение) : учеб.-метод. пособие / Г. Н. Белоусова, А. М. Ратникова. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 44 с.

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А. Д. МУШИНСКАЯ

Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина,

Республика Беларусь

nastya.mushinskaya@bk.ru

Актуальность. На сегодня в законодательстве Республики Беларусь нет требований по строительству очистных сооружений систем водоотведения проезжей части. Однако сброс сточных вод должен осуществляться с соблюдением условий приема сточных вод в систему канализации. Необходимость размещения очистных сооружений обосновывается в градостроительной документации.

Негативные последствия на экосистему урбанизированных территорий особенно сказываются на экологическом состоянии водных объектов, расположенных на их территории. Водные объекты подвержены загрязнению хозяйственно-бытовыми, производственными и поверхностными сточными водами. Если основная часть хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод в Республике Беларусь проходит очистку перед их выпуском в водный объект, то поверхностные сточные воды в основном сбрасываются без очистки

Цель работы – анализ существующего зарубежного и отечественного опыта применения технологий очистки поверхностного стока с автомобильных дорог и улично-дорожной сети (УДС) населенных пунктов для определения наиболее эффективных и применимых методов в конкретных условиях.

Основные результаты. В странах Центральной и Восточной Европы для очистки городских ливневых стоков используются инновационные биологические методы, которые сочетают высокую эффективность и экологичность. По всему миру использование технологий «зеленая инфраструктура» – технологии и способы управления поверхностными стоками, основанные на использовании растительности, – является частью экологического развития городов. В Великобритании, США и Австралии, например, существуют государственные программы, связанные с применением регулирования поверхностного стока, где технологии зеленой инфраструктуры являются ключевыми компонентами этих систем [1].

Наиболее полно заявленным выше требованиям к технологиям очистки поверхностного стока с УДС отвечают локальные очистные сооружения (ЛОС), в которых использованы технологии биоремедиации [2]. Действие таких технико-биологических систем приближено к процессам самоочищения,

протекающим в окружающей среде, однако отличается большей по сравнению с естественным самоочищением интенсивностью, что позволяет успешно справляться с техногенным загрязнением. Биологическими объектами, чаще всего применяемыми при биоремедиации, являются высшие растения, грибы, водоросли, микроорганизмы [3].

Широкий спектр загрязнителей, имеющих в поверхностном стоке с городских территорий (нутриенты, микроэлементы, органические вещества), делает сток удобным объектом для биоремедиационной технологии, так как в нем имеются все необходимые живым организмам биогенные элементы. Практическое распространение получили методы с использованием высших водных растений: камыша озерного, тростника, рогозов, рдестов, элодеи и водного гиацинта (эйхорнии) [2].

Стоит отметить, что в Беларуси на законодательном уровне наилучшие доступные технические (НТД) методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах утверждены приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20.02.2024 N 70-ОД [4].

Согласно [4], в числе наземных (открытых) систем дождевой канализации значатся следующие гидротехнические сооружения и устройства:

- бассейны удержания («сухой пруд», «мокрый пруд», «инфильтрационный пруд»);
- фильтрующие полосы;
- растительные каналы;
- «зеленые крыши»;
- придорожные каналы;
- водопроницаемые покрытия.

Отдельно выделяют такие сооружения, как биофильтрационный склон и биодренажный канал.

Биофильтрационный склон представляет собой засаженную растительностью площадку, имеющую незначительный уклон, предусмотренный для движения дождевых вод вниз по склону с одновременной их фильтрацией.

Биодренажный канал (канавы) представляет собой фильтрующие сооружения и устройства открытого типа (в виде каналов), покрытые травяной растительностью и обеспечивающие одновременно транспортировку и фильтрацию поверхностных сточных вод. Они организуются, как правило, вдоль дорог, зданий, на территории рекреационных зон. Сооружения проектируются с расчетом на полную фильтрацию дождевых вод.

Дождевые сады представляют собой понижение в рельефе на хорошо фильтруемых почвах или с устройством дренажа (в случае глинистых и суглинистых почв). В отличие от фильтрующих траншей дождевые сады организуются на более компактных территориях с площадью стока до 0,8 га и с применением более широкого видового разнообразия растений.

Рекомендуемым элементом конструкции дождевых садов является обвалование их территории путем создания ограничительного вала или дамбы высотой 15–25 см, которые не позволят распространяться дождевым и талым водам за пределы дождевых садов.

Высокой эффективностью отличается метод почвенной фильтрации [2]. Суть метода состоит в пропускании поверхностного стока через слой почвы с растительным покровом, при этом одновременно протекают процессы фильтрации, сорбции, ионного обмена и биологической очистки. Фильтр представляет собой пониженный участок территории, засыпанный фильтрующей загрузкой и засаженный растительностью. Во время максимального расхода на поверхности фильтра может образовываться небольшой слой воды, который будет существовать в течение нескольких часов до полного впитывания. В основании фильтра устанавливается дренажная система, а при наличии хорошо дренируемых почв может осуществляться инфильтрация в почву [3]. Подобные технологии получили широкое распространение в США, Канаде и Западной Европе, где используются фильтрационные полосы.

Интенсивное движение транспорта и использование химических реагентов на дорогах делают ливневые стоки одними из самых загрязненных. Поверхностный сток с автомобильных дорог содержит значительное количество загрязнений, таких как нефтепродукты, тяжелые металлы, химические реагенты и взвешенные частицы.

Для населенных пунктов могут быть рекомендованы три основных типа сооружений: биодренажная канава, биофильтрационный склон, дождевой сад, используемые для водоотвода и очистки поверхностного стока с УДС. Сравнительная оценка эффективности очистки ливневых стоков на ЛОС с использованием биоремедиационных технологий представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность очистки на ЛОС с использованием биоремедиационных технологий [5]

Сооружение	Эффективность удаления загрязняющих веществ и микроорганизмов, %					
	Взвешенные вещества	Биогенные элементы (N,P)	Тяжелые металлы	Нефтепродукты	Органические вещества	Бактерии
Биофильтрационные склоны	Средняя (40–70)	Низкая (10–40)	Средняя (40–70)	Средняя (40–70)	Средняя (40–70)	Низкая (10–40)
Биодренажные канавы	Средняя (40–70)	Низкая (10–40)	Средняя (40–70)	Средняя (40–70)	Средняя (40–70)	Низкая (10–40)
Дождевые сады	Высокая (70–100)	Средняя (40–70)	Высокая (70–100)	Высокая (70–100)	Высокая (70–100)	Высокая (70–100)

Сравнительная оценка позволяет сделать вывод о наибольшей эффективности для использования на УДС населенных пунктов в качестве ЛОС дождевых садов.

Выводы. Таким образом, важным элементом современного подхода к очистке поверхностного стока с УДС является использование экологически безопасных технологий, основанных на биоремедиации. Такие технологии очистки ливневых стоков позволяют минимизировать вред, обеспечивая их эффективную фильтрацию перед сбросом в природные водоемы.

Список литературы

1 **Ермохин, А. А.** Классификация технологий зелёной инфраструктуры и их использование для управления поверхностными стоками в урбанизированной среде / А. А. Ермохин // StudArctic forum. – № 4 (16). – 2019. – С. 2–10.

2 **Волчек, А. А.** Возможности применения биоремедиации для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 23–25 апр. 2014 г. : в 4 ч. Ч. 3. / М-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. техн. ун-т, Факультет инженерных систем и экологии ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2014. – С. 23–27.

3 **Мелехин, А. Г.** Применение биоинженерных сооружений для очистки ливневых и талых вод с урбанизированных территорий / А. Г. Мелехин, И. С. Щукин // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – № 1. – 2012. – С. 122–133.

4 Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах : утв. приказом М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 20.02.2024 № 70-ОД.

5 **Евстигнеева, Ю. В.** Биоремедиационные технологии очистки поверхностного стока с улично-дорожной сети населенных пунктов / Ю. В. Евстигнеева, Ю. В. Трофименко, Н. А. Евстигнеева // European Journal of Natural History. – 2020. – № 1. – С. 81–87.

УДК 628.35

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

О. К. НОВИКОВА, А. А. РОДЕНКО, Е. Ю. НЕСТЕРЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
olanov2007@mail.ru

Актуальность. Реконструкция городских очистных сооружений является важным направлением обеспечения требуемой степени очистки сточных вод и наиболее эффективным способом улучшения работы очистных сооружений, так как она требует меньшего объема работ, чем новое строительство [1].

Особенностью реконструкции является то, что она проводится с учетом стесненности площадей, расположения сооружений, их габаритов и технического состояния, недопустимости нарушения технологического процесса очистки сточных вод.

Цель работы – разработка и обоснование основных направлений реконструкции городских очистных сооружений, направленных на повышение их эффективности, снижение энергозатрат и обеспечение соответствия современным экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям.

Основные результаты. При разработке предложений по реконструкции очистных сооружений вначале устанавливаются причины их неудовлетворительности, проводится обследование конструкций и анализ работы очистных сооружений при пропуске фактического расхода.

На основании комплексной оценки городских очистных сооружений производительностью 10–100 тыс. м³/сут выделены основные проблемы, которые требуют решения для обеспечения требуемой степени очистки сточных вод перед выпуском в водный объект:

1 Снижение эффективности и надежности работы всего комплекса очистных сооружений, обусловленное износом оборудования, конструктивными недостатками и нарушениями правил технической эксплуатации очистных сооружений.

2 Изменение качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на очистные сооружения, по сравнению с проектными значениями. Рост численности населения крупных городов и развитие городской инфраструктуры приводит к увеличению расхода бытовых и производственных сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Возрастает нагрузка на системы биологической очистки, что приводит к снижению эффективности удаления органических веществ и увеличению концентрации взвешенных веществ на выпуске.

Сокращение численности населения в более мелких городах приводит к снижению расхода сточных вод, что вызывает недозагрузку очистных сооружений. Наблюдается снижение эффективности очистки, а также увеличение времени пребывания сточных вод в системе, что способствует развитию анаэробных процессов и ухудшению качества очищенной воды.

В последнее время одной из основных причин неудовлетворительной работы биологических сооружений малых населенных пунктов является низкое содержание органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, выраженное показателем БПК₅.

На средних и крупных очистных сооружениях отмечаются повышенные концентрации общего азота в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Аэротенки, работающие как вытеснители или смесители, не справляются с нагрузкой по биогенным элементам.

3 Ужесточение современных требований к качеству очищенных сточных вод, что выявляет несоответствие устаревших технологических схем новым стандартам и обуславливает необходимость внедрения современных методов очистки.

4 Неудовлетворительная работа или отсутствие полного комплекса сооружений для обработки пескопulpы, сырого осадка и избыточного активного ила или биопленки.

Решение приведенных проблем может быть достигнуто проведением реконструкции, основополагающий принцип которой заключается в минимизации капиталовложений в строительные работы при максимальной эксплуатации уже существующих сооружений.

Выделены основные направления реконструкции городских очистных сооружений:

1 Замена оборудования (решеток, насосов, систем аэрации) на современные аналоги с улучшенными характеристиками.

2 Увеличение массы активного ила, который принимает участие в процессе очистки за счет применения мембранных биологических реакторов (*MBR*) или использования нейтральных носителей для образования фиксированной микрофлоры (*MBBR-technology*).

3 Модернизация технологического процесса с применением технологических схем глубокого удаления азота и фосфора в аэротанках с выделением анаэробной, аноксидной и аэробной зон и установкой необходимого оборудования.

4 Расширение мощностей за счет строительства дополнительных блоков очистки или модификации существующих конструкций и лотков для улучшения распределения потоков сточных вод.

5 Управление осадками сточных вод за счет применения эффективных технологических схем обработки осадков при строительстве новых сооружений (в случае отсутствия комплекса по обработке осадков) или методов интенсификации процессов обезвоживания, стабилизации и обеззараживания осадков сточных вод на действующих очистных сооружениях.

6 Внедрение автоматизации процессов управления и контроля за работой оборудования очистных сооружений.

7 Повышение энергетической эффективности за счет установки энерго-сберегающего оборудования.

Улучшить задержание крупноразмерных примесей можно путем замены устаревшего типа решеток на новый, более совершенный тип и строгим соблюдением технологического режима их эксплуатации (своевременная очистка от загрязнений, регулирование нагрузок на отдельные решетки).

При реконструкции отделения решеток с установкой более производительных агрегатов работы по реконструкции могут быть сведены к минимуму путем расширения каналов до и после решеток. Когда это невозможно – устраивается дополнительный канал с решеткой.

Для задержания на решетках большого количества отбросов применяются решетки с прозорами 6 мм и меньше (до 2 мм), что обеспечивает снижение нагрузки на первичные отстойники и более полное сбраживание сырого осадка.

Повышение эффективности задержания песка может быть достигнуто стабилизацией скорости потока с помощью специальных водосливов, за счет улучшения работы системы удаления осадка или путем установки продольных перегородок.

Направления реконструкции первичных отстойников связаны с устранением причин их низкой эффективности работы и включают замену систем распределения и сбора сточных вод для обеспечения равномерного потока и предотвращения образования застойных зон, замену системы удаления осадка.

Выбор оптимальной технологической схемы реконструкции аэротенков требует комплексного подхода, учитывающего технические, экономические факторы, а также специфику качественного и количественного состава сточных вод конкретного объекта.

Выводы. Выбирая вариант реконструкции очистных сооружений, необходимо отдавать предпочтение решениям с наименьшими капитальными затратами, обеспечивающим несомненный экономический эффект с точки зрения как оздоровления экологической обстановки, так и экономии материальных и энергетических ресурсов.

Список литературы

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

УДК 628.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ ГОМЕЛЬСКОГО РАЙОНА

А. В. ПАПКОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
papkov999@mail.ru*

Актуальность. Анализ показателей эксплуатации систем водоотведения нередко показывает необходимость их улучшения. Это связано с изменениями условий функционирования систем сравнительно с исходными (проектными) данными, а также с недостатками проектных решений.

Улучшение достигается как новым строительством с заменой или расширением существующих объектов, так и реконструкцией. В последнем случае реализуются неиспользуемые потенциальные производственные

мощности объектов и подлежат замене или разгрузке только те лимитирующие элементы, которые не способны нормально работать в требуемых более жестких условиях.

Цель работы – изучение возможности модернизации систем водоотведения и очистных сооружений естественной биологической очистки населенных пунктов Гомельского района

Основные результаты. Если рассматривать опыт очистки сточных вод отдельных объектов и населенных пунктов в нашей стране, то традиционными очистными сооружениями в таких случаях являлись поля фильтрации. Положительной особенностью полей фильтрации является тот факт, что эксплуатация таких сооружений не требует применения электромеханического оборудования, поэтому и практика их применения для объектов с небольшими расходами сточных вод остается довольно распространенной.

Вместе с тем в настоящее время поля фильтрации можно отнести к типу сооружений, которые морально устарели в технологическом отношении, и их применение оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду. Непосредственный контакт сточных вод с атмосферным воздухом на больших площадях приводит к появлению неприятных запахов, размножению насекомых и т. д. и требует устройства санитарно-защитных зон.

На основании обследования систем водоотведения Гомельского района установлено, что в 16 населенных пунктах имеется централизованная система водоотведения (канализация), в которых сброс сточных вод осуществляется на очистные сооружения естественной биологической очистки (поля фильтрации). Данные поля фильтрации находятся в балансовой и эксплуатационной ответственности государственного предприятия «Гомельводоканал». В 1 населенном пункте (п. Зябровка) сброс сточных вод осуществляется на очистные сооружения с последующим выпуском очищенных вод в водный объект.

Основная часть очистных сооружений в Гомельском районе проектировалась и строилась в 1970–1980-е гг. В настоящее время большая часть очистных сооружений находится в неудовлетворительном состоянии, и не во всех населенных пунктах обеспечивает эффективную очистку сточных вод от взвешенных веществ, и требует реконструкции. Для приведения данных сооружений в требуемое техническое состояние необходимо выполнение работ по их капитальному ремонту (реконструкции) с разработкой проектно-сметной документации и выполнением строительно-монтажных работ. Необходимо выполнение мероприятий по вспашке существующих карт полей фильтрации.

В настоящее время в населенных пунктах Бобовичи, Дуяновка, Грабовка вспашка возможна только при условии возведения дополнительных карт

полей фильтрации ввиду отсутствия резервных карт. Необходимо провести работы по укреплению и наращиванию обваловки карт полей фильтрации.

Модернизация систем водоотведения в Гомельском районе заключается в перекладке самотечных и напорных сетей водоотведения со сверхнормативным сроком эксплуатации на новые сети из современных (полимерных) материалов с увеличенным сроком эксплуатации, устройстве новых канализационных колодцев на самотечной сети, возведении канализационных насосных станций (КНС) с устройством современного энергоэффективного оборудования. Замену сетей водоотведения со сверхнормативным сроком эксплуатации в условиях плотной застройки населенных пунктов эффективно выполнять методом горизонтально направленного бурения (ГНБ).

Метод ГНБ позволяет прокладывать трубопроводы для самотечной канализации под землей без значительных разрушений поверхности. Это уменьшает воздействие на окружающую среду и позволяет прокладывать трубопроводы даже в городских условиях, минимизируя разрушение дорожных покрытий и тротуаров. Сущность метода состоит в использовании специальных буровых станков (буров, штанг), которые осуществляют предварительное (пилотное) бурение по заранее рассчитанной траектории с последующим расширением скважины и протаскиванием в образовавшуюся полость трубопроводов.

Технология горизонтального бурения эффективна в песчаных или глинистых грунтах при устойчивости стенок скважины. В неустойчивых грунтах или при наличии подземных вод с сильным напором ставят обсадные трубы на участках входа/выхода, укрепляют грунт инъектированием, устраивают разгрузочные скважины или дозиметрические колодцы. Наряду с оперативностью и экономичностью технологии бестраншейной прокладки трубопроводов отличаются высоким качеством и возможностью выполнения работ в местах, где традиционные методы неприменимы. Немаловажным фактором остается и экологическая сторона применения подобных технологий [2].

Метод ГНБ позволяет производить строительство трубопроводов с оптимальным уклоном, что обеспечивает более высокую пропускную способность для сточных вод. С использованием ГНБ можно оптимизировать размещение очистных сооружений, уменьшая длину трубопроводов и потери гидравлического давления. Это позволяет более эффективно очищать сточные воды, снижая затраты на обслуживание и ресурсы, необходимые для обеспечения высокого качества очистки.

Также для оптимизации работы системы водоотведения и достижения экономического эффекта необходимы разработка проектно-сметной документации и выполнение строительно-монтажных работ на канализационно-насосных станциях, и возведение системы напорной канализации на

близлежащие очистные сооружения. В КНС, в которых не предусматривается передача информации о состоянии и режимах работы оборудования и дистанционное управление механизмами и насосами, широко применяются шкафы управления с устройствами локальной автоматики, в том числе и программируемыми логическими контроллерами. В населенных пунктах Долголесье, Глыбоцкое, Роги, Михальки, Шарпиловка имеется централизованная система водоотведения, но вблизи отсутствуют очистные сооружения. Сточные воды от населения аккумулируются в накопителях в нижней точке населенного пункта. Уровень в накопителях понижается посредством вывоза сточных вод ассенизационной техникой на близлежащие очистные сооружения. Строительство КНС и напорных коллекторов на близлежащих очистных сооружениях позволит осуществлять автономную работу системы водоотведения в данных населенных пунктах.

Выводы. Применяемые сооружения в большинстве населенных пунктов Гомельского района, представляющие собой поля фильтрации, морально устарели, их применение негативно сказывается на окружающей среде.

При замене сетей водоотведения с сверхнормативным сроком эксплуатации может применяться метод горизонтально направленного бурения. Данный метод позволяет производить прокладку сетей без значительных разрушений поверхности, также этот метод отличается высоким качеством.

Список литературы

1 СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 31.10.2019. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 80 с.

2 **Агарков, А. М.** Технология прокладки коммуникаций методом горизонтально-направленного бурения / А. М. Агарков, Д. С. Межуев, А. А. Тихонов // Инновационная наука. – 2017. – № 5. – 43 с.

УДК 551.4(476.13)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. ЖИТКОВИЧИ

Д. В. ПОТАШКО

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

Актуальность. Очистные сооружения играют важную роль в устойчивом развитии городской инфраструктуры. Они не только обеспечивают очистку сточных вод, но и способствуют сохранению экологического баланса. Важным этапом перед проведением реконструкции является обследование и оценка эффективности работы очистных сооружений.

Городские сточные воды характеризуются высокими концентрациями взвешенных веществ, органических загрязнений и биогенных элементов. С течением времени меняется качественный и количественный состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения, поэтому требуется реконструкция с внедрением современных методов очистки сточных вод.

Цель работы – анализ и оценка эффективности работы очистных сооружений города Житковичи.

Основные результаты. Очистные сооружения г. Житковичи были построены по разработанному в 1987 г. ГПИ «Белкоммунпроект» с проектной производительностью 3000 м³/сут. В настоящее время расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, снизился и составляет 1300 м³/сут.

В настоящее время согласно принятой схеме очистки сточные воды последовательно проходят следующие сооружения:

- механическая очистка: приемная камера, решетки с ручным удалением отбросов, песколовки с круговым движением сточных вод, двухъярусные отстойники;
- биологическая очистка: аэробный стабилизатор, аэротенк продленной аэрации, вторичный отстойник;
- доочистка: две ступени биопрудов с искусственной аэрацией и одна ступень с естественной аэрацией.

Выпуск очищенных сточных вод проводится в существующий водоотводной канал и далее в реку Науть. В процессе визуального осмотра комплекса очистных сооружений установлено множество дефектов и повреждений конструктивных элементов очистных сооружений, которые возникли в результате воздействия природно-климатических факторов и агрессивного воздействия среды. Проведенный анализ работы очистных сооружений г. Житковичи показал, что существующие ручные решетки требуют замены из-за низкой эффективности задержания отбросов в связи с широкими прозорами между стержнями решетки, а также вследствие ручной очистки решеток с использованием металлических граблей.

Установлено, что у песколовок железобетонные стены подвержены коррозионному разрушению, также протекает интенсивный процесс разрушения и обрушения защитного слоя бетона с оголением арматуры. Кольцевой рабочий лоток поврежден сплошной коррозией.

На всех двухъярусных отстойниках разрушается монолитный массив.

При обследовании аэротенков были установлены следующие дефекты:

- железобетонные стены подвержены разрушению бетона и арматуры;
- идет процесс обрушения защитного слоя бетона с оголением арматуры.

Для фактической производительности определены допустимые значения показателей качества на выпуске очистных сооружений.

Качественный состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения и на выпуск, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Качественный состав сточных вод города Житковичи

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ в составе сточных вод, мг/дм ³		
	поступающих на очистку	на выпуске очистных сооружений	допустимая
Аммонийный ион	34,32	13,53	12,75
Фосфор общий	5,91	2,73	2,55
Взвешенные вещества	272,66	11,93	17,0
ХПК	260	67,25	68,0
БПК ₅	93,82	9,3	17,0
Азот общий	42,99	15,17	17,0

На основании обследования и оценки эффективности работы очистных сооружений г. Житковичи установлено:

- приемная камера, находящаяся в голове очистных сооружений, открыта, что не способствует задержанию сильных запахов;
- фактические концентрации на выпуске из очистных сооружений превышают допустимые по показателям аммонийного иона и фосфора, очистные сооружения не обеспечивают требуемую степень очистки;
- очистные сооружения недогружены по органическим веществам, что влияет на видовой состав активного ила и на скорость его осаждения [1].

Для обеспечения качества очистки сточных вод, удовлетворяющего требования допустимых концентраций, необходима реконструкция сооружений очистки, которая предполагает комплексное изменение технологических решений с учетом сохранения основных сооружений и оборудования для повышения качества очистки, включающее:

- восстановление строительных конструкций сооружений;
- замену устаревшего технологического оборудования на новое;
- поэтапную реконструкцию сооружений биологической очистки с интенсификацией процессов удаления биогенных элементов.

Эффективность очистки биогенных элементов можно достичь путем создания в сооружениях биологической очистки, наряду с аэробными, еще и анаэробных и анаэробных зон. Это позволяет достичь эффективной очистки от соединений азота, фосфора, органических веществ. Обеспечивает сокращение расхода воздуха и уменьшение прироста избыточного ила [2].

Выводы. Для интенсификации очистки сточных вод г. Житковичи необходимо произвести замену решеток с ручным удалением отбросов на решетки ступенчатого типа; замену старых эксплуатируемых элементов сооружений в

песколовках и отстойниках на новые; реконструкцию аэротенков продленной аэрации с выделением анаэробной, аэробной и аноксидной зон. За счет этого снизятся концентрации фосфора и аммонийного иона до допустимых значений на выпуске очистных сооружений.

Список литературы

1 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, биотехнологии, геоэкология. – 2020. – № 2 (235). – С. 183–188.

2 Новикова, О. К. Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 301 с.

УДК 628.16

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ В МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

А. М. РАТНИКОВА, Н. В. СИВАКОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ratnikova_a.m@mail.ru, smirnovanatasha123457890@mail.ru*

Актуальность. Обеспечение населения питьевой водой, отвечающей всем нормативным требованиям, является одной из важнейших задач подпрограммы 5 «Чистая вода» Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы [1]. Для выполнения этой задачи по всей республике, особенно в малых населенных пунктах, строятся станции водоподготовки. При проектировании, строительстве и эксплуатации этих станций необходимо разрабатывать оптимальные режимы их работы в целях снижения потребления ресурсов и электроэнергии.

Цель работы – разработка рекомендаций по оптимизации работы станций водоподготовки малых населенных пунктов Республики Беларусь.

Основные результаты. Для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов используются подземные воды, показатели качества которых часто не соответствуют требованиям норм [2] по таким показателям как содержание железа, марганца, в отдельных случаях по показателю жесткости, а также запаху, привкусу, цветности, мутности.

Согласно протоколам исследования качества воды н. п. Храпков, качество воды эксплуатационного водоносного горизонта источника водоснабжения не соответствует (либо соответствует на граничных условиях) требованиям, установленным в Республике Беларусь [2] по показателям: запах, привкус, железо общее, марганец, жесткость общая. Для обеспечения качества воды по всем показателям была разработана технологическая схема

водоподготовки, приведенная на рисунке 1. Исходная артезианская вода со скважины производительностью 10 м³/ч при давлении до 0,6 МПа поступает на станцию водоподготовки и проходит сетчатый фильтр для задержания крупных примесей. Поскольку исходная вода содержит железо, марганец и сильный запах, в состав станции водоподготовки включен узел напорной аэрации.

После прохождения воды через аэрационную колонну вода, насыщенная кислородом, поступает на блок обезжелезивания и деманганации. Очистка воды от железа и марганца проходит в одну ступень с помощью четырех автоматических напорных фильтров с катализатором окисления.

В качестве фильтрующего материала принят сорбент нового поколения ОДМ-2Ф совместно с ОДМ-5Ф.

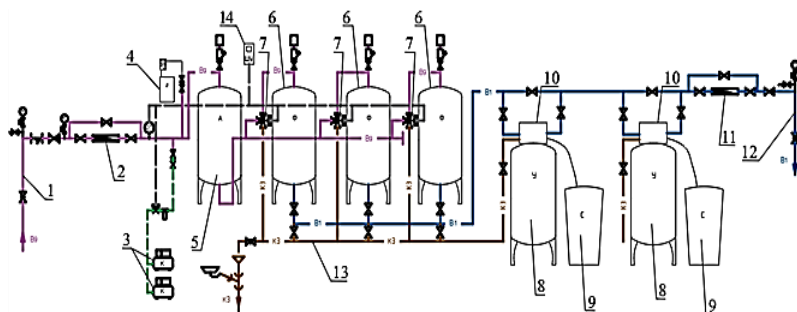


Рисунок 1 – Технологическая схема обезжелезивания, деманганации и умягчения воды:

- 1 – трубопровод исходной воды; 2 – водомерный узел исходной воды;
- 3 – компрессор для аэрации; 4 – установка гипохлорита натрия; 5 – аэрационная колонна; 6 – напорный фильтр обезжелезивания и деманганации; 7 – трехходовой кран с электроприводом;
- 8 – напорный фильтр умягчения воды; 9 – солевой бак; 10 – клапан управления; 11 – водомерный узел очищенной воды; 12 – трубопровод очищенной воды; 13 – канализационный коллектор;
- 14 – шкаф управления

Сорбенты нового поколения ОДМ-2Ф, ОДМ-5Ф химически устойчивы к таким распространенным окислителям, как гипохлорит натрия, марганцевый раствор, коагулянты, озон и др.

В межзерновом пространстве фильтра происходит автокаталитическое окисление ионов двухвалентного железа растворенным кислородом, образование каталитической пленки ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа и задержание осадка в толще загрузки. Ионы двухвалентного марганца задерживаются в фильтре в результате адсорбции на поверхности свежесформированного осадка гидроксида железа. Тонкодисперсные примеси и окрашенные соединения, обуславливающие цветность и мутность воды, также задерживаются в толще загрузки, в результате чего вода становится бесцветной; применение данного метода устраняет запах и привкус воды. В процессе фильтрации

постепенно происходит равномерное заполнение загрузки гидроокисью железа, марганца, тонкодисперсными примесями и окрашенными соединениями. Увеличение потерь напора на станции водоподготовки является одним из показателей необходимости регенерации фильтрующего материала.

С учетом специфики существующей схемы водоснабжения конкретного населенного пункта промывка фильтроматериала может производиться:

- обратным током воды из водонапорной башни (при ее наличии);
- из скважины (при отсутствии в населенном пункте водонапорной башни) при условии, что расход на промывку ниже производительности скважины, и качество подаваемой воды соответствует требованиям;
- при отсутствии возможности восстановления свойств материала описанными выше методами необходимо предусмотреть резервуар чистой воды и установку промывных насосов.

Последний метод наиболее энергозатратный. Наиболее оптимальным методом является промывка фильтрующей загрузки очищенной водой из скважины (три фильтра промывают четвертый). При включении одного из четырех фильтров на промывку путем смены положения трехходового крана с электроприводом очищенная вода с трех фильтров поступает в четвертый снизу-вверх под давлением, развиваемым скважинным насосом. Благодаря этому фильтрующий материал разрыхляется; задержанные во время фильтрации загрязнения вымываются в канализацию по дренажной линии. Промывка фильтров осуществляется в часы минимального водопотребления, что позволяет снизить неравномерность работы насосного оборудования. Периодичность регенерации фильтра обезжелезивания составляет ~96 часов (промывка фильтра производится не реже 1 раза в 4 суток), окончательно определяется в зависимости от содержания загрязнений в исходной воде и по результатам пусконаладочных работ. Количество воды на промывку одного фильтра составляет 1,65 м³. После очистки от железа вода поступает на блок умягчения для снижения содержания солей жесткости (при необходимости). Подобранные фильтры обеспечивают на выходе жесткость общую 0,3 ммоль/дм³. Поскольку для систем питьевого водоснабжения нет необходимости в столь глубоком умягчении, то было определено, что через установку умягчения следует пропускать 4 м³/ч, а 6 м³/ч – мимо установки умягчения (по байпасной линии). Это позволит сократить количество фильтруемой воды, и, соответственно, уменьшить количество воды, необходимой для промывки и регенерации фильтра. При работе установки промывка фильтров умягчения производится каждые сутки. Окончательная периодичность промывки определяется в зависимости от содержания загрязнений в исходной воде, и по результатам пусконаладочных работ. Количество промывной воды в сутки составляет 1,2 м³.

Снижение потребления ресурсов и энергозатрат может быть достигнуто за счет выбора оптимального режима промывки фильтров: оптимизация использования промывочной воды за счет сокращения количества обратных промывок фильтра, уменьшения расходов на одну промывку при обеспечении надлежащего качества промывки, снижение затрат электроэнергии за счет минимизации количества установленных насосов и рационального их использования.

Выводы. Разработанные рекомендации по оптимизации работы станций водоподготовки могут быть использованы при проектировании и эксплуатации указанных станций в малых населенных пунктах Республики Беларусь.

Список литературы

1 Государственная программа «Комфортное жильё и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28.01.2021 № 50 // Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. – Минск, 2025. – URL: <https://mjkh.gov.by/docs/ofitsialnye-dokumenty/03.PDF?ysclid=m83c2e4zeo246555342> (дата обращения: 09.03.2025).

2 Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды» : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 // Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. – Минск, 2017–2024. – URL: <https://minzdrav.gov.by/upload/m83hg4ffzq103610167> (дата обращения: 09.03.2025).

УДК 551.4(476.13)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. ВЛАДИКАВКАЗА

А. А. РОДЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
alesarodenko580@gmail.com*

Актуальность. Современные очистные сооружения представляют собой высокотехнологичные и капиталоемкие комплексы, включающие в себя множество инженерных сооружений и коммуникаций, работающих слаженно для достижения высокого качества очистки сточных вод. Их эффективное функционирование – залог сохранения экологического баланса в регионе.

Необходимость реконструкции возникает по нескольким причинам, и зачастую это не просто вопрос устаревшего оборудования. Основные

причины снижения эффективности работы отдельных сооружений обусловлены различными факторами: износом оборудования; изменением расхода и состава поступающих сточных вод.

Цель работы – разработка рекомендаций по реконструкции очистных сооружений города Владикавказа для обеспечения требуемых концентраций загрязняющих веществ на выпуске в реку Терек.

Основные результаты. Первая очередь очистных сооружений г. Владикавказа (производительностью 123 тыс. м³/сут) введена в эксплуатацию в 1976 году, вторая очередь (производительностью 157 тыс. м³/сут) – в конце 1990 года. Очистные сооружения г. Владикавказа включают сооружения и оборудование механической очистки (решетки, горизонтальные песколовки, преаэратор, первичные радиальные отстойники) и биологической очистки (4-коридорные аэротенки, вторичные отстойники). Фактическая производительность очистных сооружений (96,5 тыс. м³/сут) значительно меньше проектной.

На основании проведенного визуального осмотра конструкций очистных сооружений г. Владикавказа установлено множество дефектов и повреждений основных элементов сооружений:

- сколы и отслоения бетона, разрушение бетонного слоя с оголением арматуры;
- сплошная коррозия металлоконструкций и технологического оборудования (воздуховодов, трубопроводов, ограждений, площадок обслуживания, щитовых затворов, решеток);
- продольные и поперечные трещины защитного слоя бетона;
- признаки глубокой коррозии в местах оголения арматуры.

В настоящее время в эксплуатации находятся только решетки и песколовка, а далее сточные воды по транспортирующему лотку отводятся в реку Терек. Сооружения по обработке осадка (радиальные илоуплотнители, метантенки) не работают и выведены из эксплуатации.

Концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, существенно отличаются от проектных значений, концентрации загрязняющих веществ на выпуске очистных сооружений превышают допустимые значения по показателям: взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, азот общий, азот аммонийный, фосфор общий и фосфор фосфатов (таблица 1). Очистные сооружения находятся в неудовлетворительном состоянии, физически и морально устарели. Основными причинами текущего состояния сооружений можно считать агрессивное воздействие окружающей среды и длительный безремонтный период. Требуется ремонт зданий и сооружений.

Комплекс сооружений и технологического оборудования не отвечает современным требованиям по очистке сточных вод. Без проведения реконструкции

очистных сооружений получить нормативные концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах невозможно.

Таблица 1 – Качественная характеристика сточных вод г. Владикавказа

Показатель	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³ , в составе сточных вод			
	поступающих на очистные сооружения		на выпуске очистных сооружений	
	проектная	фактическая	фактическая	допустимая
Взвешенные вещества, мг/дм ³	210	286,83	48	5,0
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	192	309,62	25,5	3,0
ХПК, мг О ₂ /дм ³	150	553,67	170,2	–
Азот общий, мг/дм ³	60	50,52	48,3	15
Азот аммонийный, мг/дм ³	50	38,4	60,1	0,4
Фосфор общий, мг/дм ³	10	10,2	8,6	0,5
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	8	6,41	5,32	0,2

На основании проведенного комплексного обследования и оценки эффективности работы очистных сооружений г. Владикавказа разработаны рекомендации по реконструкции очистных сооружений, обеспечивающие качество очистки сточных вод на выпуске до требований сброса в реку Терек:

- ввести в эксплуатацию первичные и вторичные радиальные отстойники после выполнения ремонтных работ по восстановлению конструкций;
- 4-коридорные аэротенки первой и второй очереди ввести в эксплуатацию после выполнения ремонта железобетонных конструкций и технологических мостиков, замены системы аэрации во всех секциях аэротенка на мелкопузырчатые аэраторы и новые распределительные лотки из нержавеющей стали;
- ввести в эксплуатацию сооружения по обработке осадков сточных вод. Отбросы с решеток направлять на дробилки, которые потом поступают в приемный резервуар. Пескопульпа перекачивается в бункеры для песка. Избыточный активный ил 1-й и 2-й очереди перекачивается на радиальные илоуплотнители, откуда, смешиваясь с сырым осадком после первичных отстойников, данная смесь транспортируется в метантенки для анаэробного сбраживания. Сброженный осадок направляется на иловые площадки.

Выводы. В результате проведенного обследования очистных сооружений г. Владикавказа были разработаны рекомендации по реконструкции с целью обеспечения качества очистки сточных вод на выпуске до требований на сброс в реку Терек за счет восстановления работоспособности сооружений по очистке сточных вод (первичных и вторичных отстойников, аэротенков) и ввода в эксплуатацию сооружений по обработке осадков (радиальных илоуплотнителей, метантенков, иловых площадок).

Список литературы

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

2 Новикова, О. К. Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.

УДК 551.4(476.13)

ОБСЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ЕЛЬСКА

А. В. РУЛЕВИЧ

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

Актуальность. Большая часть очистных сооружений в Республике Беларусь, эксплуатируемых в настоящее время, была запроектирована и построена несколько десятилетий назад и на данный момент имеет значительную степень износа. Кроме того, применяемые технологии устаревают. Эти факторы приводят к снижению эффективности работы сооружений. Таким образом, анализ и оценка состояния очистных сооружений являются необходимым шагом для обеспечения их дальнейшей эксплуатации в соответствии с современными нормами качества.

Цель работы – анализ состояния и оценка эффективности работы очистных сооружений города Ельска.

Основные результаты. Очистные сооружения города Ельска были построены в 1975 году с проектным расходом сточных вод 1000 м³/сут.

Технологическая схема очистных сооружений включает приемную камеру, горизонтальную песколовку, двухъярусные отстойники, иловую камеру, распределительный колодец, поля фильтрации. Фактический средний суточный расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, составляет 1160 м³/сут, что превышает проектное значение.

В процессе визуального осмотра комплекса очистных сооружений установлено множество дефектов и повреждений конструктивных элементов очистных сооружений, которые возникли в результате воздействия природно-климатических факторов и агрессивного воздействия среды. Результаты обследования строительных конструкций очистных сооружений в г. Ельске демонстрируют, что очистные сооружения пригодны для дальнейшей эксплуатации при условии выполнения следующих работ:

– ремонт стыков между панелями наружных стен двухъярусных отстойников;

- устройство вертикальной гидроизоляции стен с наружной стороны двухъярусных отстойников;
- устройство ограждения и навес двухъярусных отстойников;
- ремонт и восстановление защитного слоя бетона железобетонных конструкций: двухъярусных отстойников и камеры гашения напора; для ремонта поврежденных железобетонных конструкций потребуются удаление разрушенных участков бетона, зачистка оголенной арматуры от ржавчины, обработка ее преобразователем ржавчины и антикоррозийным составом и восстановление защитного слоя бетона;
- расчистки, заделки трещин в монолитных участках двухъярусных отстойников и камеры гашения напора цементно-песчаным раствором;
- полная замена всех разводящих лотков;
- устройства сливных участков распределяющего канала.

В результате нехватка средств на своевременный ремонт, аварийные ситуации, естественный износ оборудования, работа в режиме перегрузки и нарушения технологического процесса привели к разрушению существующих очистных сооружений. На сегодня очистные сооружения города Ельска не эксплуатируются, так как находятся в аварийном состоянии и не отвечают современным требованиям по очистке сточных вод.

Сточные воды города Ельска для дальнейшей очистки поступают на очистные сооружения ОАО «Мозырский НПЗ». Фактические концентрации в поступающих сточных водах превышают проектные значения по всем показателям (таблица 1). Это обусловлено тем, что предприятия города Ельска сбрасывают неочищенные сточные воды.

Таблица 1 – Определение степени очистки сточных вод

Наименование показателя	Вход сточных вод на очистные сооружения, мг/дм ³	Очистные сооружения ОАО «Мозырский НПЗ»	
		ДК загрязняющих веществ, мг/дм ³	Необходимая степень очистки Э, %
БПК ₅	145	200	–
Взвешенные вещества	200	300	–
Азот аммонийный	70	40	43
Фосфаты (по Р)	4,75	2,6	46
Нефтепродукты	1,08	5,0	–

На основании комплексного анализа и оценки эффективности работы очистных сооружений разработаны проектные предложения по реконструкции, включающие:

- 1) строительство новой приемной камеры;
- 2) строительство здания решеток с установкой:

- механизированных решеток;
- конвейера винтового;
- пресса винтового отжимного;
- контейнеров для отбросов;
- сепараторов песка;

3) строительство двух горизонтальных песколовков с круговым движением воды на два отделения;

4) строительство первичных вертикальных отстойников с центральным впуском сточной воды.

5) строительство насосной станции сырого осадка;

6) строительство блока емкостей биологической очистки (аэротенки; вторичные отстойники; контактные резервуары);

7) проектирование аэрируемых биопрудов 1-й и 2-й ступени, контактного биопруда;

8) установка аэробного стабилизатора и фильтр-пресса.

Выводы. Существующий комплекс очистных сооружений и технологическое оборудование города Ельска Гомельской области не отвечают современным требованиям по очистке сточных вод.

Список литературы

1 Новикова, О. К. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 206 с.

УДК 631.624

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ТРЕТЬЕГО ПОДЪЕМА

Н. П. СЕРЕДА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
kolya.sereda.2015@mail.ru*

Актуальность. Рост стоимости электроэнергии обуславливает необходимость энергосбережения во многих отраслях, в том числе, снижение потребления энергии насосными установками, основной задачей которых является подача воды питьевого качества в дома многоэтажной застройки города. Для обеспечения максимальной энергоэффективности повелительных насосных станций при проектировании требуется не только выбор оптимального по характеристикам насосного оборудования, но и модернизация, замена и корректировка уже используемого оборудования. Существует множество причин высокого потребления электроэнергии системой и способов повышения энергоэффективности насосных установок.

Цель работы – разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности работы насосных станций третьего подъема.

Основные результаты. Основные задачи, решаемые с помощью насосных станций, – это, прежде всего, бесперебойное и устойчивое обеспечение потребителей водой с требуемыми гидравлическими параметрами и минимально возможными затратами. Таким образом, экономия электроэнергии является сопутствующим фактором при выполнении основной задачи.

Основной проблемой в данной области является отсутствие достоверной, согласованной и понятной методики определения энергетической эффективности работы насосных станций.

Выделены основные факторы, оказывающие влияние на эффективность работы насосных агрегатов:

- низкий коэффициент полезного действия у насосных агрегатов, имеющих срок службы более 15–20 лет;
- потребность частого ремонта и технического обслуживания;
- отсутствие современных систем мониторинга и сбора данных и автоматизации.

В ручном режиме сложно своевременно реагировать на изменения в потреблении воды, что приводит к неэффективной работе насосов и повышенному энергопотреблению. Отсутствие автоматизированных систем диагностики не позволит заранее обнаружить и устранить потенциальные неисправности, что приводит к авариям и непредвиденным остановкам оборудования. Только комплексный подход может решить проблемы энергоэффективности насосных станций.

Для поддержания высокой эффективности насосных станций и снижения энергопотребления необходимы:

- своевременная замена насосных агрегатов, труб и арматуры со сверхнормативным сроком службы на современные аналоги;
- оптимизация гидравлических процессов в системах водоснабжения, включающая уменьшение гидравлических потерь, улучшение характеристик сети и использование современных технологий;
- проведение регулярного технического обслуживания насосных агрегатов и запорно-регулирующей арматуры;
- внедрение автоматизации и мониторинга работы насосной станции.

Детальный анализ работы насосной станции является важным направлением в оптимизации существующих систем водоснабжения. Применение программного обеспечения для гидравлического моделирования (NanoCAD, САПР и т. п.) на водоканалах позволяет создать точную модель сети и провести анализ потоков, давления и потерь. Выбор предпочтительного диаметра труб обеспечивает снижение сопротивления потоку и уменьшение энергозатрат на перекачку воды.

При проведении новой реконструкции сетей водоснабжения рекомендуется:

- замена узких и изношенных труб на новые с большим диаметром, это позволит обеспечить существенное снижение гидравлических потерь в сетях;

– применение современных материалов трубопроводов и арматуры. Использование труб из материалов с гладкой внутренней поверхностью позволит снизить трение и уменьшить потери давления;

– применение насосов с переменной частотой вращения двигателя для регулирования работы насосов в зависимости от текущего потребления воды.

Современные насосные технологии направлены на повышение энергоэффективности и надежности систем водоснабжения. Плавный запуск и остановка насоса уменьшают износ механических частей и снижают нагрузку на трубопроводы. Так же с целью минимизации гидравлических потерь и улучшения общей эффективности работы компаниями по изготовлению насосного оборудования разрабатываются высокоэффективные центробежные насосные агрегаты. Используются современные двигатели класса IE3 и выше, которые потребляют меньше энергии и обеспечивают высокую производительность. Современные насосные агрегаты оснащаются встроенными системами управления и мониторинга, которые позволяют оптимизировать их работу в реальном времени.

Системы автоматического управления обеспечивают регулирование работы насосных агрегатов в зависимости от изменения давления, расхода воды и других параметров. Встроенные датчики и средства связи позволяют контролировать состояние насоса удаленно, значения выходного давления насосной станции и частоту вращения насосного агрегата.

Современные насосные агрегаты изготавливаются из материалов, которые обеспечивают долговечность и устойчивость к коррозии. Легкие и прочные композитные материалы уменьшают вес насосов и увеличивают их износостойкость. Использование высокоэффективных центробежных насосов, интегрированных систем управления и инновационных материалов позволяет значительно снизить эксплуатационные затраты и улучшить качество водоснабжения.

Выводы. Разработаны рекомендации по повышению энергоэффективности работы повысительных насосных станций, включающие своевременную замену насосных агрегатов, труб и арматуры со сверхнормативным сроком службы на современные аналоги, оптимизацию гидравлических процессов в системах водоснабжения, в том числе уменьшение гидравлических потерь, улучшение характеристик сети, проведение регулярного технического обслуживания насосных агрегатов и запорно-регулирующей арматуры и внедрение автоматизации и мониторинга работы насосной станции.

Список литературы

1 **Зинаков, В. А.** Проблемы, возникающие при проектировании и эксплуатации канализационных насосных станций / В. А. Зинаков // Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест : материалы Междунар. науч-практ. конф., Минск, 12–13 февр. 2020 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2020. – С. 81–83.

2 Насосные станции : пособие для студентов специальностей 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» и 1-70 07 01 «Строительство тепловых и атомных электростанций» / В. В. Ивашечкин, Н. Н. Линкевич, С. М. Курчевский [и др.] ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика». – Минск : БНТУ, 2022. – 123 с.

3 СН 4.01.012-2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 78 с.

УДК 551.4

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕПЛАНИРОВКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В. И. СЛЕПЦОВА

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

Актуальность. Современные технологии не стоят на месте, старое оборудование заменяется на новое, более мощное. При закупке нового оборудования на предприятиях часто требуется перепланировка производственных помещений, она необходима с целью повышения технико-экономического уровня производства.

Процесс выполнения строительно-монтажных работ в ходе реконструкции и перепланировки существующих промышленных предприятий представляет собой довольно сложную задачу, так как осуществляется в рамках действующего генерального плана предприятия. Это создает дополнительные трудности для организации и технологии выполнения работ, а также для обеспечения материально-техническими ресурсами.

Цель работы – разработка мероприятий по перепланировке и реконструкции производственных помещений для установки нового оборудования.

Основные результаты. Реконструкция зданий представляет собой изменение внутреннего или внешнего вида с изменением назначения. Реконструкция производственных зданий дает возможность увеличить и улучшить выпуск продукции без увеличения производственных площадей, с меньшими затратами, в короткие сроки.

Правильное определение приоритетов, направлений и методов реконструкции не только оптимизирует текущее функционирование промышленных объектов, но и создает условия для их дальнейшего развития, что в свою очередь способствует стабильному росту экономических показателей.

В настоящее время применяются три основные направления реконструкции промышленных предприятий, которые охватывают определенный круг задач и различаются масштабами реконструктивных мероприятий [1].

Первое направление заключается в техническом перевооружении предприятия, что предполагает обновление производственного процесса, закупку нового оборудования и значительное улучшение характеристик существующего технологического оборудования. В задачи архитектурной локальной реконструкции в рамках этого направления могут входить повышение эстетических качеств зданий и сооружений, оптимизация пространственной организации рабочих мест и цветового оформления производственных цехов, а также благоустройство территории и другие мероприятия.

Второе направление включает техническое перевооружение с комплексным обновлением строительных фондов. Это направление предусматривает внесение изменений в объемно-пространственные характеристики существующих зданий в процессе реконструкции, а также строительство новых объектов на резервных и освобождающихся в результате сноса площадках. Кроме того, оно предполагает оптимизацию и трансформацию транспортно-пешеходной сети, системы культурно-бытового обслуживания и ландшафтной организации.

Третье направление включает в себя коренную реконструкцию и расширение предприятия. Основное отличие коренной реконструкции заключается в том, что помимо комплекса мероприятий по модернизации технологических процессов и улучшению всех элементов производственной среды происходит изменение функционального назначения части существующих зданий, демонтаж устаревших сооружений, строительство новых объектов, а также размещение филиалов и отдельных структур как на смежных территориях, так и за пределами района [2].

В ходе реконструкции производственных корпусов осуществляется их адаптация к современным технологиям, а все строительные работы ориентированы на соблюдение высоких технологических, технических и эксплуатационных стандартов.

Организация строительного процесса при реконструкции зданий и сооружений имеет свои особенности по сравнению с новым строительством. Это выражается в разнородности и рассредоточенности выполняемых работ, а также в необходимости осуществления комплекса задач, которые не характерны для нового строительства.

К работам по переустройству и (или) перепланировке относятся:

- замена или перенос систем газоснабжения, центрального отопления, мусороудаления, газоудаления;
- устройство гидро-, паро-, тепло- и звукоизоляции;
- изменения в несущих конструкциях;
- изменение площади за счет разборки существующих и (или) устройства новых перегородок;
- устройство, увеличение проемов в ненесущих стенах и перегородках.

Иные работы не являются работами по переустройству или перепланировке [3].

При проведении строительных работ при перепланировке производственных помещений важно учитывать множество аспектов, чтобы минимизировать риски и обеспечить эффективность процесса.

Разработаны основные рекомендации для проведения строительных работ при перепланировке производственных помещений, которые включают:

1) проведение детального обследования существующих конструкций, инженерных систем и материалов, оценка состояния зданий, несущих стен, перекрытий, а также инженерных коммуникаций;

2) согласование проекта перепланировки с местными органами власти и получение необходимых разрешений, соответствие проекта строительным, санитарным и пожарным нормам;

3) разработка графика работ, минимизирующего влияние на действующее производство, разделение проекта на этапы, использование временных конструкций или переносного оборудования для обеспечения бесперебойной работы оборудования и цеха, организация временных производственных площадей;

4) организация поэтапной работы с уменьшением задержек и повышением безопасности, разработка плана перемещения и обеспечение правильной и качественной доставки материалов и оборудования;

5) применение малогабаритных и универсальных машин, способных работать в стесненных условиях на оптимальных режимах, имеющих многоцелевое назначение, использование современных передовых технологий строительства, а также качественных материалов, внедрение технологий, способствующих быстрой установке и демонтажу;

6) оценка возможных последствий для здоровья работников, имущества и окружающей среды, проведение работ по реконструкции в действующих цехах под постоянным наблюдением инженерно-технического персонала, обучение сотрудников безопасным методам работы на строительной площадке, проведение инструктажей на строительной площадке перед началом работы, разработка плана действий на случай возникновения чрезвычайных ситуаций, включая эвакуацию, оказание первой помощи и уведомление экстренных служб;

7) организация встреч всех участников проекта, ведение протокола встреч с фиксацией основных положений и принятых решений;

8) оценка качества и эффективности выполненных работ, их соответствие с проектными требованиями, проверка систем противопожарной защиты, путей эвакуации;

9) стремление к минимизации воздействия на окружающую среду, снижение уровня шума, организация управления отходами, включая их сбор, сортировку и утилизацию.

Применение рекомендаций для проведения строительных работ при перепланировке производственных помещений обеспечит значительное повышение вероятности успешной перепланировки производственных помещений, минимизируя негативное влияние на действующее производство и обеспечивая безопасность и эффективность работы предприятия.

Выводы. При проведении реконструкции и перепланировки производственных помещений необходимо учитывать как технические и технологические аспекты, так и специфику текущих производственных процессов. Комплексная механизация и применение современных технологий способствуют эффективной организации строительных работ без значительного влияния на производственные процессы.

Список литературы

1 Анализ систем оценок технического состояния, используемых в практике обследования зданий и сооружений / Л. И. Черкасова, М. Н. Иванов, А. Г. Паушкин, Г. В. Алексеев // Вестник МГСУ. – 2008. – № 2. – С. 134–144.

2 Технология производства строительных работ при реконструкции действующих объектов : учеб.-метод. пособие / С. Н. Леонович, Д. В. Топчий, В. Н. Черноиван [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 529 с.

3 Ким, Д. А. Актуальные проблемы технического обследования зданий, попадающих под зону влияния строительных и реконструкционных работ / Д. А. Ким // Вопросы науки и образования. – 2019. – № 11 (57). – С. 26–30.

УДК 551.4

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОТВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

К. А. СЛЕПЦОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
kristina2002bon@gmail.com*

Актуальность. В результате интенсивного выпадения атмосферных осадков и снеготаяния происходит сброс дождевых и талых вод с территорий предприятий машиностроения. В результате в водоемы поступают поверхностные сточные воды, загрязненные взвешенными веществами, нефтепродуктами и др. примесями, что оказывает неблагоприятное воздействие на экосистему водоемов [1], и поэтому требуется организация отведения и очистки поверхностных сточных вод.

Цель работы – изучение методов отведения поверхностных сточных вод с площадок предприятий машиностроения.

Основные результаты. Объектом исследования является система канализации поверхностных сточных вод предприятий машиностроения. Поверхностный сток с площадок предприятий машиностроения является одним из интенсивных источников загрязнения окружающей среды. Он может содержать различные примеси как природного, так и техногенного происхождения [2].

На крупных предприятиях с разнообразными производственными участками возникает значительное различие в составе поверхностных сточных вод. Это различие необходимо учитывать при разработке технологий очистки и схем отведения поверхностных сточных вод.

Качественный состав поверхностных сточных вод с территорий промышленных предприятий имеет, как правило, более сложный состав, чем с селитебной территории, и определяется характером основных технологических процессов [3]. Концентрации загрязняющих веществ в составе дождевых и талых сточных вод зависят как от периода формирования, так и от вида поверхности водосбора, санитарно-технического состояния и режима уборки территории, эффективности работы систем газо- и пылеулавливания, организации складирования и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также отходов производства [2].

На предприятиях машиностроения, включающих различные производства, поверхностные сточные воды с отдельных территорий по составу примесей заметно отличаются от состава сточных вод с других участков [1].

При отведении на очистку поверхностных сточных вод с территорий предприятий машиностроения требуется очистка всего среднегодового объема сточных вод. В этом случае в очистных сооружениях накопительного типа предусматривается устройство аккумулирующих резервуаров, рассчитанных на прием сточных вод от дождя с максимальным за год суточным слоем осадков требуемой обеспеченности (не менее 63%-й, что соответствует периоду однократного превышения более 1 года) [2].

Регулирование расхода и объема дождевого стока перед очистными сооружениями может быть выполнено двумя способами:

1 Первый способ разделения основан на сборе и последующей очистке дождевых вод, которые поступают от начала стока до момента накопления определенного объема в аккумулирующем (регулирующем) резервуаре. Разделение стока осуществляется в камере, расположенной во входной части аккумулирующего (регулирующего) резервуара или на трубопроводе перед резервуаром. В результате такого разделения очищается концентрированная часть стока от всех дождей, в то время как менее концентрированная часть стока от значительных осадков сбрасывается в водный объект без очистки. Данный способ разделения рекомендуется использовать в условиях самотечного режима поступления стоков по коллектору дождевой канализации к аккумулирующему (регулирующему) резервуару.

2 При использовании второго способа разделения предусмотрено двойное регулирование дождевого стока – по расходу и объему. Регулирование

расхода осуществляется с помощью установки разделительных камер на коллекторах дождевой канализации. Через эти камеры поверхностные сточные воды от слабых дождей и часть стоков с определенным расходом от сильных дождей направляются на последующие сооружения. Вторичное регулирование стока по объему выполняется в аккумулирующем резервуаре аналогично первому методу. Этот способ разделения можно применять при значительном заглублении самотечного коллектора дождевой канализации, который подводит поверхностные стоки к аккумулирующему резервуару, что может потребовать установки подкачивающей насосной станции.

Разделительные камеры для контроля объема дождевого стока должны быть выполнены в виде гидрозатвора, который предотвратит попадание плавающих загрязнений, включая пленку нефтепродуктов, в избыточный поток стоков, сбрасываемых в водный объект без предварительной очистки.

Регулирование расхода поверхностного стока без прямого сброса в водоприемник должно быть обеспечено с помощью установки накопительных (регулирующих) резервуаров, спроектированных для накопления стока на протяжении определенного времени (года, теплого сезона, месяца) или для приема дождевого стока с максимальным расчетным слоем осадков.

Выбор конструкции аккумулирующего резервуара осуществляется с учетом его функционального назначения. Если резервуар предназначен в основном для регулирования потока сточных вод, отводимых на очистку, целесообразно предусматривать специальные меры, направленные на предотвращение оттаивания сточных вод, такие как гидравлическое или пневматическое взмучивание. В случае, когда аккумулирующий резервуар используется не только для регулирования расхода, но и для предварительной механической очистки сточных вод, предприятиям машиностроения необходимо разрабатывать эффективные и надежные технические решения для периодического сбора и удаления всплывающих веществ, а также оседающих механических примесей.

При проектировании систем дождевой канализации необходимо в первую очередь обеспечивать самотечный режим отвода дождевых вод. Однако в некоторых случаях, связанных с особенностями рельефа местности, может возникнуть необходимость установки насосных станций для перекачки поверхностных сточных вод. Ключевым моментом при расчете насосных станций является необходимость отведения поверхностных сточных вод таким образом, чтобы не ухудшать работу участков канализационной сети, расположенных выше по течению (избегая увеличения частоты их кратковременного переполнения). В то же время следует учитывать нерегулярный режим работы насосных станций, что накладывает повышенные требования к экономичности таких систем.

Расчет насосных станций для предприятий машиностроения необходимо выполнять по методу предельных интенсивностей с использованием расчетных зависимостей типового гидрографа дождевого стока.

Выводы. Разработаны рекомендации по отведению поверхностных сточных вод с площадок предприятий машиностроения, согласно которым для отведения сточных вод рекомендуется применение метода двойного регулирования дождевого стока – по расходу и объему. Рекомендуется применение методов отведения поверхностных сточных вод с использованием разделительных камер и регулирующих резервуаров.

Список литературы

1 Новикова, О. К. Отведение и очистка поверхностных сточных вод : монография / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 179 с.

2 Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М. : НИИ ВОДГЕО, 2014. – 88 с.

3 Алешин, В. С. Особенности состава и очистки поверхностного стока в г. Ростов-на-Дону / В. С. Алешин, А. В. Алешин, Л. Г. Муртазина // Водоснабжение и канализация. – 2010. – № 3–4. – С. 109–112.

УДК 628.356+004.9

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

С. В. СТЕПАНОВ¹, П. П. АВДЕЕНКОВ¹, М. В. ЛАЗУНИН², В. Н. СЕМЕНОВ²

¹Самарский государственный технический университет,

Российская Федерация

stepanovsv3@yandex.ru, avdeenkovpp@mail.ru

²ЭкоСмарт, г. Самара, Российская Федерация

artseven@mail.ru

Актуальность. Современные канализационные очистные сооружения (КОС) представляют собой сложный комплекс технологических элементов различного назначения. Как технологический расчет, так и эксплуатация КОС требуют высокой квалификации. Для помощи инженерам и эксплуатирующему персоналу могут быть использованы современные технологии, в том числе включающие цифровизацию.

Цель работы – разработать компьютерные программы, позволяющие выполнять технологический расчет канализационных очистных сооружений и оптимизировать работу аэротенков за счет внесения изменений в технологический режим их работы.

Основные результаты. В данной работе рассмотрены два варианта программного обеспечения (ПО): для технологического расчета канализационных

очистных сооружений с аэротенками («прямая задача») и для компьютерного моделирования работы аэротенков и вторичных отстойников («обратная задача»). ПО для комплексного технологического расчета КОС разработано авторами по методике ВОДГЕО/СамГТУ [1] с использованием ряда формул СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» и опыта проектирования и эксплуатации очистных сооружений кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

ПО позволяет рассчитывать решетки, песколовки, усреднители, первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, сооружения доочистки и количество образующихся осадков. Для сооружений, выполняемых из железобетонных конструкций, работа ПО заканчивается технологическим расчетом с формированием отчета, а для сооружений заводского изготовления производительностью менее 2000 м³/сут подбирается всё необходимое оборудование: решетки и песколовки или комбинированные установки механической очистки, усреднители с насосами и мешалками, денитрификаторы с мешалками, нитрификаторы с аэраторами, воздушодувки, фильтры-биореакторы, необходимые канализационные насосные станции и комплексы реагентного хозяйства коагулянта и флокулянта с насосами-дозаторами, шнековые фильтр-прессы или мешочные фильтры и ультрафиолетовое обеззараживание.

Расчеты соответствуют действующему на данный момент СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с изменениями № 1, 2, 3)». В ПО может быть заложено оборудование любого завода-изготовителя. Интерфейс ПО для сооружений заводского изготовления представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Интерфейс программного обеспечения для технологического расчета канализационных очистных сооружений заводского изготовления

очистку. Данная программа передана для пробной эксплуатации на очистные сооружения г. Димитровграда, Ульяновская область.

Выводы. Для технологического расчета современных канализационных очистных сооружений и их эксплуатации требуется высокая квалификация как сотрудников проектных организаций и инженеринговых компаний, так и эксплуатирующего персонала коммунальных предприятий. Разработаны два программных продукта для канализационных очистных сооружений: один позволяет выполнить комплексный технологический расчет с подбором всего необходимого оборудования; второй оптимизирует работу аэротенков таким образом, чтобы в существующих объемах сооружений добиться максимально возможной эффективности очистки.

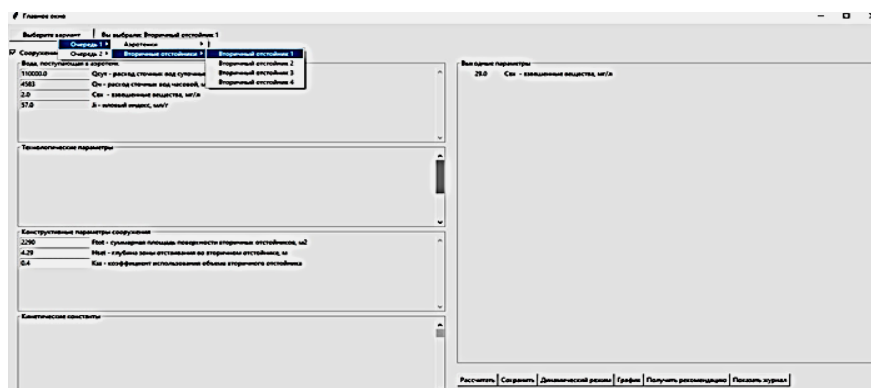


Рисунок 3 – Интерфейс ПО «ПОТЕНЦИАЛ» при работе с вторичными отстойниками

Исследование выполнено в рамках Договора № 4951ГС1/85526 между ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» и ООО «ЭкоСмарт».

Список литературы

- 1 **Степанов, С. В.** Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов : учеб. пособие / С. В. Степанов. – М. : АСВ, 2020. – 224 с.
- 2 Математическое моделирование процессов очистки сточных вод в аэротенках / С. В. Степанов, О. В. Харьковина, П. П. Авдесенков [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2024. – № 9. – С. 22–31. – DOI: 10.35776/VST.2024.09.04.
- 3 Результаты математического моделирования процессов очистки сточных вод в аэротенках на ГОКС г. Самары в период реконструкции и пусконаладочных работ / С. В. Степанов, Ю. А. Егорова, О. В. Харьковина [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2024. – № 11. – С. 24–31. – DOI: 10.35776/VST.2024.11.03.

4 Программное обеспечение для моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках / С. В. Степанов, О. В. Харьковина, П. П. Авдеенков, М. В. Лазунин // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Е. Ф. Кудиной. – Гомель, 2024. – С. 24–27

5 Помощник технолога: примеры использования ПО «ПОТЕНЦИАЛ» / О. В. Харьковина, С. В. Степанов, П. П. Авдеенков [и др.] // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2024. – № 6. – 29–38.

УДК 551.4(476.13)

УЧЕТ И ЭКОНОМИЯ ВОДЫ

В. С. ЧЕРНЕЦКАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
valeriya2315936@gmail.com*

Актуальность. На водоснабжение жилья в мире в целом требуется почти 8 % мирового расхода пресной воды, причем оно крайне неравномерно по странам. В РФ нормы и расходы воды (в среднем составляют около 300 л/сут на человека) выше, чем в Европе. Исследования европейских ученых показали, что самые расточительные в плане потребления воды итальянцы: в сутки они расходуют в среднем 220 л/чел. Самыми же бережливыми оказались бельгийцы: у них на каждого человека приходится всего 108 л/сут. Англичане, которые до сих пор моют руки в наполненной раковине, а не под проточной водой, за день используют 136 л, немцы – 146 л, французы – 159 л, финны – 151 л, а норвежцы – 175 л.

Цель работы – определение способов сохранения и рационального использования водных ресурсов.

Основные результаты. Мероприятия по повышению энергоэффективности в сфере водоснабжения делятся на мало-, средне- высокозатратные. Их окупаемость также различна: от полугода до нескольких лет.

Для снижения расхода холодной воды при проектировании систем внутреннего водоснабжения рекомендуется:

- использование электронных систем дозированной подачи воды,
- использование керамических шаровых или автоматических смесителей;
- установка электронных сигнальных систем оповещения о протечках или затоплении;
- использование внутренних приборов учета воды в подразделениях;
- установка аэраторов;
- установка систем 2-режимного слива сантехники;

– регулярное проведение обследования состояния внутреннего водопровода и поддержание в исправном состоянии системы водоснабжения.

Основными причинами потерь воды и тепла являются нарушения гидравлического и теплового режима в городском водопроводе, тепловых сетях и системах горячего водоснабжения.

Нарушение гидравлического режима обусловлено:

- уменьшением давления воды в подводящем водопроводе;
- увеличением сопротивления водонагревательных установок;
- завышенными напорами циркуляционных насосов при установке их на циркуляционных трубопроводах;
- недостаточным нагревом воды в водонагревательных установках, в результате которого повышается водоразбор, что приводит к потере давления;
- отсутствием средств автоматического управления работой насосов;
- неисправностями арматуры на трубопроводах.

Сантехническое оборудование, разработанное в настоящее время с целью сокращения расхода воды, можно объединить в две большие группы. К первой из них относятся санприборы и их модификации, уменьшающие поток воды через смесители, а ко второй – устройства, ограничивающие слив воды из бачка унитаза. В настоящее время разработаны различные варианты оборудования, которые позволяют на 15–70 % уменьшить водопотребление при мытье рук и посуды, а также при приеме душа или ванны:

- однорычажные смесители;
- термостатические смесители, предназначенные для поддержания задаваемой пользователем температуры горячей воды;
- усовершенствованные картриджи смесителей с двухступенчатой регулировкой (системы Есо: экокнопка, экоклик);
- съемные и встроенные ограничители напора, сдерживающие максимальный расход воды;
- аэраторы (перляторы), подмешивающие к воде воздух, благодаря чему струя меньшего напора приобретает лучшие моющие качества и кажется более интенсивной и мягкой;
- водосберегающие насадки (One Touch), устанавливаемые на любые краны вместо аэратора и поддерживающие фиксированный напор воды;
- автоматические клапаны, при надавливании на которые вода подается, а при отпускании постепенно останавливается;
- приборы контроля подачи воды – устройства с инфракрасными датчиками или радарными системами, которые включают подачу воды при поднесении к ним рук и выключают после их отлучения.

Еще одной группой приборов повышенного водопотребления являются унитазы, где фиксируется нерациональный расход воды при смыве. В настоящее время наиболее распространенными вариантами водосбережения при использовании смывного бачка, призванными не только экономить воду, но и обеспечивать необходимую гигиену, является система прерывания смыва

«старт/стоп» и двухрежимная арматура сливного механизма, позволяющая сливать как весь объем воды в бачке (обычный режим), так и его половину (режим экономии). В таких бачках кнопка (клавиша) слива разделена на две части (реже устанавливаются две отдельные клавиши). Кроме того, в последние годы на рынке сантехники появились бачки с поворотной ручкой для регуляции объема смываемой воды.

Выводы. Учет и экономия воды – это не только экологическая необходимость, но и экономически выгодное решение. Внедряя простые правила и используя современные технологии, мы можем значительно снизить потребление воды, сэкономить деньги и внести свой вклад в сохранение этого ценного ресурса для будущих поколений. Бережное отношение к воде – это наша общая ответственность!

Список литературы

1 Алексеев, В. С. Экономика водопользования в промышленности / В. С. Алексеев // Научно-техническая фирма «Стройиздат». – 2010. – С. 48–52

2 Научно-технические и экологические проблемы природопользования : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18–20 апр. 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2012. – 208 с.

УДК 628.32

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕАГЕНТОВ НА УРОВЕНЬ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УПЛОТНЕННОГО АКТИВНОГО ИЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

А. А. ЮДИН

*Академия строительства и архитектуры Самарский государственный
технический университет (АСА СамГТУ), Российская Федерация
alex.udin1996@mail.ru*

Актуальность. Ключевым свойством осадка, определяющим его способность к влагоотдаче, является коэффициент удельного сопротивления $\gamma \cdot 10^{-10}$ см/г. Определение этого показателя представляет собой трудоемкий процесс, зависящий от места образования осадка, его состава и вида используемых реагентов [1].

Цель работы – изучение поведения удельного сопротивления уплотненного активного ила (ИАИ) доз флокулянта и коагулянта, выбор наилучшего реагента для обезвоживания, а также получение математических моделей исследуемых процессов в виде уравнений $Y_i = f(X_1, X_2)$ в неявном виде

и удобных для инженерных и технологических расчетов уравнений $r = f(D_k, D_f)$ в явном виде или в виде изолиний.

Все эксперименты проводились при одинаковых условиях. Время контакта реагента с осадком равнялось 10 мин, перемешивание происходило на механической мешалке. Осадок профильтровывался под давлением 500 мм рт. ст. Получаемые данные записывались через каждые 15–30 с (в зависимости от скорости фильтрования). Опыт заканчивался после появления трещин на осадке в воронке Бюхнера или прекращения поступления фильтрата в колбу Бунзена [1].

Для сокращения продолжительности исследований использовался метод математического планирования экспериментов (планы первого порядка) [2–4]. Было проведено три серии опытов. Основные характеристики плана эксперимента представлены в таблице 1, а усредненные экспериментальные и расчетные данные – в таблице 2.

Таблица 1 – Основные характеристики плана эксперимента

Характеристика	D_k , мг/дм ³	D_f , мг/дм ³
Основной уровень	100	100
Интервал варьирования	100	100
Верхний уровень	200	200
Нижний уровень	0	0

Таблица 2 – Матрицы планирования эксперимента № 1, опытные и расчетные данные

Доза реагентов, мг/дм ³		Аква-Аурат-30		
D_k	D_f	ПАА	Аквафлок 2500	Besfloc K6729
200	200	19,3	118,0	26,0
0	200	10,5	68,2	11,0
200	0	759,1	759,1	1212,1
0	0	1479,2	1479,2	2265,0
b_0		567,03	606,14	878,55
b_1		–177,84	–167,59	–259,45
b_2		–552,13	–513,03	–860,01
b_{12}		182,21	192,46	266,96
$ b_2/b_1 $		3,10	3,06	3,31

Порядок проведения опытов в матрицах планирования рандомизировался по таблице случайных чисел. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики при уровне значимости $q = 0,05$ по методике, изложенной в работе [4, с. 136]. Для получения математических моделей процессов обезвоживания активного ила использовалась методика, приведенная в работе [4, с. 154–162]. Последовательность проверки

воспроизводимости опытов, расчета коэффициентов регрессии, определения их значимости и адекватности полученных математических моделей рассмотрены в [2, с. 58].

Основные результаты. В процессе обработки данных были получены коэффициенты уравнений математических моделей, описывающих процессы влагоотдачи в зависимости от вида вводимых реагентов, представленные в таблицах 3 и 4.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показал, что в области изменения их концентрации вводимого в сырой осадок флокулянта от 0 до 200 мг/дм³ значения удельного сопротивления осадка находились в обратно пропорциональной зависимости от дозы флокулянта и в прямо пропорциональной зависимости от дозы коагулянта для всех видов флокулянта.

Степень влияния флокулянта на процесс изменения удельного сопротивления, уплотненного ИАИ, была больше, чем степень влияния коагулянтов для всех сочетаний флокулянтов Аква-Аурат-30. Например, для сочетаний «ПАА / Аква-Аурат-30» она больше примерно в 3,1 раза; для «Аквафлок 2500 Аква-Аурат-30» – в 3,06 раза; для «Besfloc K6729 / Аква-Аурат-30» – в 3,32 раза (таблица 2 строка $|b_2 / b_1|$). Сравнение второй и третьей строк матрицы планирования № 1 показывает, что остаточная величина удельного сопротивления обработанного реагентами осадка (УСО) была меньше при соотношении $D_k / D_\phi = 0 / 200$, чем при соотношении $200 / 0$ для всех исследованных коагулянтов.

Таблица 3 – Характеристика процессов снижения удельного сопротивления осадка реагентами (невяный вид)

Аква-Аурат-30 + флокулянт	Номер формулы	Математические модели процессов в невяном виде
1	2	3
ПАА	1	$r = 567,03 - 177,84X_1 - 552,13X_2 + 182,21X_1X_2$
Аквафлок 2500	2	$r = 606,14 - 167,59X_1 - 513,03X_2 + 192,46X_1X_2$
Besfloc K6729	3	$r = 878,55 - 259,45X_1 - 860,01X_2 + 266,96X_1X_2$

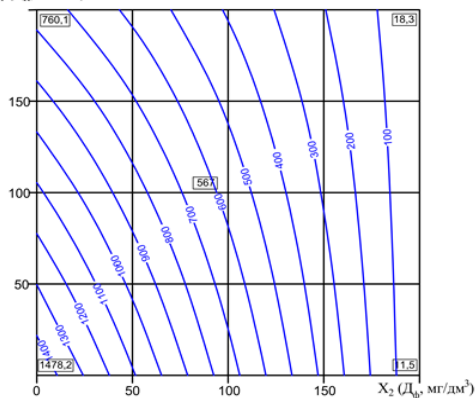
Таблица 4 – Характеристика процессов снижения удельного сопротивления осадка реагентами (вяный вид)

Аква-Аурат-30 + флоку- лянт	Номер формулы	Расчетная формула в явном виде
1	2	3
ПАА	4	$r = 1478,21 - 3,5905D_k - 7,3334D_\phi - 0,018121D_k D_\phi$
Аквафлок 2500	5	$r = 1479,22 - 3,6005D_k - 7,0549D_\phi + 0,019246D_k D_\phi$
Besfloc K6729	6	$r = 2264,94 - 5,2638D_k - 11,269D_\phi + 0,026693D_k D_\phi$

Значимость коэффициентов b_{12} при взаимодействующих факторах всех сочетаний «коагулянт + ПАА» указывает на то, что функция отклика исследуемых математических моделей $Y = f(D_k, D_\phi)$ адекватно описывается не плоскостью, а полуквадратичной формой (сферой), у которой значение коэффициента b_0 не соответствует фактическому значению функции отклика в центре плана эксперимента. Анализ осредненных экспериментальных данных таблицы 2 показал, что минимальное значение удельного сопротивления уплотнённого ИАИ $r = (10,5 \dots 11,0) \cdot 10^{-10}$ см/г имело место при обработке ПАА дозой $D_\phi = 200$ мг/дм³ или Besfloc K6729 дозой $D_\phi = 200$ мг/дм³.

В третьей графе таблицы 3 приведены уравнения (1)–(3), которые описывают математические модели исследуемых процессов, представленные в *неявном виде*. Для практических технологических расчетов эти уравнения были переведены в *явный вид* (таблица 4). По уравнениям (4)–(6) в явном виде были построены зависимости $r = f(D_k, D_\phi)$ в виде изолиний (рисунки 1–3).

X_1 (D_k , мг/дм³)



X_1 (D_k , мг/дм³)

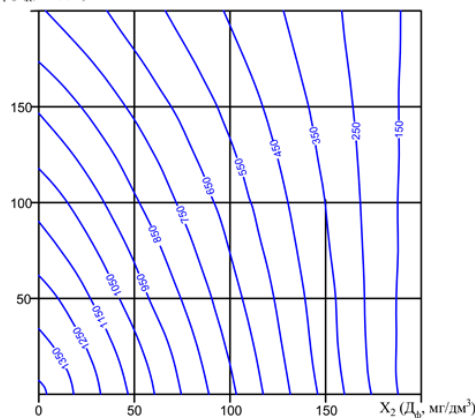
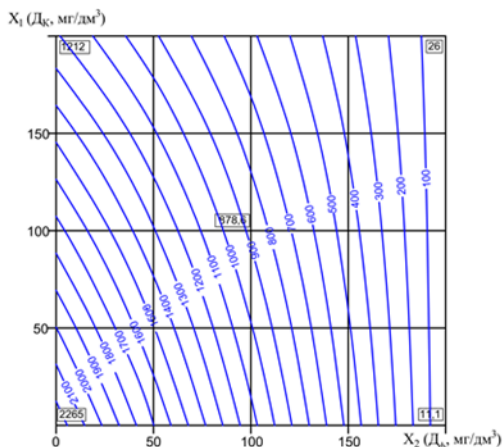


Рисунок 3 – Зависимость изменения удельного сопротивления исследуемого осадка $\gamma \cdot 10^{-10}$, см/г, от $D_{\text{ф}} = 0 \dots 200$ мг/дм³ (Besfloc K6729) и $D_{\text{к}} = 0 \dots 200$ мг/дм³ (Аква-Аурат-30)



Представленные графики подтверждают, что максимальное снижение удельного сопротивления уплотнённого ИАИ достигается с помощью флокулянтов ПАА, Besfloc K6729 дозой 200 мг/дм³.

Выводы. В статье представлены результаты исследования изменения удельного сопротивления осадка от доз трёх видов флокулянтов ($D_{\text{ф}}$) и одного коагулянтов ($D_{\text{к}}$). Изучено изменение удельного сопротивления сырого осадка от доз коагулянта и флокулянта. Получены математические модели процесса обезвоживания СО в виде уравнений $r = f(D_{\text{к}}, D_{\text{ф}})$ в *неявном виде* или в виде уравнений и изолиний в *явном виде*. Установлено, что степень влияния флокулянтов на удельное сопротивление сырого осадка было больше, чем влияние коагулянта Аква-Аурат-30, в 3,06–3,31 раза. Доказано, что в зоне доз реагентов от 0 до 200 мг/дм³ минимальное значение удельного сопротивления сырого осадка $(10,5 \dots 11,0) \cdot 10^{-10}$ см/г имело место при обработке ИАИ флокулянтами ПАА и «Besfloc K6729 дозой 200 мг/дм³.

Список литературы

- 1 **Кичигин, В. И.** Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод : учеб. пособие / В. И. Кичигин, Е. Д. Палагин. – Самара : Самарск. гос. архит.-строит. ун-т, 2008. – 204 с.
- 2 **Бондарь, А. Г.** Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – Киев : Вища школа, 1976. – 183 с.
- 3 **Саутин, С. А.** Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. А. Саутин. – Л. : Химия, 1975. – 48 с.
- 4 **Кичигин, В. И.** Моделирование процессов очистки воды / В. И. Кичигин. – М. : АСВ, 2003 – 203 с.

ХИМИЯ ВОДЫ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 628.16

**ПОДГОТОВКА ВОДЫ
В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ***Г. Н. БЕЛОУСОВА**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
qalina1belousova@gmail.com*

Актуальность. Вода расходуется потребителями на самые разнообразные нужды. Однако подавляющее большинство этих расходов может быть сведено к трем основным категориям: расход на хозяйственно-питьевые нужды (питье, приготовление пищи, умывание, стирка, поддержание чистоты жилищ и т. д.); расход на производственные нужды (расход предприятиями промышленности, транспорта, энергетики, сельского хозяйства и т. д.); расход для пожаротушения.

Водоснабжение – это подача поверхностных или подземных вод водопотребителям в требуемом количестве и в соответствии с целевыми показателями качества воды в водных объектах.

Цель работы – анализ существующих методов подготовки воды в зданиях различного назначения.

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определенной группы потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды или ухудшение ее качества в недопустимых пределах) [1].

Основные результаты. Еще на этапе проектирования здания необходимо задуматься о водоподготовке коттеджа и начать строительство одновременно с бурением скважины. Решение об установке той или иной системы водоочистки принимать по результатам химического и биологического анализов образцов воды. Процесс водоподготовки можно разделить на три разноплановых этапа:

- механическая очистка воды от ила и различных примесей,
- производится удаление разнообразных вредных органических и химических соединений.
- вода избавляется от посторонних запахов и привкуса.

Комплексная система водоподготовки коттеджа включает подачу воды из скважины; фильтр грубой механической очистки; установки для подачи воздуха для предварительной аэрации; колонну с донным гравийным фильтром; сорбционную колонну; ионообменную колонну для умягчения воды; фильтр тонкой механической очистки.

В коттедже водоподготовка начинается с монтажа фильтра механической очистки, который служит для устранения песка, мелких камней и прочих примесей.

На следующем этапе водоочистки происходит удаление из воды солей марганца и железа, а также сероводорода. Химической очисткой питьевой воды выступает снижение ее жесткости и удаление ионов некоторых тяжелых металлов посредством ионообменного фильтра умягчителя.

Завершающим этапом водоподготовки в коттедже является ее обеззараживание ультрафиолетовыми лампами.

Комплекс мероприятий по подготовке воды в бассейне соответствует санитарным и эксплуатационным требованиям [2].

Качество воды в бассейне должно быть на уровне питьевой, хотя на деле таковым не является. Кроме того, для сохранения в рабочем состоянии оборудования необходимо регулировать уровень минерализации, иначе известковые отложения быстро покроют металлические части и закупорят мелкие отверстия, в результате чего режим циркуляции воды изменится.

Также важным действием становится обеззараживание воды. Вода циркулирует по замкнутому кругу, обновляясь в относительно небольших количествах. Если пренебречь дезинфекцией, можно в результате получить источник болезнетворных бактерий. Обилие хлорсодержащих препаратов в общественных бассейнах – следствие заботы о безопасности воды. При химических методах дезинфекции воды могут применяться различные реагенты: активный кислород, хлор, бром. Применявшаяся ранее для дезинфекции хлорная известь, или как ее иначе называют «хлорка», обладая достаточно сильным дезинфицирующим эффектом, имеет много весомых недостатков. Все большее распространение получают генераторы хлора. Это установки для обеззараживания воды, которые встраиваются в фильтрационную систему бассейна и вырабатывают хлор для дезинфекции воды в проточном режиме. Дезинфицирующие препараты на основе брома превосходят препараты из соединений хлора. Они не раздражают кожу и слизистые, а также у препаратов отсутствует резкий неприятный запах. А вот уровень обеззараживания этими дезинфектантами довольно высок.

Самым популярным современным методом дезинфекции воды является обработка активным кислородом. Это мягкий метод обеззараживания воды, при котором полностью отсутствует запах и не происходит раздражение

кожных и слизистых покровов. В процессе обработки активным кислородом уровень pH остается постоянным, а увеличение количества минеральных отложений не происходит. Хотя сам активный кислород действует достаточно эффективно, при сильном загрязнении его можно применять одновременно с другими.

Список действий, производимых при водоподготовке бассейнов, выглядит следующим образом: фильтрация, механическая очистка, обеззараживание, подогрев. Параллельно с этими процедурами производится введение смягчающих добавок, снижающих жесткость воды до определенного уровня. Наилучшая очистка воды бассейна может быть достигнута только при совместном использовании физических и химических методов ее обработки.

К организации предприятий сферы услуг, как-то предприятий общественного питания, отелей, выдвигается немало требований, несоответствие которым наказывается различными штрафами и другими мерами административного взыскания, вплоть до закрытия объекта [3]. Одним из таких обязательных параметров является качество воды, используемое для разных нужд организации. Для решения такой сложной задачи сегодня существует немало способов подготовки воды в подобных заведениях [4]. Общая система подготовки воды для отелей и ресторанов подразумевает процесс очистки и умягчения для производственных нужд. Такая установка водоподготовки охватывает одновременно всю конструкцию водоснабжения предприятия. Использование общей системы водоподготовки для различных нужд в мелких и средних ресторанах и отелях является неоправданно затратной статьей расходов, поэтому в небольших заведениях, как правило, устанавливают индивидуальные системы подготовки воды. Такие системы нацелены на подготовку для определенных потребностей, например приготовление еды и напитков, уборка помещений, технические нужды.

Достоинством индивидуального подхода к водоподготовке является еще и то, что для различных потребностей нужна вода определенного качества, например чрезмерная деминерализация, которая осуществляется в ходе общей водоподготовки, снижает качество таких напитков, как кофе и чай.

Комплексная подготовка воды для отелей и ресторанов состоит из нескольких этапов. Оборудование для комплексной водоподготовки имеет несколько фильтров водоочистки, каждый из которых решает определенную задачу, например предварительная очистка (префильтры очищают воду от частиц размером более 10 мкм), умягчение, восстановление органолептических свойств (вкуса, цвета, запаха), глубокая очистка (микрофильтры задерживают частицы металлов размером до 0,2 мкм).

Очистка воды в отелях и ресторанах может осуществляться системой, требующей постоянного сервисного обслуживания или способной довольно

продолжительное время работать без технического обслуживания и замены комплектующих. Оптимальная система водоподготовки должна иметь следующие характеристики:

- комплексно защищать оборудование от накипи и коррозии;
- гарантировать получение воды, соответствующей рекомендуемым международными ассоциациями кондициям жидкости (например, чая);
- иметь оптимальную производительность с возможностью коррекции;
- легко адаптироваться ко всему спектру существующего оборудования, применяемого на предприятиях общественного питания и сферы услуг;
- иметь как можно долгий период автономной работы;
- быть доступной по цене.

Подготовка воды для отелей и ресторанов будет эффективной только в случае правильной организации процесса водоподготовки.

Выводы. Приведенные исследования по водоподготовке воды по результатам химического и биологического анализов в зданиях различного назначения позволяют получать воду требуемого качества.

Список литературы

- 1 СН 4.01.01-2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Введ. 31.10.2019. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 77 с.
- 2 ТКП 45-3.02-325-2018. Общественные здания. Строительные нормы проектирования. – Взамен ТКП 45-3.02-290-213 (02250) ; введ 13.04.2018. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2018. – 55 с.
- 3 ТКП 45-3.02-102-2008. Предприятия бытового обслуживания. Правила проектирования. – Введ. 08.09.2008. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 41 с.
- 4 **Кожин, В. Ф.** Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты : учеб. пособие для вузов / В. Ф. Кожин. – 4-е изд., репринтное. – М. : БАСТЕТ, 2008. – 304 с.

УДК 699.844

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ШУМОИЗОЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

П. С. ВЕРБИЦКИЙ

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

Актуальность. Интенсивное развитие промышленности и транспорта привело к существенному возрастанию шумового воздействия. В настоящее время шум стал настоящей экологической проблемой. Он оказывает негативное

воздействие на здоровье и работоспособность человека [1, 2]. Актуальной задачей является создание комфортных условий в жилых помещениях с наименьшим уровнем шума.

Цель работы – сравнение и анализ современных шумоизоляционных материалов, используемых для шумоизоляции.

Основные результаты. Различают воздушный шум, распространяемый по воздуху и воспринимаемый только на слух. Громкая музыка, голоса людей, движение транспорта – это воздушные шумы. Для устранения воздушного шума необходимы специальные звукоизоляционные конструкции. Значение показателей шума нормируется строительными нормами Республики Беларусь СН 2.04.01-2020 [3].

Ударный шум возникает от ударного воздействия на стены, потолки. К этой категории относят звук шагов, падающих или ударяющихся о пол предметов, работу перфоратора и другие. Источниками структурного шума являются оборудование, лифты, насосы, инженерные коммуникации и другие промышленные объекты, создающие вибрации различной мощности, которые в виде шума поступают в жилые помещения.

Немногие материалы способны защитить помещение от внешних звуковых воздействий. Для снижения уровня шума необходимо выбирать материалы, обладающие свойством звукопоглощения.

Шумоизоляционные материалы выделяются в две группы:

- шумопоглощающие, имеющие ячеистую или волокнистую структуру;
- шумоотражающие, имеющие зернистую структуру [4].

Для установки эффективной дополнительной шумоизоляции применяются многослойные облицовки с чередованием звукопоглощающих и звукоотражающих слоев. Звуковая волна, поочередно преодолевая слои, поглощается и отражается в обратном направлении, снова поглощается и тем самым затухает. Таким образом, звукоизолирующая способность конструкции существенно возрастает.

Для снижения уровня шума могут применяться два типа конструкций стен и потолков: каркасные и бескаркасные.

Бескаркасная звукоизоляция представляет готовые шумоизоляционные панели, для монтажа которых каркас не требуется. Преимуществами является высокая скорость сборки, для чего в конструкции предусмотрены специальные отверстия для крепления к поверхностям стен и потолков, толщина сравнительно небольшая, начинается от 50 мм. Применение данных панелей как дополнительной шумоизоляции позволяет добиться снижения шума в 2 раза и получить индекс дополнительной изоляции воздушного шума 9–11 дБ. На рынке Республики Беларусь представителями данного типа являются сэндвич-панели ЗИПС различной модификации. Выпускается ООО «Техносонус» (РФ).

Панель ЗИПС представляет комбинацию пазогребневых гипсоволокнистых листов и стекловолокнутой плиты либо плиты на основе базальтового

волокна. Каждая панель содержит восемь виброизолирующих узлов крепления, а также шесть опорных элементов из материала *Sylomer*, с помощью которых можно регулировать откос панели от изолируемой поверхности до 50 мм, обеспечивая таким образом возможность выравнивания неровной поверхности. Применяется в основном для устранения воздушного шума. В зависимости от целей и задач, существуют разновидности данных ЗИПС панелей, которые эффективны как для шумоизоляции межкомнатных перегородок, так и для звукозаписывающих студий [5].

Звукоизоляционная панель *PhoneStar Triplex* используется для звукоизоляции стен, перегородок и потолка (конструкций на каркасе и без каркаса). Эффективна для снижения как воздушного, так и ударного (структурного) шума. Состоит из прочного семислойного крафтового каркаса, наполненного термически обработанным кварцем. Индекс дополнительной изоляции воздушного шума составляет 37 дБ. Для производства панелей применяются только экологически безопасные материалы, что способствует созданию здорового микроклимата в помещении [6]. Уникальный продукт создан и запатентован компанией *Wolf Bavaria* (Германия) в 2007 г. Выпускается дочерним предприятием ООО «Вольф Бавария РФ» (РФ). Данный тип звукоизоляции применяется в основном в помещениях, где необходимо сэкономить пространство, быстро смонтировать систему. В сочетании с положительными сторонами имеет и отрицательная – стоимость, которая в несколько раз выше по сравнению с каркасными системами.

Каркасная звукоизоляция подразумевает наличие несущего каркаса. Каркас крепится через виброподвесы непосредственно к изолируемой поверхности. Есть возможность каркасной облицовки без виброподвесов, но тогда крепление каркаса должно осуществляться строго к смежным поверхностям, которые к моменту монтажа должны быть звукоизолированы.

Каркасные конструкции сложнее бескаркасных с точки зрения монтажа. Они монтируются дольше и требуют точной стыковки всех составляющих элементов с полным соблюдением технологии. В обратном случае велика вероятность возникновения звуковых мостиков, снижающих эффективность звукоизоляции. Также каркасные системы уменьшают пространство в комнатах из-за объемности.

На рынке Республики Беларусь представителями данного типа являются акустические минеральные плиты, звукоизоляционные мембраны.

Акустическая экологичная стеклоплита Шуманет производится на основе стеклянного штапельного волокна в виде плит. Обладает высокими звукопоглощающими характеристиками, негорюча. Предназначена для использования в составе звукоизоляционных и звукопоглощающих конструкций в качестве внутреннего звукопоглощающего слоя.

Штапельное стекловолокно, используемое в качестве основного компонента плиты, проходит обработку водоотталкивающим составом. Связующим

является акриловая смола – безопасное и нетоксичное вещество. Выпускается ООО «АКУСТИК ГРУПП» (РФ).

Плита СтопЗвук БП изготавливается на основе высококачественного базальтового волокна. Преимуществами данных плит являются небольшая толщина, которая составляет 27 мм, и оптимальная плотность 60 кг/м³. Это позволяет обеспечить высокие звукопоглощающие свойства, сопоставимые с аналогами в два раза большей толщины. В составе звукоизоляционных конструкций эффективность плиты СтопЗвук БП фактически соответствует традиционному звукопоглощающему наполнению толщиной 50 мм. Производится ООО «Техносонус» (РФ).

Звукоизоляционные мембраны представляют собой рулонные и листовые материалы, обладающие свойством поглощения громких звуков. Сырью после проведения ряда технологических процессов придается форма, удобная для монтажа на различные ровные и криволинейные поверхности. Звукоизоляционные мембраны применяются для отделки жилых, промышленных объектов и транспортных средств различного назначения.

Звукоизол ВЭМ – это тонкая и эластичная звукоизоляционная мембрана, которая изготавливается на основе полимеров – каучуковых соединений, допированных тяжелыми минеральными наполнителями. Имеет индекс собственной изоляции воздушного шума 24 дБ. Сложная полимерная композиция обладает большой массой, благодаря чему мембрана обеспечивает хорошую звукоизоляцию различных элементов строительных конструкций. Материал не подвержен разрушению от воздействия влаги, не подвержен биологическому воздействию и разрушению. Применяется в звукоизоляционных системах для стен, полов и потолков. Производится ООО «Техносонус» (РФ).

Ультракустик мембрана – универсальный звукоизолирующий эластомер на основе каучука, разработан для повышения звукоизоляции каркасно-обшивных поверхностей потолка, стен и перегородок. Мембрана значительно повышает массу облицовки из гипсокартонных листов, благодаря чему повышается общий уровень звукоизоляции всей конструкции. Мембрана является универсальной и может использоваться при звукоизоляции как жилых, так и общественных помещений. Данный материал выпускается ООО «АКУСТИК ГРУПП» (РФ).

Выводы. Учитывая негативное влияние шума на организм человека, шумоизоляция является необходимым элементом жилых и производственных помещений. Рынок современных шумоизоляционных материалов широк. Наиболее эффективными из широкого спектра материалов являются бескаркасные системы (панели ЗИПС и *PhoneStar Triplex*), сочетающие экономию пространства, времени на установку и высокую эффективность, хотя имеют более высокую стоимость по сравнению с традиционными каркасными конструкциями.

Список литературы

1 Жукова, Е. В. Шум как гигиеническая и социальная проблема : учеб. пособие / Е. В. Жукова, Г. В. Куренкова, М. О. Потапова. – Иркутск : ИГМУ, 2020. – 30 с.

2 Кудина, Е. Ф. Влияние виброакустических факторов на экологическую безопасность производства / Е. Ф. Кудина, И. В. Приходько // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 4–5 июня 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; ред.: А. П. Гусев [и др.]. – Гомель, 2020. – С. 460–468.

3 СН 2.04.01-2020. Защита от шума = ахова ад шуму. – Введ. РБ 15.09.2020 (ТКП 45-2.04-154-2009 (02250)). – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2020. – 48 с.

4 Заикина, А. П. Шумоизоляционные материалы / А. П. Заикина, А. Г. Козлюк // Наука и инновации в строительстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (к 165-летию со дня рождения В. Г. Шухова), Белгород, 17 апр. 2018 г. / Белгород : Белгородский гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 372–375.

5 Акустик Групп : [сайт]. – Минск, 1999–2025. – URL: <https://www.acoustic-group.by/productions/vibro/sylomers/> (дата обращения: 3.03.2025).

6 ВсеИнструменты.ру: Онлайн-гипермаркет для профессионалов и бизнеса : [сайт]. – 2006–2025. – URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/zvukoizolyatsionnaya-panel-triplex-phonestar-4631152714277-6698989/#characteristics>. (дата обращения: 03.03.2025).

УДК 625.736:624.137.2

УКРЕПЛЕНИЕ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПОСЕВОМ РАЙОНИРОВАННЫХ ТРАВ

Р. Н. ВОСТРОВА, В. А. МАЛОФЕЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vostrova@tut.by, malofejvika315@gmail.com*

Актуальность. В настоящее время требуются значительные затраты на устранение деформации откосозащитных сооружений, что происходит в случаях, когда вопросам обеспечения устойчивости откосов и их защите от размыва не уделяется должного внимания.

Цель работы – разработать защитные покрытия для укрепления откосов и подошвы насыпей, которые будут устойчивыми и долговечными в эксплуатации, а также их конструкцию, которая будет вписываться в окружающую среду, не нарушая по внешнему виду экологическое равновесие.

Основные результаты. Укрепление посевом трав применяется для любых откосов с различными уклонами. На поверхность откоса насыпается плодородный слой толщиной 10–15 см, затем поверхность засеивается травой.

Для лучшей связи подстилающего слоя с насыпным грунтом по откосу нарезаются борозда (рисунок 1) [1]. Дорожный откос обычно состоит из почвы с низкой степенью плодородности. Поэтому чтобы получить хороший травяной покров, поверхность покрывается слоем плодородной почвы.

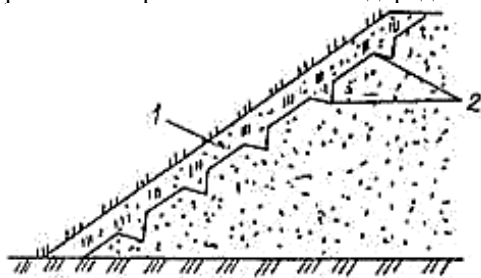


Рисунок 1 – Укрепление откосов посевом трав:
1 – компост; 2 – борозды

Использование осадков сточных вод (ОСВ) в зеленом строительстве – один из наиболее экологичных и экономичных методов его размещения, улучшающих структуру почв и ее водно-воздушный режим. Но использование ОСВ в качестве компонента почвоулучшающих композиций сдерживается его объективными недостатками: наличием тяжелых металлов и запаха, повышенной вязкостью, наличием патогенной микрофлоры.

Наиболее приемлемым методом решения этой проблемы является компостирование с применением анаэробно-аэробной биотехнологии получения компоста, то есть сочетание процессов обезвоживания с последующим компостированием. Это создает комплекс биохимических процессов минерализации и частичной гумификации органических соединений в преимущественно аэробных условиях, обусловленных деятельностью смешанных популяций микроорганизмов. При создании компостов происходит обеззараживание осадка вследствие термического режима, снижение влажности, приобретение благоприятных физико-химических и механических свойств. При подготовке осадка для создания компоста наиболее эффективным является предварительное обезвоживание на иловых картах. В качестве компонентов компоста можно использовать отходы деревообработки, опилки и щепу влажностью около 50 %. Из компоста формируются бурты, которые необходимо интенсивно перемешивать в первые три недели и выдерживать на площадках до полного созревания.

При соблюдении оптимального воздушного режима компосты способны разогреться до более высоких температур, что способствует обеззараживанию и ускоряет темпы компостирования. Большое содержание опилок способствует пересыханию компоста.

Если использовать добавки из обратного активного ила, то процесс компостирования при 50%-й влажности компоста ускорится, а температура увеличится. Полученный продукт должен представлять собой рыхлую массу, не обладающую неприятным запахом, отвечающую санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Укрепление откосов дорог посевом трав – способ защиты откосов земляного полотна автомобильных дорог от водной и ветровой эрозии. При этом можно использовать гидропосев трав, внося семена, мульчирующий материал и удобрения в состав битумной эмульсии, что позволит создать на укрепленном откосе земляного полотна временный защитный слой, препятствующий вымыванию семян. Толщина защитного слоя, гарантирующая образование на откосе однородного и густого травостоя, должна быть не менее 1 см. Предельные сроки высева многолетних злаковых трав – первая декада сентября. Гидропосев происходит обычным способом по слою предварительно уложенного на откосы растительного компоста, при этом толщина грунта на песчаных откосах составит 10 см, а на глинистых – 18 см [2].

Жизнедеятельность мульчирующей смеси должна быть не менее 2 часов с момента ее приготовления. Для повышения плодородия компоста необходимо вносить в него минеральные удобрения из расчета на 100 м² откоса кг: суперфосфат (фосфорные удобрения) от 1,5 до 3,0 кг, калийные соли селитры (азотные удобрения) от 1,0 до 2,0 кг [2].

Для гидропосева следует применять многолетние рыхлокустовые и корневишные злаковые травы не ниже III класса годности. Технология гидропосева состоит из двух основных операций: заправки машины для гидропосева (семена многолетних трав, вода, удобрения, мульча и связующее вещество смешиваются в большом резервуаре для получения рыхлой кашицы) и распыление смеси непосредственно на почву через выпускное сопло. Во избежание стекания рабочей смеси с откосов их поверхность не должна быть гладкой.

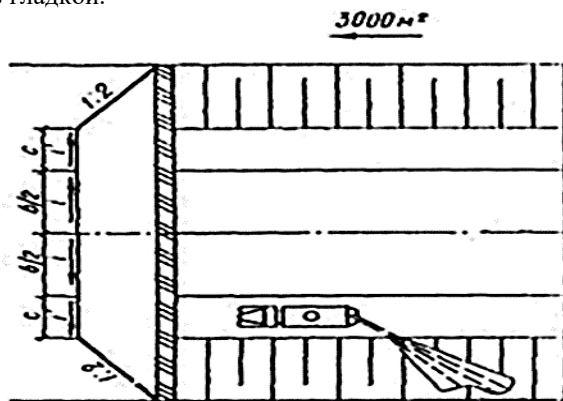


Рисунок 2 – Схема нанесения смеси на откос гидросеялкой ДЭ-16

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНА

Д. А. ГАПОНЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
algopone2001@gmail.com*

Актуальность. Экологические факторы, связанные с изготовлением бетона, включают выбросы CO_2 при производстве цемента, добычу и транспортировку сырья, использование воды и образование отходов.

Выбросы CO_2 – ключевая проблема, так как цемент, основной компонент бетона, производится путем обжига известняка, что высвобождает значительное количество углекислого газа. Добыча песка и гравия для заполнителей также приводит к разрушению экосистем и изменению ландшафтов. Водопотребление в процессе производства и отверждения бетона создает дополнительную нагрузку на водные ресурсы. Утилизация отходов бетона и строительного мусора представляет собой сложную задачу, требующую разработки эффективных методов переработки и повторного использования.

Сокращение негативного воздействия производства бетона на окружающую среду требует комплексного подхода, включающего разработку экологически чистых технологий производства цемента, использование альтернативных заполнителей, оптимизацию водопотребления и внедрение эффективных систем переработки отходов.

Цель работы – анализ влияния производства бетона на окружающую среду.

Основные результаты. В настоящее время экологические проблемы приобрели огромную актуальность как в Республике Беларусь, так и во всем мире. Это связано с тем, что энергетическая отрасль и строительная сфера оказывают существенное и негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим необходимо разрабатывать и внедрять комплекс мер, направленных на предотвращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, водные ресурсы и почву, а также на сокращение объема промышленных отходов.

Стоит заметить, что изготовление бетона является практически экологически чистым видом производства. Малый фактор вредности – это пыленность, связанная с сырьем. Соответственно, бетонные заводы никак не загрязняют окружающую среду. Более того, бетон помогает улучшить экологическую ситуацию:

1 В бетонной промышленности широко применяются побочные продукты металлургического, энергетического и деревообрабатывающего секторов,

такие как зольные отходы, шлаковые материалы, древесные опилки и другие аналогичные субстанции.

2 Демонтаж зданий и сооружений приводит к образованию отходов строительства, которые после специальной обработки и введения химических компонентов применяются в качестве добавок для бетонных смесей.

3 Отходы нефтеперерабатывающей и химической промышленности дают почву для создания новых химических добавок для бетона.

В настоящее время прогресс шагает в создании новых видов бетона, использовании новейших компонентов и его составляющих. Так, гидравлически активный шлак позволяет заменить некоторое количество цемента в составе бетона и удешевить его себестоимость. А использование опилок придает бетону увеличение такой характеристики как теплопроводность. Химические добавки, вводимые в бетонную смесь, увеличивают ряд свойств искусственного камня (прочность, морозостойкость, сохраняемость бетонной смеси), что также положительно сказывается на расширении области его применения.

Бетон – единственный материал, способный выдерживать и предотвращать такую смертоносную угрозу, как радиация. Вспомним аварию в Чернобыле, где саркофаг построен именно из специального вида бетона.

Отдельным пунктом выделяется повторная переработка бетона, отработавшего свой срок. Из него получают щебень и песок, не уступающий по своим свойствам заполнителям, добытым естественным путем в шахтах или открытой разработке.

Выводы. Влияние экологических факторов на производство бетона – многогранный и важный аспект современной строительной индустрии. Использование природных ресурсов, выбросы в атмосферу и образование отходов на каждом этапе производства оказывают существенное воздействие на окружающую среду. Добыча сырья, такого как цементный клинкер, сопряжена с разрушением ландшафтов. Производство цемента требует больших энергозатрат, что приводит к выбросам парниковых газов, способствующих изменению климата.

Транспортировка материалов, приготовление бетонной смеси и строительные работы также вносят свой вклад в загрязнение окружающей среды. Пыль, шум и сточные воды – лишь некоторые из негативных последствий. Кроме того, утилизация бетонных отходов представляет собой серьезную проблему, требующую разработки эффективных методов переработки и повторного использования.

В заключение, экологические факторы оказывают значительное влияние на производство бетона, требуя комплексного подхода к минимизации негативных последствий и поиску устойчивых решений. Использование

экологически чистых технологий, переработка отходов и разработка новых материалов – ключевые направления для снижения экологического следа бетонной промышленности.

Список литературы

1 Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек / Ю. В. Новиков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФАИР-Пресс, 2003. – 560 с.

2 Экологические аспекты использования бетона: влияние на окружающую среду и способы уменьшения негативного воздействия // СпецСтройБетон. – URL: <https://ssbsaransk.ru/stati/vozdjeistvie-betona-na-ekologiyu/> (дата обращения: 22.02.2025).

УДК 621.131.34

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

П. В. КОВТУН, М. Ю. НИКИТЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
sed@bsut.by*

Актуальность. В настоящее время в Беларуси протекает почти 21 тыс. рек, насчитывается около 11 тыс. озер, 1,5 тыс. прудов и более 150 водохранилищ. На крупных реках идет постоянное движение донных наносов, т. е. происходит постоянная смена высоких и низких мест. Если трубопровод проложен по руслу реки, то, естественно, он периодически подвергается и заносу, и провисанию. Кроме того, трубопровод влияет на скорость придонных отложений реки. При прокладке магистрали может происходить подпор реки, изменение ее водообмена, что приводит к негативному влиянию на флору и фауну водной артерии и прибрежной территории.

В Республике Беларусь сейчас насчитывается около 650 переходов магистральными трубопроводами через водные объекты. Действующие трубопроводы в основном проложены 20–50 лет назад и, естественно, устарели, в силу чего резко снижается их надежность. Кроме того, трубопроводы проходят и через болота, овраги, лесные массивы, дороги, по территории действующих предприятий, тем самым подвергая окружающую среду опасности загрязнения, особенно нефтепродуктами.

Строительство подводных переходов методом горизонтально направленного бурения (ГНБ) представляет бестраншейную прокладку трубопровода на значительной глубине от пересекаемых препятствий, что гарантирует экологическую безопасность строительства и эксплуатации перехода (рисунок 1) [1].

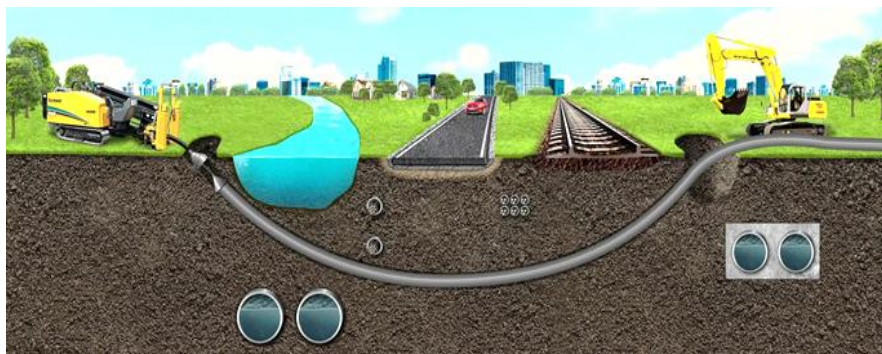


Рисунок 1 – Прокладка магистрали методом ГНБ

Основные результаты. Сравнительные технико-экономические расчеты различных способов прокладки показали, что при строительстве методом направленного бурения вместо традиционных схем достигается экономия ресурсов примерно на 40 %. Результаты технико-экономического анализа, который проводился Всероссийским научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов, подтверждают преимущества метода горизонтально направленного бурения. При этом объем земляных работ составляет всего 1,5 %. В целом применение метода ГНБ для сооружения трубопроводов позволяет существенно сократить как объемы земляных работ, так и сроки строительства. Это также создает предпосылки для круглогодичного строительства и не оказывает отрицательного воздействия на состояние водоемов. Таким образом, трубопроводы, проложенные с помощью горизонтально-направленного бурения, являются прогрессивными конструкциями, особенно с позиции охраны окружающей среды [2]. При этом прокладка трубопроводов методом ГНБ значительно сокращает срок строительства, повышает срок службы трубопровода, не нарушает состояние берегов и русел рек, не нарушает экологически уязвимые участки, а также фауну пересекаемых водотоков.

Преимуществами способа ГНБ при строительстве подводных переходов являются:

- возможность прокладывать трубопроводы ниже прогнозируемых русловых деформаций, что надежно защищает трубопровод от любых механических повреждений (не менее 6,0 м от самой низкой отметки дна на участке перехода и не менее 3,0 м от линии возможного размыва или прогнозируемого дноуглубления русла);
- при строительстве и эксплуатации сохраняется естественный режим водной преграды, что соответствует повышенным экологическим требованиям и

имеет особое значение при пересечении трубопроводами рек с развитым рыболовством, судоходством и иными видами деятельности;

- исключает необходимость дноуглубительных, подводно-технических, водолазных и берегоукрепительных работ при строительстве переходов через водные препятствия, составляющих более 50 % стоимости перехода;

- исключается необходимость баллаستировки трубопроводов (балластных грузов и утяжеляющих покрытий);

- строительство переходов возможно в любое время года.

Важнейшим фактором эффективного применения технологии горизонтально направленного бурения является использование высококачественных буровых растворов [3]. Критериями, ограничивающими возможность применения способа ГНБ, являются неблагоприятные грунтовые условия, например направленное бурение представляет значительную сложность в гравийных грунтах (гравия более 30 %), в грунтах типа плывунов, в грунтах с включениями валунов и булыжника. В таких случаях усложняется контроль при бурении пилотной скважины, возможны обвал грунта при расширении пилотной скважины и заклинивание рабочего трубопровода при его протаскивании. Наиболее эффективен метод ГНБ в устойчивых связных грунтах: глинах, суглинках, а также в насыпях, сложенных уплотненными несвязными грунтами естественной влажности. Сложность работ возрастает с увеличением длины магистрали и её поперечного сечения. Однако благодаря непрерывному улучшению методов проведения работ и повышению эффективности и мощности оборудования в настоящее время возможно строить все более сложные конструкции.

Выводы. На любом этапе работ сооружение является полноценным и обеспечивает максимальную безопасность движения, высокую производительность работ, мобильность, относительную простоту и экономичность процесса строительства. При этом движение автомобилей и поездов в большинстве случаев не прерывается, что позволяет избежать социальных и финансовых потерь во время производства работ, а также исключается негативное воздействие на окружающую среду и природный ландшафт.

Таким образом, возведение подземных сооружений методом горизонтально-направленного бурения обусловлено рядом преимуществ и является актуальным и экологически безопасным направлением в строительстве [4].

Список литературы

1 Технология бестраншейной прокладки трубопроводов методом горизонтального направленного бурения / С. Г. Дробов, М. А. Шамов, П. В. Ковтун, О. В. Осипова // Горная механика и машиностроение. – 2024. – № 2. – С. 20–29.

2 Бестраншейное строительство методом горизонтального направленного бурения // Строительство и недвижимость. – URL: <https://nestor.minsk.by/sn /2005/27/s n52709.html> (дата обращения: 25.02.2025).

3 Храменков, С. В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бестраншейными методами : учеб. пособие для студ. вузов. / С. В. Храменков, В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2004. – 237 с.

4 Дробов, С. Г. Влияние подземного горизонтального направленного бурения на окружающую среду / С. Г. Дробов, М. А. Шамова // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2023. – С. 383–385.

УДК 628.544

ВЫСОКОПРОЧНОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИПСА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ ОСАДКА КОАГУЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

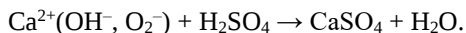
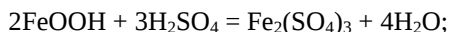
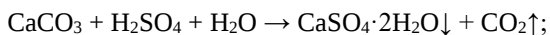
М. А. КОМАРОВ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
makkom1995@gmail.com*

Актуальность. Отходы, образующиеся в процессах водоподготовки, представляют собой достаточно чистый вторичный материальный ресурс для производства. Осадки коагуляции образуются в результате осветления речной или подземной воды. Для осветления наиболее часто применяют известь и сульфат железа. Причем содержание в сформированном осадке коагуляции железа составляет всего около 5 %. Основную массу осадка составляет карбонат кальция. Объемы образования данных отходов составляют около 700–1000 т/год на среднем предприятии. Ранее нами рассматривались варианты получения синтетического дигидрата сульфата кальция [1, 2] и ангидрита сульфата кальция [3, 4] из отходов, в том числе и отходов водоподготовки.

Цель работы – установить оптимальные параметры процесса автоклавирования на выход $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и прочностные показатели высокопрочного гипсового вяжущего, полученного на основе синтетического гипса из осадка коагуляции поверхностных вод.

Основные результаты. В процессе переработки осадка с целью получения гипса происходит его обработка серной кислотой. При этом протекают следующие реакции:



После синтеза на стадии разделения суспензии предусмотрена промывка синтетического гипса для «отмывания» его от примесей $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. После стадии центрифугирования полученный синтетический гипс имеет в своем составе не более 1,5 мас. % сульфата железа, это позволяет сделать заключение о том, что полученный гипс соответствует гипсовому камню 1-го сорта.

Ранее нами была изучена технология получения высокопрочного гипсового вяжущего автоклавным способом [5]. Основные стадии процесса: брикетирование синтетического гипса; автоклавная обработка; сушка брикетов; дробление; измельчение.

Основной стадией, оказывающей влияние на прочностные характеристики гипсового вяжущего, является автоклавная обработка брикетов синтетического гипса. Была установлена зависимость влияния давления автоклавирования и времени выдержки на выход $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и прочностные показатели гипсового вяжущего. Проводились две серии исследований при выдержке в течение 30 мин и 60 мин и при давлении автоклавирования от 0,6 до 1,4 МПа. Количественный состав фракций образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Количественный фазовый состав образцов

Давление, МПа (при выдержке 30 мин)	Фаза	Количество фазы, мас. %	Давление, МПа (при выдержке 60 мин)	Фаза	Количество фазы, мас. %
0,6	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	5 95	0,6	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100
0,8	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100	0,8	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100
1,0	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100	1,0	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100
1,2	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100	1,2	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	100
1,4	CaSO_4 $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	1 99	1,4	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ CaSO_4	2 89 9

Прочностные показатели образцов в 2-часовом и 7-суточном возрасте представлены на рисунке 1. Из приведенных данных видно, что при получении различных марок высокопрочного гипсового вяжущего можно варьировать

параметрами автоклавной обработки. По полученным данным видно что, для получения максимальной прочности гипсового вяжущего является автоклавная обработка при 1,0 МПа в течение 30 мин.

Можно сделать вывод о том, что высокопрочное гипсовое вяжущее, полученное на основе синтетического гипса из осадка коагуляции поверхностных вод, является перспективным продуктом из отходов производств. Высокопрочное гипсовое вяжущее не уступает по своим основным характеристикам вяжущим, полученным на основе природного гипсового камня.

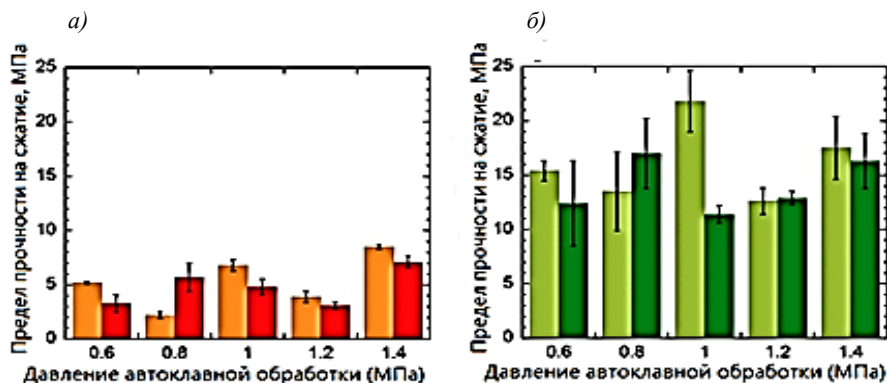


Рисунок 1 – Прочностные показатели гипсовых вяжущих:
a – прочностные показатели на сжатие в возрасте 2 часов;
б – прочностные показатели на сжатие в возрасте 7 суток

Исходя из этого можно сделать заключение о том, что использование данного вяжущего, полученного на основе осадка коагуляции, при производстве сухих строительных смесей и самонивелиров возможно и перспективно.

Список литературы

- 1 Комаров, М. А. Синтез дигидрата сульфата кальция из техногенного сырья / М. А. Комаров, Н. Г. Короб, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 76–82.
- 2 Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue / C. Wang, X. Ma, W. Zhong [et al.] // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2024. – № 3. – P. 1588–1595.
- 3 Effect of calcination temperature and superplasticizer on the properties of anhydrite II from phosphogypsum / D. Liu, J. Chen, X. Ma [et al.] // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2024. – № 149 (21). – P. 1–11.

4 High strength anhydrite cement based on lime mud from water treatment process: one step synthesis in water environment, characterization and technological parameters / M. Kamarou, H. Tan, D. Moskovskikh [et al.] // Engineering Reports. – 2025. – Т. 7, № 1. – Р. 1–13.

5 High-strength gypsum binder with improved water-resistance coefficient derived from industrial wastes / M. Kamarou, D. Moskovskikh, K. Kuskov [et al.] // Waste Management & Research. – 2025. – Vol. 43, № 2. – Р. 213–224.

УДК 628.544

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*М. А. КОМАРОВ^{1,2}, Н. Г. КОРОБ¹, К. С. КАРАВАЦКАЯ²,
В. О. МАНУШЕВСКИЙ²*

*¹Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
makkom1995@gmail.com*

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Актуальность. Обеспечение безопасности воды является одной из ключевых задач в системах водоснабжения и водоочистки. Для дезинфекции воды традиционно используются хлорсодержащие соединения, такие как гипохлорит натрия, гипохлорит кальция, хлорная известь и хлорамин. Они обладают высокой эффективностью против микроорганизмов, но их применение сопровождается образованием побочных продуктов, многие из которых токсичны для окружающей среды и здоровья человека. Альтернативой хлорсодержащим дезинфицирующим средствам является озон, который обладает сильными окислительными свойствами и эффективно уничтожает широкий спектр патогенов [1–3]. Преимущество озона заключается в его способности быстро разлагаться до кислорода, не образуя стойких загрязняющих веществ. Однако его производство требует значительных энергетических затрат, что также следует учитывать при оценке экологической безопасности. В связи с этим возникает необходимость комплексного анализа различных дезинфицирующих веществ с точки зрения их воздействия на окружающую среду [4, 5]. Особенно важно учитывать полный жизненный цикл каждого вещества – от производства и подготовки рабочего раствора до его применения и утилизации отходов.

Цель работы – провести сравнительный анализ экологического воздействия традиционных хлорсодержащих дезинфицирующих веществ и озона при их применении в системах водоснабжения. Рассматриваемые этапы жизненного цикла включают производство и получение исходных реагентов, подготовку рабочего раствора, процесс дезинфекции, образование и утилизацию отходов.

Основные результаты. Для оценки экологического воздействия был применен метод анализа жизненного цикла (*LCA*) с использованием программного обеспечения *SimaPro* и методики *IMPACT 2002+*. Это позволило выявить наиболее значимые факторы влияния различных дезинфицирующих веществ на окружающую среду.

Результаты исследования показали следующее. Хлорная известь и гипохлорит кальция оказывают наибольшее негативное воздействие на окружающую среду. Их производство сопровождается значительными выбросами CO_2 , Cl_2 и других вредных соединений. Эти вещества требуют сложной системы утилизации, поскольку их отработанные растворы могут нарушать экосистемный баланс водоемов и почв. Гипохлорит натрия имеет более низкий уровень воздействия по сравнению с гипохлоритом кальция, однако его производство также требует значительных энергетических затрат. Основной проблемой остается образование сточных вод, содержащих остаточный активный хлор. Озон демонстрирует наименьшее воздействие на окружающую среду. Его генерация происходит непосредственно на месте применения, что исключает необходимость транспортировки и хранения химических веществ. Озон разлагается до кислорода в течение 20–40 минут, не оставляя токсичных остатков. Однако процесс его производства требует больших затрат электроэнергии, что необходимо учитывать при внедрении данной технологии.

Выводы. В результате исследования установлено, что переход на озоную дезинфекцию позволяет существенно снизить нагрузку на окружающую среду, особенно в отношении выбросов в атмосферу и загрязнения водоемов. Однако для успешной реализации данной технологии необходимо разработать энергоэффективные способы генерации озона и минимизировать возможные выбросы оксидов азота, образующихся при его производстве.

Также можно сделать следующие основные выводы.

1 Хлорсодержащие дезинфицирующие вещества оказывают значительное негативное влияние на окружающую среду, особенно на этапе их производства и утилизации отработанных растворов.

2 Озонирование представляет собой перспективную альтернативу, поскольку не приводит к образованию стойких токсичных соединений и снижает общий экологический ущерб.

3 Необходимо учитывать энергетические затраты на генерацию озона и разрабатывать технологии, позволяющие снизить потребление электроэнергии и минимизировать выбросы оксидов азота.

4 Выбор дезинфицирующего метода должен основываться на комплексной оценке экологической безопасности, эффективности инактивации микроорганизмов и экономической целесообразности.

Применение метода оценки жизненного цикла позволяет принимать взвешенные решения при выборе дезинфицирующих средств, ориентируясь на снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1 Comparative analysis of the disinfection efficiency of steel and polymer surfaces with aqueous solutions of ozone and sodium hypochlorite / V. Romanovski, A. Paspelau, M. Kamarou [et al.] // Water. – 2024. – Vol. 16, № 793 – P. 1–13.

2 Анализ технических аспектов дезинфекции поверхностей водными растворами озона и гипохлорита натрия / А. В. Поспелов, М. А. Комаров, Н. Г. Короб, А. Н. Хотько // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – № 2 (37). – С. 87–95.

3 Сравнительный анализ эффективности дезинфекции поверхностей в водных растворах озона и гипохлорита натрия / А. В. Поспелов, М. А. Комаров, Н. Г. Короб, А. Н. Хотько // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – № 1 (36) – С. 94–99.

4 Романовский, В. И. Растворимость озона в воде по высоте столба жидкости / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, В. В. Лихавицкий // Водоочистка. – 2017. – № 2. – С. 36–41.

5 Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В. И. Романовский, М. В. Рымовская, Ю. Н. Бессонова [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.

УДК 543.068

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ВОЗДУШНЫХ ПРОБАХ

К. М. КОМИССАРОВА, В. В. МАКЕЕВ, А. В. ДУДАРЕВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
k375445843632@gmail.com, 6348054@gmail.com*

Актуальность. Мониторинг количества и состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух является одним из основных направлений природоохранной деятельности в Республике Беларусь. Необходимость выплаты и размер экологического налога определяется на основании акта инвентаризации выбросов и нормативов допустимых выбросов, что закреплено в Постановлении Минприроды Республики Беларусь № 33 от 27.12.2023 [1]. В приложении 1 указанного документа приведены 77 загрязняющих веществ, суммарные показатели для которых устанавливаются нормативами допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный

воздух для Республики Беларусь. Суммарный показатель с кодом 3005 – общий органический углерод (далее – ООУ).

В экологических нормах и правилах ЭкоНиП 17.08.06-001-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха» для отдельных процессов определена предельно допустимая концентрация (ПДК) выбросов общего органического углерода (ООУ). При использовании (сжигании) отходов и (или) топлив из отходов (с содержанием отходов более 15 %), RDF-топлива и топлива из коммунальных отходов ПДК составляет 20 мг/м³, а при сжигании отходов древесноволокнистых, древесностружечных плит, содержащих связующие не минерального происхождения, ПДК составляет 50 мг/м³.

Контроль и нормирование суммарных показателей, к которым относится ООУ, является неизбежным процессом отражения увеличения использования органических веществ и соединений в производственных процессах, в быту. В настоящее время известно порядка 27 млн химических веществ. Около 70 тыс. активно применяется в технологических процессах или является результатом переработки, большая часть из которых является органическими соединениями [2]. Невозможность полного охвата лабораторного контроля выбросов в атмосферу каждого из этих веществ определяет создание индикативных параметров [5]. Так, в Европейском Союзе (ЕС), согласно Директиве 98/83/ЕС Совета «О качестве воды, предназначенной для употребления людьми» [3], не указано значение ПДК для ООУ, но обозначено, что при значительных изменениях уровня ООУ необходим анализ технологического процесса и поиск источника выброса отдельных органических соединений [3, 4].

Специфичность определения ООУ в газообразных пробах заключается в том, что этот показатель суммирует все формы углерода, содержащиеся в органических соединениях, включая как легко разлагаемые, так и более стабильные вещества. В Республике Беларусь метод измерения концентрации ООУ в выбросах от стационарных источников выбросов, соответствующих требованиям законодательства об обеспечении единства измерений, а также возможный к применению в аккредитованных лабораториях при проведении измерений выбросов, в том числе при осуществлении производственных наблюдений, проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, определен в государственном стандарте Республики Беларусь СТБ 17.13.05-51-2021/EN 12619:2013 «Определение массовой концентрации общего газообразного органического углерода. Метод с применением детектора с непрерывной пламенной ионизацией».

Стоимость аналитического оборудования для определения концентрации ООУ в газообразных пробах, необходимого для реализации СТБ 17.13.05-51-2021/EN 12619:2013, составляет порядка 50000 евро, что сопоставимо с

последними модификациями газожидкостных хроматографов, решающих более широкий спектр задач.

Цель работы – изучение корреляции ООУ с количеством атомов углерода в органических соединениях.

В качестве базовых объектов для рассмотрения были взяты соединения, входящие в группу летучих органических соединений (ЛОС), такие как предельные и ароматические углеводороды. На рисунках 1 и 2 приведены данные относительного содержания углерода (A), рассчитанного по формуле (1), в зависимости от массы углерода (количество атомов углерода) в молекуле соединения для предельных и ароматических углеводородов. Данный показатель фактически является значением ООУ для индивидуальных органических веществ. Значения A определяли по формуле

$$A = \frac{My}{Mm}, \quad (1)$$

где My – масса углерода в молекуле (количество атомов углерода); Mm – молекулярная масса молекулы.

Данные, приведенные на рисунках 1 и 2, показывают корреляцию между значением общего органического углерода и содержанием атомов углерода в пробе. Чем больше атомов углерода содержится в органических соединениях, тем выше будет значение ООУ. Таким образом, увеличение содержания углерода в пробе приводит к увеличению концентрации ООУ. Полученный результат показывает необходимость изменения времени и скорости аспирации газовых проб в зависимости от предполагаемого доминирующего вещества, отводимого через источник выбросов: чем выше содержание углерода в доминирующем органическом веществе, тем меньше объем газовой пробы необходим для последующего анализа. Так, объем отбираемой газовой пробы для декана ($C_{10}H_{22}$) и этана (C_2H_6) отличается не менее чем в 5 раз. На объем газовой пробы также оказывает влияние агрегатное состояние вещества. Решение о необходимом объеме газовой пробы принимается на основании результатов калибровки.

Относительное содержание углерода у веществ, содержащих два атома углерода в молекуле для различных классов органических соединений, принимает значения, зависящие только от молекулярной массы всего соединения (рисунок 3).

Исследования зависимостей относительного содержания углерода от количества атомов углерода в молекуле позволяют установить пределы содержания ООУ в воздушных пробах, что важно для разработки методики определения ООУ методом газовой хроматографии, так как время отбора проб напрямую зависит от предполагаемой концентрации.

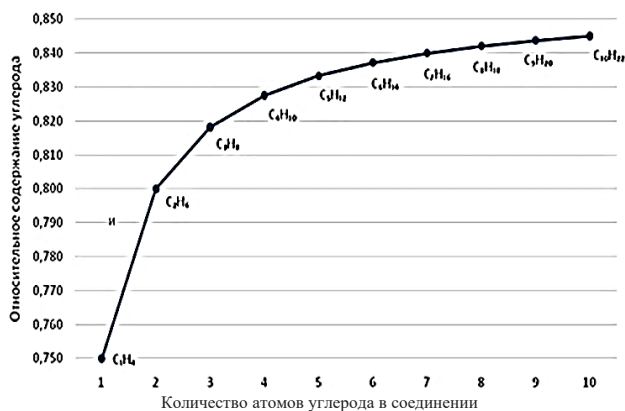


Рисунок 1 – Зависимость относительного содержания углерода в классе предельных углеводородов

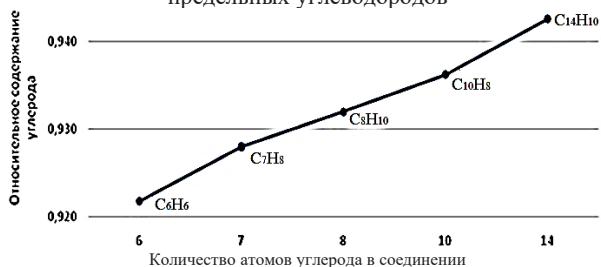


Рисунок 2 – Зависимость относительного содержания углерода в классе ароматических углеводородов

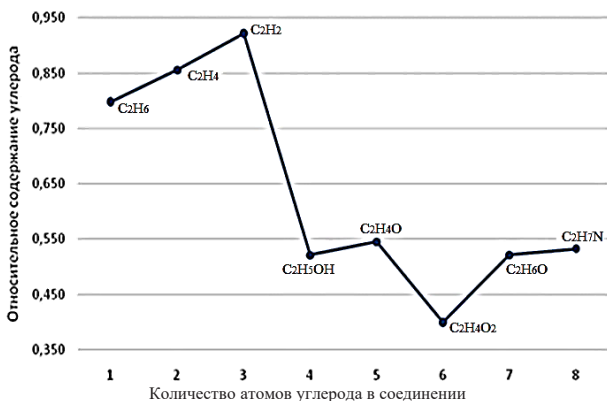


Рисунок 3 – Зависимость относительного содержания углерода у веществ, содержащих два атома углерода в молекуле, для различных классов органических соединений

Если предполагаемая концентрация ООУ высока, время отбора проб может быть сокращено, а скорость аспирации снижена, при низкой концентрации, наоборот, требуется больше времени и увеличенная скорость аспирации для обеспечения захвата и анализа органических соединений.

Выводы. Количество углерода в органических загрязнителях воздушной среды определяет объем проб при реализации метода контроля общего органического углерода. Данные о корреляции являются основой создания математических моделей по определению концентрации определенных органических соединений и их влияния на уровень ООУ.

Список литературы

1 О деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление М-ва природных ресурсов и охрану окружающей среды Респ. Беларусь № 33 от 27.12.2023 (с изм. от 30.12.2024 № 75) // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/?ysclid=mcj3ab3r39605997532> (дата обращения: 11.04.2024).

2 **Цупрева, В.** Анализаторы общего органического углерода компании Shimadzu для исследования проб различной природы / В. Цупрева // Аналитика. – 2013. – № 2. – С. 82–87.

3 Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption // Official Journal of the European Communities. – OJ L330, 5.12.1998. – P. 32–54.

4 Органический углерод: вопросы гигиенического регламентирования и гармонизации / Е. А. Кузьмина, Е. О. Кузнецов, Н. В. Смагина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2013. – № 6. – С. 60–64.

5 **Захарова, А.** Контроль чистоты технологического оборудования методом определения общего органического углерода / А. Захарова, А. Кравченко, И. Гринштейн // Аналитика. – 2014. – № 6. – С. 74–80.

УДК 691.175.5/8

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕАКТОПЛАСТОВ

С. Ю. КОНОВАЛОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
viktornevsky8448039@gmail.com*

Актуальность. Современные отрасли, такие как строительство, машиностроение, автомобилестроение и другие, предъявляют все более повышенные требования к эксплуатационным свойствам материалов: легкость, прочность, устойчивость к экстремальным условиям и др. Таким требованиям отвечают

реактопласты, которые обладают высокой прочностью, устойчивостью к перепадам температур и химическим воздействиям [1, 2]. Модифицированные реактопласты, усиленные, например, углеродными или стеклянными волокнами, способны выдерживать повышенные нагрузки и температуры, что делает их конкурентоспособными.

Экологический аспект. В условиях глобального внимания к устойчивому развитию модифицирование реактопластов включает переработанные материалы или биоразлагаемые компоненты, что снижает экологические воздействия производства и проблемы утилизации.

Инновации в технологиях. Развитие методов производства (D-печать, автоматизация) открывает новые возможности для создания сложных конструкций на основе реактопластов. Это актуально для высокотехнологичных отраслей, где нужны индивидуализированные решения.

Замена традиционных материалов. Металлы и сплавы постепенно уступают место композитам прежде всего вследствие их меньшего веса и коррозионной стойкости. Кроме этого, модифицированные реактопласты могут превосходить традиционные материалы по удельной прочности и долговечности, что важно при замене традиционных материалов.

Экономические преимущества. Совершенствование материалов на основе реактопластов позволяет снизить затраты на производство и эксплуатацию изделий за счет их долговечности и снижения потребности в замене.

Цель работы – провести анализ и систематизацию наиболее эффективных композиционных материалов на основе модифицированных реактопластов для строительных изделий.

Основные результаты. В Республике Беларусь применение реактопластов в строительстве определяется их доступностью, технологическими свойствами и соответствием требованиям условий эксплуатации. На основе анализа рынка материалов и эффективности их использования в строительстве в РБ наиболее перспективными являются материалы на основе следующих реактопластов.

Эффективность материалов на основе эпоксидных смол обусловлена высокой адгезией к различным материалам (бетон, металл), прочностью, устойчивостью к влаге [3–5]. Вследствие экологической безопасности эпоксидные композиты широко применяются для ремонта бетонных конструкций, получения клеевых и гидроизоляционных составов, армированных изделий, композитных панелей. Предприятия Республики Беларусь («Белхим» и другие химические производства) поставляют эпоксидные смолы, адаптированные под климатические условия страны (влажность, перепады температур). Смолы ЭД-20, ЭД-16 и другие марки выпускают ЧТУП «Эфком» (Минск), ОАО «Белхим» и др.

Полиэфирные смолы экономичны и просты в переработке. В сочетании с наполнителями (например, стекловолокном) образуют прочные и легкие конструкции. В Республике Беларусь применяются в производстве

стеклопластиковых изделий (СЗАО «Липласт-СПб» (Гродно), ЧТУП «Эфком» (Минск)). Материалы на основе модифицированных полиэфирных смол перспективны для изготовления фасадных панелей, труб, декоративных элементов зданий [4–6]. Доступность сырья и развитая инфраструктура литья делают полиэфирные премиксы перспективными для мелкосерийного производства.

Фенолформальдегидные смолы, вследствие высокой огнестойкости и термической стабильности, являются незаменимыми в строительстве объектов с повышенными требованиями к пожарной безопасности. В Беларуси, где строгие строительные нормы, это особенно актуально. Эти смолы перспективны для производства огнестойких перегородок, электроизоляционных материалов, конструктивных элементов. Используются в промышленности благодаря локальному производству фенольных смол и материалов на их основе. Развитие химической промышленности Беларуси (ОАО «Могилёв-химволокно») позволяет обеспечить внутренний рынок базовыми смолами и наполнителями для их модифицирования (стекловолокно от «Полоцк-Стекловолокно»). При использовании материалов на основе полиэфирных смол на территории Республики к их свойствам предъявляются следующие требования: устойчивость к низким температурам и высокой влажности, что повышает спрос на водостойкие и термостойкие композиты на их основе.

Полиэфирные и фенольные смолы в качестве основного связующего композиционных материалов экономически более перспективны вследствие более низкой стоимости по сравнению с эпоксидными смолами.

Наиболее эффективными материалами по свойствам (таблица 1) для строительной отрасли Республики Беларусь являются:

- полиуретановые композиты, обеспечивающие лучший баланс между стоимостью, экологичностью и технологичностью для изделий интерьеров;
- эпоксидные углепластики, обеспечивающие высокие характеристики прочности и долговечности, подходят для ответственных конструкций (например, мостовые элементы);
- полиэфирные стеклопластики, обеспечивающие оптимальные характеристики для массового производства легких и недорогих изделий.

Таблица 1 – Свойства основных композитов

Материал	Прочность, МПа	Водостойкость	Термостойкость, °С
Полиэфирный стеклопластик	150–200	Высокая	150–180
Эпоксидный углепластик	300–500	Отличная	200–250
Полиуретановый композит	100–150	Высокая	150
Фенолформальдегидный премикс	120–180	Средняя	200

Наиболее перспективны для применения в строительстве следующие материалы:

- для наружных конструкций: эпоксидные композиты с углеродными волокнами, обеспечивающие долговечность и устойчивость к атмосферным воздействиям;

- внутренних изделий с требованиями пожаробезопасности: модифицированные фенольные композиты, благодаря низкой горючести и термостойкости;

- массового производства тонкостенных элементов: экономичные и технологичные полиэфирные премиксы.

Таким образом, наиболее эффективными в отрасли строительства в Республике Беларусь являются композиты на основе эпоксидных, полиэфирных и фенолформальдегидных смол. Эпоксидные композиты лидируют в высокопрочных и специализированных конструкциях, полиэфирные – в массовом производстве строительных изделий, а фенольные – в пожаробезопасных решениях. Их востребованность обусловлена сочетанием местных производственных возможностей, экономических факторов и требований строительной отрасли.

Выводы. Эффективность композиционных материалов на основе модифицированных реактопластов зависит от конкретных задач строительства. Эпоксидные композиты лидируют по прочности и универсальности, полиэфирные – по стоимости и простоте переработки, а фенольные – по пожаробезопасности. Системный подход к выбору материала должен учитывать баланс между эксплуатационными характеристиками, стоимостью и технологическими возможностями производства. Для повышения экологичности и водостойкости перспективно дальнейшее развитие процессов модифицирования реактопластов, например, с использованием биоразлагаемых добавок, или создания новых технологических приемов получения изделий на их основе.

Список литературы

1 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko, S. N. Bukharov, E. F. Kudina [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 269–189.

2 **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.

3 **Козлов, П. Г.** Композиционные материалы на основе полимеров / П. Г. Козлов. – Минск : БГТУ, 2018. – 215 с.

4 **Сидоров, А. И.** Термореактивные пластмассы в строительстве / А. И. Сидоров. – М. : Химия, 2015. – 127 с.

5 Производство полимерных материалов в Республике Беларусь / Отчет НИИ химической промышленности РБ, 2022.

УДК 51-74

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДОМ СИМПЛЕКС-РЕШЕТЧАТОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

*Е. Ф. КУДИНА^{1,2}, Н. К. ТУРСУНОВ³, И. В. ПРИХОДЬКО¹,
П. А. КУРИЦЫН¹, С. В. ТОКАРЬ¹, Р. DASIC⁴*

¹Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

²Государственное научное учреждение

*«Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель*

³Ташкентский государственный транспортный университет,

⁴SaTCIP Ltd., Serbia

Получение материалов с оптимальными свойствами связано с проведением многочисленных экспериментов, получением и обработкой результатов. Зачастую это трудоемкий, энерго- и материалозатратный процесс. Поэтому проблема оптимизации с элементами математической обработки в настоящее время является достаточно актуальной.

Вопросам математической обработки результатов инженерного эксперимента посвящено большое количество технической литературы. Основной задачей обработки экспериментального материала является выделение из него полезной информации и представление ее в виде, удобном для анализа. При этом информация преобразовывается так, чтобы отдельные стороны явления или процесса выделялись четко и ярко, а полученные результаты можно было бы оценить количественными показателями.

Такой подход обусловлен непрерывно повышающейся требовательностью к достоверности результатов исследований [1].

Математические методы планирования эксперимента основаны на кибернетическом представлении об объекте исследования (далее – ОИ), следовательно, наиболее подходящей моделью ОИ может выступить кибернетическая система, представленная на рисунке 1. Каждый фактор в опыте может принимать одно из нескольких значений (уровней). Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний кибернетической системы. Одновременно этот набор представляет собой условия проведения одного из возможных опытов, где каждому фиксированному

набору уровней факторов соответствует точка в многомерном пространстве факторов (факторном пространстве). Опыты не реализуются во всех точках факторного пространства, а лишь в точках, принадлежащих допустимой области факторного пространства [2].

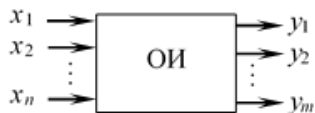


Рисунок 1 – Модель кибернетической системы: x_1, x_2, x_n – воздействующие факторы (входы); y_1, y_2, y_n – критерии оптимизации (выходы)

Одним из часто встречаемых методов решения задач по оптимизации состава в системе «состав – свойство» является симплекс-решетчатый план Шеффе. Этот метод позволяет снизить вероятность возникновения случайных ошибок и является эффективным способом выявления областей экстремума функциональной зависимости. Шеффе ввел каноническую форму полинома степени n .

$$\hat{y} = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i \cdot x_i + \sum_{m=2}^n \left\{ \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_{ij}^{(m)} x_i x_j (x_i - x_j)^{m-2} \right\} + \sum_{m=3}^n \left\{ \sum_{1 \leq i_1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_m \leq q} \beta_s x_{i_1}^{s_1} x_{i_2}^{s_2} \dots x_{i_m}^{s_m} \right\}, \quad (1)$$

где $s = x_{i_1}^{s_1} x_{i_2}^{s_2} \dots x_{i_m}^{s_m}$, $s_1 + s_2 + \dots + s_m = n$.

В приведенном полиноме (1) оценку коэффициентов можно реализовать при помощи планов с равномерным разбросом экспериментальных точек по $(q-1)$ -мерному симплексу, где точки планов – это узлы $\{q, n\}$ -симплексных решеток. В $\{q, n\}$ -решетке для каждого фактора используется $(n+1)$ равнорасположенных узлов в интервале от 0 до 1 и используются все их комбинации (рисунок 2). И так как число таких комбинаций C_{q+n-1}^n равно числу оцениваемых коэффициентов полинома (1) в n -степени, то набор точек

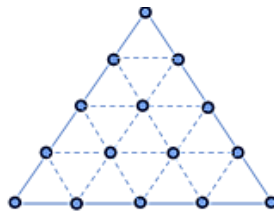
$$x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{qu}, \quad u = 1, 2, \dots, N = C_{q+n-1}^n,$$

где $(x_{iu} = 0, 1/n, 2/n, \dots, 1)$;

$$\sum_{1 \leq i \leq q} x_{iu} = 1,$$

образует насыщенный симплекс-решетчатый план $\{q, n\}$.

Рисунок 2 – $\{q, n\}$ -решетка четвертой степени



Рассмотрим расчетные формулы коэффициентов приведенного полинома четвертой степени для трехкомпонентной смеси.

$$\begin{aligned} \hat{y} = & \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \\ & + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \\ & + \delta_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2 + \delta_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3)^2 + \delta_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3)^2 + \\ & + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где коэффициенты можно рассчитать по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= y_1; \beta_2 = y_2; \beta_3 = y_3; \beta_{12} = 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2; \\ \beta_{13} &= 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3; \beta_{23} = 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3; \\ \gamma_{12} &= \frac{8}{3}(-y_1 + 2y_{1112} - 2y_{1222} + y_2); \\ \gamma_{13} &= \frac{8}{3}(-y_1 + 2y_{1113} - 2y_{1333} + y_3); \\ \gamma_{23} &= \frac{8}{3}(-y_2 + 2y_{2223} - 2y_{2333} + y_3); \\ \delta_{12} &= \frac{8}{3}(-y_1 + 4y_{1112} - 6y_{12} + 4y_{1222} - y_2); \\ \delta_{13} &= \frac{8}{3}(-y_1 + 4y_{1113} - 6y_{13} + 4y_{1333} - y_3); \\ \delta_{23} &= \frac{8}{3}(-y_2 + 4y_{2223} - 6y_{23} + 4y_{2333} - y_3); \\ \beta_{1123} &= 32(3y_{1123} - y_{1223} - y_{1233}) + \frac{8}{3}(6y_1 - y_2 - y_3) - 16(y_{12} + y_{13} - \\ & - \frac{16}{3}(5y_{1112} - 5y_{1113} - 3y_{1222} - 3y_{1333} - y_{2223} - y_{2333})); \\ \beta_{1223} &= 32(3y_{1223} - y_{1123} - y_{1233}) + \frac{8}{3}(6y_2 - y_1 - y_3) - 16(y_{12} + y_{23}) - \\ & - \frac{16}{3}(5y_{1222} - 5y_{2223} - 3y_{1112} - 3y_{2333} - y_{1113} - y_{1333}); \\ \beta_{1233} &= 32(3y_{1233} - y_{1123} - y_{1223}) + \frac{8}{3}(6y_3 - y_1 - y_2) - 16(y_{13} + y_{23}) - \\ & - \frac{16}{3}(5y_{1333} - 5y_{2333} - 3y_{1113} - 3y_{2223} - y_{1112} - y_{1222}) [3]. \end{aligned}$$

Используя координаты точек симплексной решетки, можно составить матрицу планирования эксперимента. Вид матрицы планирования представлен в таблице 1.

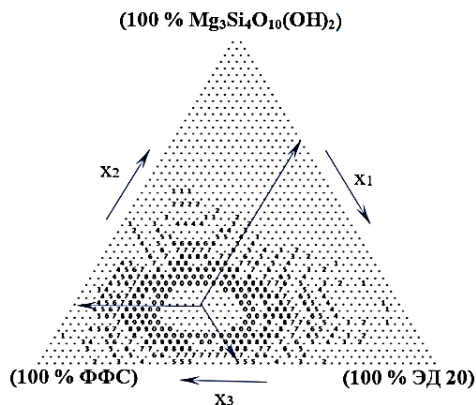
Таблица 1 – Матрица планирования

№ п/п	Варьируемый фактор			Функция отклика
	x_1	x_2	x_3	
1	1	0	0	y_1
2	0	1	0	y_2
3	0	0	1	y_3
4	1/2	1/2	0	y_{1122}
5	0	1/2	1/2	y_{2233}
6	1/2	0	1/2	y_{1133}
7	1/4	3/4	0	y_{1222}
8	0	1/4	3/4	y_{2333}
9	0	3/4	1/4	y_{2223}
10	3/4	1/4	0	y_{1112}
11	3/4	0	1/4	y_{1113}
12	1/4	0	3/4	y_{1333}
13	1/4	1/4	1/2	y_{1233}
14	1/4	1/2	1/4	y_{1223}
15	1/2	1/4	1/4	y_{1123}

Метод оптимизации состава использовали для создания трехкомпонентного композиционного материала на основе функционализированной эпоксидной смолы (ЭС) марки ЭД-20 (ГОСТ 10587). Функционализирующий элемент – фенолформальдегидная смола (ФФС) (ГОСТ 5962). В качестве дисперсного наполнителя использован тетрасиликат магния. Сформированные гомогенизированные составы в различных сочетаниях компонентов наносились на металлические подложки для склеивания без введения отвердителя. При термообработке в климатической камере с постепенным увеличением температуры от 22 до 70 °С в течение 4 ч и последующей выдержке образцов в течение 12 ч в композиционном материале протекали процессы полимеризации. Испытание образцов на прочность проводили на разрывной машине WDW-100E.

Используя программный метод расчета и полученные данные, можно провести оптимизацию и тем самым свести количество экспериментов к минимуму. Результатом такого расчета является треугольная диаграмма с определенным количеством изолиний (рисунок 3), позволяющая определить зону максимума, которой соответствует оптимальный состав композиционного материала.

Рисунок 3 – Зависимость прочности материала от состава



Выводы. Анализируя полученную треугольную диаграмму, можно сделать вывод о том, что наилучшими прочностными свойствами обладает состав, содержащий 50 % ЭД 20, 20 % ФФС и 30 % тетрасиликата магния.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).

Список литературы

- 1 Селяев, В. П. Статистические методы планирования и анализа эксперимента в строительстве / В. П. Селяев. – Саранск : МГУ им. Н. П. Огарева, 2004. – 140 с.
- 2 Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
- 3 Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высш. шк., 1985. – 327 с.

УДК 551.4(476.13)

ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

П. Г. КУРЛОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Водоснабжение позволяет обеспечить улучшение качества жизни людей, благоустроить населенные пункты и стимулировать промышленный рост. Поэтому в настоящее время обеспечение качественного водоснабжения является актуальной задачей в любом современном государстве.

Система водоснабжения представляет совокупность организационных и технических действий, направленных на обеспечение населения водой.

Водопроводная сеть функционирует как система непрерывной подачи воды от водозаборных сооружений, где вода проходит необходимые этапы очистки и подготовки и далее по городским трубопроводам доставляется потребителям. Технологии очистки воды постоянно совершенствуются.

Восстановление ветхих трубопроводов бестраншейными методами ремонта. Ремонт и замена изношенных или поврежденных трубопроводов водоснабжения и канализации с использованием традиционных методов, предполагающих открытие траншей, приводят к нарушению работы транспортных и инженерных сетей, уничтожению зеленых насаждений, а также требует значительных финансовых и временных затрат. Наиболее эффективным является проведение ремонта повреждённых подземных трубопроводов без раскопок непосредственно в земле, что существенно снижает расходы на ремонт (на 30–60 %) и ускоряет работы (в 2–3 раза).

Главные преимущества бестраншейных методов ремонта [1]:

- стабильная пропускная способность сетей, прекращение утечек, связанных с коррозией труб, поступление качественной воды к потребителю;
- отсутствие необходимости полного вскрытия трассы, что обеспечивает минимальный объем земляных работ;
- возможность полного сохранения в зоне трассы всех подземных сооружений и подземных коммуникаций (трубопровод вскрывается только в местах входа и выхода агрегата для цементно-песчаной облицовки и троса при протаскивании);
- уменьшение коэффициента шероховатости трубопровода и повышение пропускной способности при экономии электроэнергии на перекачку воды.

Применение труб из ВЧШГ (высокопрочный чугун с шаровидным графитом). Несмотря на то, что в настоящее время наблюдается пик в производстве и использовании полимерных труб, чугунные изделия по-прежнему остаются востребованными при прокладке и монтаже трубопроводов, особенно в тех случаях, когда требуется высокая прочность и долговечность. Чугун является прочным, но хрупким материалом по сравнению со сталью. Перспективными в применении могут стать усовершенствованные трубы, изготовленные из ВЧШГ.

Этот материал объединяет лучшие качества чугуна (прочность и устойчивость к коррозии) с пластичностью, присущей стали. Важным фактором, обеспечивающим такую уникальную комбинацию свойств, является наличие шариков графита в структуре ВЧШГ [2]. Данный наполнитель значительно улучшает механические характеристики материала, препятствуя распространению трещин и увеличивая его прочность на разрыв.

Технические характеристики ВЧШГ:

- большой коэффициент запаса прочности по сравнению с другими системами трубопроводов ($K_{\text{пр}} < 3,0$) [3];
- эластичность – 270 МПа (прочность на изгиб) [3];
- прочность на разрыв – $R_m \geq 420$ МПа [3];

– относительное удлинение – более 10 % для труб Ду 60–1000 мм и более 7 % для труб Ду 1100–2000 мм [3].

В отличие от традиционного чугуна, где графит распределен в объеме материала в виде пластин, делая его более хрупким и подверженным разрушению, ВЧШГ благодаря своей структурной организации более устойчив к механическим повреждениям и деформациям [2]. Трубы из ВЧШГ после термического отпуска сохраняют качества чугунных труб, такие как прочность на сжатие и высокая коррозионная стойкость, а также приобретают новые эксплуатационные свойства: высокий предел упругости, ударопрочность и прочность на разрыв, которые присущи стали, а не чугуну.

Таким образом, применяя эффективные технологии при решении задач качественного водоснабжения, можно, с одной стороны, повысить для населения качество питьевой воды, а с другой – обеспечить наиболее совершенные технологии ремонта трубопроводов, повысить коррозионную стойкость труб, а также улучшить экологическую обстановку.

Список литературы

1 Рыбаков, А. П. Основы бестраншейных технологий. Теория и практика / А. П. Рыбаков. – М. : ПрессБюро, 2005. – 304 с.

2 Солнцев, Л. А. Получение чугунов повышенной прочности / Л. А. Солнцев, А. Ф. Зайденберг, А. Ф. Малый. – Харьков : Вища школа : Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 152 с.

3 Преимущество труб из ВЧШГ // Производство чугунного литья и систем водоотвода. – URL: <https://ural-chugun.ru/preimushchestvo-trub-iz-vchshg> (дата обращения: 16.03.2025).

УДК 628.33:546.4

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. В. ЛАШКИНА

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

Актуальность. Загрязнение среды, в особенности химическими веществами, – один из наиболее сильных факторов разрушения компонентов биосферы. В настоящее время во многих регионах и в мире в целом загрязнение природной среды тяжелыми металлами достигло угрожающих масштабов. Среди всех химических загрязнений тяжелыми металлами рассматриваются те, которые имеют особое экологическое, биологическое и здравоохранительное значение [1]. Для каждого металла существуют концентрационные интервалы, в которых они выступают в роли крайне необходимых

организмам (растениям и животным) микроэлементов. Эти обстоятельства указывают на необходимость всестороннего изучения роли металлов в природных объектах, в том числе тех, за которыми закрепилось название «тяжелые металлы». Наибольшее значение для окружающей среды имеют ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, никель, кобальт. В этот перечень входят и обязательные для животных и растительных организмов элементы, содержание которых в интервале 10^{-2} – 10^{-5} % необходимо для инициирования и активирования биохимических процессов. В экологическом и токсиколого-гигиеническом аспекте перечисленные металлы представляют особый интерес, поскольку они наиболее широко и в больших количествах используются в промышленности, и их накопление опасно в связи с высокой токсичностью. В металлургии сточные воды травильных ванн (концентрированные сточные воды) особенно грязные и в неочищенном состоянии не могут быть сброшены в городскую канализационную сеть. Они разрушают каналы и сточные коллекторы и, уничтожая бактериальную флору, делают невозможным правильную работу станций биологической очистки.

Цель работы – аналитическое определение катионов и анионов в сточных водах гальванического производства.

Основные результаты. В настоящее время существует три направления в разработке и внедрении электрохимических методов очистки сточных вод, содержащих растворенные примеси:

1) удаление растворенных примесей (главным образом органических соединений) в результате анодного окисления и катодного восстановления с образованием нетоксичных (или малотоксичных), а в некоторых случаях нерастворимых в воде продуктов, выпадающих в осадок;

2) удаление растворенных примесей (главным образом неорганических веществ) с одновременной утилизацией ценных продуктов методами электролиза (электролиза с использованием полупроницаемых мембран);

3) удаление растворенных примесей путем электролиза сточных вод с использованием растворимых железных или алюминиевых анодов с получением нерастворимых в воде продуктов, выпадающих в осадок.

Основную массу твердой фазы осадков сточных вод гальванического производства составляют нерастворимые соединения тяжелых металлов, сорбированные масла, механические примеси. Отбор проб проводился в соответствии с целями анализа и на основании исследования местности, причем учитывались обстоятельства, которые могли бы оказать влияние на состояние взятой пробы. Суммарное количество катионов и анионов, поступающих со сточными водами гальванического производства, вносимых в процесс очистки и способных образовать нерастворимые соединения, представлено в таблице 1. Таким образом, основную массу взвешенных веществ, вносимых после отстаивания сточных вод, составляют гидроксиды и фосфаты металлов.

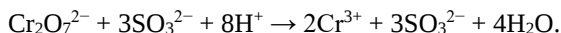
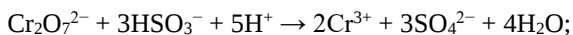
В свою очередь, ионы кадмия и цинка способны образовывать водорастворимые аммиакатные комплексные соединения [2], что оказывает влияние на эффективность работы очистных сооружений.

Обезвреживание сточных вод от токсичных соединений шестивалентного хрома с применением растворимых железных анодов осуществляется путем восстановления шестивалентного хрома до трехвалентного при $\text{pH} < 3$.

Таблица 1 – Катионы и анионы гальванического производства, вносимые в процесс очистки

№ п/п	Наименование	Масса катионов и анионов	
		г-экв/сутки	кг/месяц
1	Fe^{2+}	10,3	6,3
2	Fe^{3+}	93,8	38,4
3	Zn^{2+}	7,5	5,4
4	Cr^{3+}	34,3	13,3
5	Cd^{2+}	1,6	1,6
	Сумма катионов	147,5	65,3
6	PO_4^{3-}	23,8	16,6
7	OH^-	123,7	46,3
	Сумма анионов	147,5	62,9

При обработке хромосодержащих сточных вод солями серной кислоты протекают следующие химические реакции:



В обеих реакциях участвуют ионы водорода, концентрация которых в растворе снижается, т. е. происходит некоторый рост величины pH обработанной воды. В таблице 2 представлено количество ионов, вносимых в городскую канализацию.

Таблица 2 – Сумма катионов и анионов, вносимых в городскую канализацию

№ п/п	Наименование	Масса катионов и анионов	
		г-экв/сутки	кг/месяц
1	Fe^{2+}	9,3	5,3
2	Fe^{3+}	51,7	21,2
3	Zn^{2+}	6,5	4,7
4	Cr^{3+}	27,9	10,6
5	Cd^{2+}	1,0	1,2
	Сумма катионов	96,4	43,0
6	PO_4^{3-}	23,8	16,6
7	OH^-	73,6	27,5
	Сумма анионов	97,4	44,1

Выводы. Проведенные исследования показали, что вынос загрязняющих веществ в городскую канализацию с очищенными сточными

водами приводит к определенному снижению массы образовавшегося осадка гальванического производства.

Список литературы

1 **Гиляров, А. М.** Экология биосферы / А. М. Гиляров. – М. : Из-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2018. – 158 с.

2 **Радион, Е. В.** Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Е. В. Радион, А. Е. Соколовский, Н. А. Коваленко. – Минск : БГТУ, 2010. – 108 с.

УДК 692.239:620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ОБОГРЕВА ФУНДАМЕНТА ПО ТИПУ «УТЕПЛЕННАЯ ШВЕДСКАЯ ПЛИТА»

А. В. ЛЕМЕШЕВСКАЯ

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

Актуальность. Проблема энергоэффективности отопления частных домов заключается в высоких затратах на энергоресурсы и значительном углеродном следе, обусловленном использованием традиционных систем отопления (газ, электричество, твердое топливо). Низкая теплоизоляция зданий, устаревшее оборудование и неэффективные системы управления климатом приводят к значительным потерям тепла, увеличивая счета за отопление и негативно влияя на окружающую среду. Кроме того, зависимость от невозобновляемых источников энергии создает риски, связанные с колебаниями цен и энергетической безопасностью.

Альтернативные источники энергии предлагают ряд преимуществ перед традиционными ископаемыми видами топлива. В частности, солнечные батареи обладают следующими достоинствами: экологическая чистота, экономическая эффективность (в долгосрочной перспективе), независимость от централизованных энергосетей, низкие эксплуатационные расходы, расширяемость системы, доступность ресурса. В сравнении с другими альтернативными источниками энергии солнечные батареи отличаются относительной простотой установки и эксплуатации, а также широкой доступностью технологий и оборудования.

Цель работы – анализ целесообразности использования солнечных батарей и возможности комбинирования с фундаментом утепленная шведская плита.

Основные результаты. Несмотря на то, что Беларусь расположена в умеренном климатическом поясе с относительно коротким солнечным сезоном и значительной облачностью, уровень солнечной радиации достаточен для эффективной работы фотоэлектрических систем.

Факторы, влияющие на доступность солнечной энергии:

1 Солнечная радиация. Среднегодовой уровень солнечной радиации в Беларуси составляет примерно 1000–1200 кВт·ч/м² в год. Это меньше, чем в южных регионах, но все же достаточно для производства электроэнергии. Максимальная солнечная радиация приходится на летние месяцы.

2 Продолжительность солнечного сияния. Количество солнечных часов в году варьируется в зависимости от региона, но в среднем составляет около 1800–2000 часов.

3 Облачность. Значительная облачность, особенно в осенне-зимний период, снижает эффективность солнечных батарей. Однако современные солнечные панели достаточно эффективно работают при рассеянном свете.

4 Географическое положение. Северное расположение Беларуси относительно экватора означает меньший угол падения солнечных лучей по сравнению с южными странами, что несколько снижает эффективность солнечных установок.

5 Климатические условия. Зимние морозы и снегопады могут незначительно снизить эффективность работы солнечных панелей, но современные панели разработаны с учетом таких условий.

Несмотря на вышеперечисленное, Беларусь обладает потенциалом для развития солнечной энергетики. Этот потенциал можно реализовать за счет использования высокоэффективных солнечных панелей, оптимизации ориентации и угла наклона солнечных панелей, использования систем накопления энергии, развития законодательной базы и государственной поддержки [1, 6].

Утепленная шведская плита (УШП) – это фундамент мелкого заложения, представляющий собой монолитную железобетонную плиту, в которую встроены коммуникации и система обогрева «теплый пол». Данная технология отличается тем, что прокладка инженерных сетей и коммуникаций производится параллельно обустройству основания, что существенно сокращает сроки строительства, позволяя возводить большее количество жилых домов по сравнению с распространенной в нашей стране технологией ленточных фундаментов. Она сочетает в себе функции фундамента, теплоизоляции и системы отопления, обеспечивая значительную экономию энергии по сравнению с традиционными способами обогрева, что в свою очередь сокращает углеродный след в процессе эксплуатации [2].

На рисунке 1 представлена конструкция фундамента УШП.



Рисунок 1 – Конструкция фундамента УШП

При необходимости данную систему можно перевести с традиционного в нашей стране газового оборудования на альтернативные источники энергии, что будет способствовать дальнейшему снижению энергопотребления и экологичности отопления, еще больше сокращая углеродный след от эксплуатации УШП. Для подключения солнечных батарей к фундаменту по типу УШП потребуется следующее оборудование:

1 Солнечные фотоэлектрические (PV) панели. Они преобразуют солнечный свет в постоянный ток (DC). Выбор типа панелей (монокристаллические, поликристаллические, тонкопленочные) зависит от бюджета и условий эксплуатации.

2 Солнечные инверторы преобразуют постоянный ток (DC) от солнечных панелей в переменный ток (AC), используемый бытовой электросетью. Необходим инвертор с соответствующей мощностью, желательно с функцией слежения за максимальной точкой мощности (MPPT).

3 Аккумулятор позволяет накапливать избыточную энергию, производимую солнечными панелями в дневное время, для использования ночью или в пасмурную погоду. Выбор типа и емкости аккумуляторов зависит от потребностей и бюджета. Системы с аккумуляторами обеспечивают большую независимость от внешней электросети.

4 Тепловой насос – это основной элемент системы отопления. Использует электричество, полученное от солнечных панелей, для извлечения тепла из внешней среды (воздуха, земли, воды) и передачи его в систему отопления шведской плиты. Тип теплового насоса (воздух – вода, земля – вода, вода – вода) выбирается в зависимости от условий эксплуатации и доступности ресурсов.

5 Циркуляционный насос обеспечивает циркуляцию теплоносителя (воды с антифризом) в контуре отопления шведской плиты. Необходим насос с соответствующей мощностью и характеристиками для обеспечения эффективного обогрева.

6 Распределительный шкаф собирает и распределяет электричество от солнечных панелей, инвертора и других компонентов системы. Оснащается защитной аппаратурой (автоматами, УЗО).

7 Трубы и фитинги необходимы для прокладки контура отопления шведской плиты. Подбираются в зависимости от типа теплоносителя и требований к системе.

8 Теплоизоляция труб минимизирует потери тепла в контуре отопления.

9 Датчики и контроллеры нужны для мониторинга работы системы, регулировки температуры и автоматического управления.

10 Кабели и проводка необходимы для подключения всех компонентов системы. Необходимо использовать кабели соответствующего сечения и класса изоляции.

11 Заземление обеспечивает безопасность системы.

12 Система мониторинга (опционально) позволяет отслеживать производительность системы, потребление энергии и другие параметры.

Все элементы системы должны быть совместимы друг с другом и подобраны в соответствии с расчетами и требованиями проекта [3–5].

Выводы. В целом, доступность солнечной энергии в Беларуси позволяет использовать ее для различных целей, включая отопление частных домов, хотя и требует более тщательного планирования и выбора оборудования, чем в странах с более высоким уровнем солнечной радиации. Утепленная шведская плита с солнечными батареями имеет существенно меньший углеродный след на протяжении всего жизненного цикла по сравнению с большинством традиционных систем отопления, особенно если учитывать энергию, производимую из ископаемых видов топлива. Однако точный количественный анализ требует учета всех факторов и конкретных данных об используемых материалах и оборудовании. Использование экологически чистых материалов и высокоэффективных солнечных панелей и теплового насоса позволит еще больше снизить углеродный след данной системы.

Список литературы

1 Солнечная энергетика: состояние и перспективы использования в Беларуси // EN-ERGOBELARUS. – URL: https://energobelarus.by/articles/alternativnaya_energetika/solnechnaya_energetika_sostoyanie_i_perspektivy_ee_ispolzovaniya_v_respublike_belarus/?ysclid=m91ftns8i4380867951 (дата обращения: 18.02.2025).

2 Утепленная шведская плита – решение 3 в 1 // Технониколь. – URL: https://gomel.tstn.by/articles/statya_15_uteplennaya_shvedskaya_plita_reshenie_3_v_1/ (дата обращения: 27.02.2025).

3 Подключение солнечных панелей и распространенные схемы // Чистая энергия. – URL: <https://al-energy.ru/blog/post/podklyuchenie-solnechnyh-panelej-i-rasprostrannnyeshemy> (дата обращения: 18.02.2025).

4 Варианты схем подключения солнечных батарей // Энергосоюз. – URL: <https://energo-souz.ru/articles/skhemy-podklyucheniya-solnechnykh-paneley/?ysclid=mfuq1pmdo8568010592> (дата обращения: 20.02.2025).

5 Фотоэлектрические системы резервного электроснабжения для индивидуальных потребителей / В. А. Березняк, В. В. Кувшинов, А. Д. Касницкий [и др.] // Энергетические установки и технологии. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 29–33.

6 **Баклагина, А. С.** Эффективность использования солнечных батарей в Московской области для частного дома, как источник альтернативной энергии / А. С. Баклагина, О. С. Мулькова // Ресурсам области – эффективное использование : материалы XVII Ежегодной науч. конф. студентов Технологического университета, Королёв, 1 нояб. 2017 г., в 2 ч. Ч. 1. – Королёв : Научный консультант, 2017. – С. 385–390.

УДК 628.193

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВЫХ ВОД ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*А. Н. ЛИЦКЕВИЧ, Н. Н. КОСТЮЧЕНКО, Л. А. КУТАЕВА, Л. И. ЧИРУК
Полесский аграрно-экологический институт Национальной
академии наук Беларуси, г. Брест
hydropaei@gmail.com*

Актуальность. Мониторинг грунтовых вод – один из эффективных методов контроля экологического состояния водоносных горизонтов. На участках индивидуальной застройки грунтовые воды широко используются сельскими жителями для хозяйственно-питьевых целей. В то же время на данных участках одновременно представлены две отрасли сельского хозяйства: животноводство и растениеводство с неконтролируемым внесением в почву удобрений. Согласно данным центров гигиены и эпидемиологии более 60 % колодцев на территории Брестской области имеют повышенное содержание нитратов. Это обусловлено использованием интенсивных технологий в сельском хозяйстве, высокой проницаемостью почв и небольшой глубиной залегания грунтовых вод (1,5–5 м) [1].

Цель работы – определение химического состава питьевой воды децентрализованных источников водоснабжения.

Основные результаты. Исследования проводили в д. Седруж, расположенной в юго-восточной части Каменецкого района Брестской области. Почвообразующими породами на исследуемой территории являются водноледниковые и древнеаллювиальные супеси. В структуре почвенного покрова

преобладают дерново-подзолистые почвы на моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемые моренными суглинками или песками, и дерново-подзолистые на песках [2].

На основании данных учетной карточки буровой скважины выполнено литосферное описание геологического разреза, который представлен следующими отложениями: растительный слой (мощность слоя 0,5 м), песок сухой (мощность слоя 0,3 м), песок водоносный (мощность слоя 16 м), суглинок желтый (мощность слоя 3 м), песок мелкозернистый водоносный (мощность слоя 8 м) и глина зеленая (мощность слоя 3 м). В результате оценки водовмещающих пород установлено два водоносных горизонта: от 0,8 до 17 м и от 20 до 28 м.

Питьевую воду для анализа отбирали весной, летом и осенью из шахтных колодцев и мелкотрубных скважин частных домовладений деревни (рисунок 1).



Рисунок 1 – Точки отбора проб питьевой воды

Определение массовых концентраций макроэлементов (соединений азота, фосфатов, хлоридов, сульфатов) выполняли фотометрическим методом по общепринятым методикам [3].

В результате гидрохимического анализа воды децентрализованных источников водоснабжения отмечено, что показатель азота аммонийного не превышал $1,5 \text{ мг/дм}^3$ [4]. Концентрация нитрит-ионов в питьевой воде была около $0,2 \text{ мг/дм}^3$ при предельно допустимой концентрации (ПДК) $3,0 \text{ мг/дм}^3$. В то же время зафиксировано превышение содержания нитрат-ионов в 1,2–5,5 раз, фосфат-ионов в 1,7–13 раз по сравнению с установленными нормативами [4]. Из 24 проб питьевой воды, отобранной за период исследований, в 20 из них обнаружено повышенное содержание нитрат-ионов. Следует отметить, что все пробы воды из мелкотрубных скважин не соответствовали принятой норме (рисунок 2).

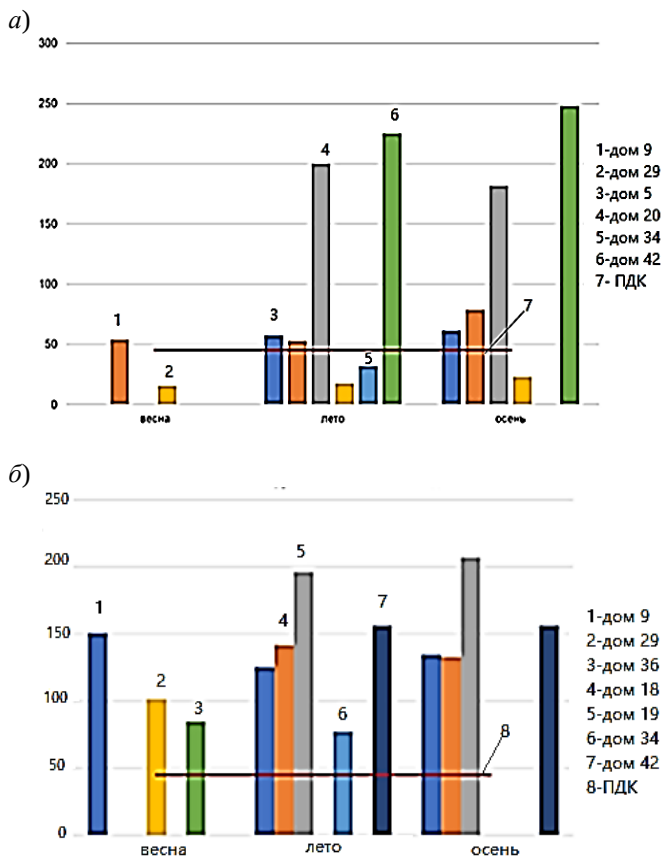


Рисунок 2 – Содержание нитрат-ионов в водах шахтных колодцев (а) и мелкотрубных скважин (б) в течение весенне-осеннего периода

На участках частных домов 9, 29, 34 и 42 д. Седруж оборудованы как шахтные колодцы, так и мелкотрубные скважины, что дает возможность оценить качество воды из различных источников водоснабжения. Так, содержание нитратов в воде скважины дома 9 варьировало на уровне 125,4–150,5 мг/дм³, что в среднем в 2,3 раза выше, чем в колодце, и в 2,8–3,3 раз выше предельно допустимой концентрации [4]. В домах 29 и 34 разница по содержанию нитратов в воде скважин и колодцев составила соответственно 6,6 и 2,4 раза. Однако в домах 20 и 19 концентрация исследуемых соединений в питьевой воде отличалась не столь значительно: 199,8–181,4 мг/дм³ в колодце, 141,9–133,0 мг/дм³ – в скважине.

Уровень воды в колодце дома 42 составил 7 м, а глубина скважины ~15 м, в первом случае концентрация нитрат-ионов оказалась равной 225,2–247,9 мг/дм³, во втором – 148,1–156,0 мг/дм³, в 5–5,5 и 3,3–3,5 раз соответственно превышая допустимый уровень. Установлено, что содержание нитратов в воде мелкотрубных скважин значительно выше данного показателя в воде неглубоких шахтных колодцев (до 6,6 раз). Отмечено, что концентрация нитратов в воде колодцев домов 20 и 42 соответствовала их концентрации в скважинах (см. рисунок 2), что свидетельствует о поступлении воды из единой водовмещающей породы.

Анализ питьевой воды, проведенный в период с января по апрель 2024 г. Каменецким районным центром гигиены и эпидемиологии, показал, что в децентрализованных источниках водоснабжения концентрация нитратов в январе и феврале в 1,4–2,3 и 1,2–1,8 раз соответственно превышала нормативное значение [4]. Наибольшее количество нитратов зафиксировано в воде скважины дома 48, где их концентрация изменялась в пределах 82,6–104,0 мг/дм³, наименьшее в воде колодца дома 2 – 53,5–69,6 мг/дм³.

Что касается количества фосфатов в питьевой воде, то их повышенное содержание выявлено в 11 из 24 проб. Концентрация данных соединений, в отличие от нитратов, преобладала в воде шахтных колодцев (рисунок 3).

Весной в воде шахтных колодцев домов 9 и 29 содержание фосфатов зарегистрировано на уровне 37,6 и 45,4 мг/дм³, что в 89,5 и 22 раза соответственно больше по сравнению со скважинами и в 10,7 и 13,0 раз выше ПДК. Летом в домах 20 и 19 содержание фосфат-ионов в воде, отобранной из колодца и скважины, отличалось в 17,2 раза.

Хлориды в питьевой воде находились в пределах допустимой концентрации. Максимальное их содержание составило 188–196 мг/дм³ (дом 9) при ПДК 350 мг/дм³. В скважинах их концентрация была в 2,4 раза (дом 29), 2,7 раз (дом 19), 20,6 раз (дом 9) выше, чем в колодцах.

Сульфаты соответствовали установленной норме – не более 500 мг/дм³. В воде мелкотрубных скважин их количество оказалось в среднем в 4,3 (дом 9); 1,3 (дом 20); 2,6 (дом 29) раз выше, чем в шахтных колодцах.

Выводы. Таким образом, в питьевой воде децентрализованных источников водоснабжения д. Седруж в 20 пробах из 24 зафиксировано превышение содержания нитрат-ионов: в 1,2–1,7 раз в колодцах и в 1,9–4,6 раз в скважинах. По содержанию нитратов вода колодцев домов 20 и 42 соответствует качеству воды мелкотрубных скважин, что свидетельствует о поступлении воды из одного водоносного горизонта. В 11 пробах воды из колодцев отмечено превышение фосфат-ионов в 1,7–13 раз.

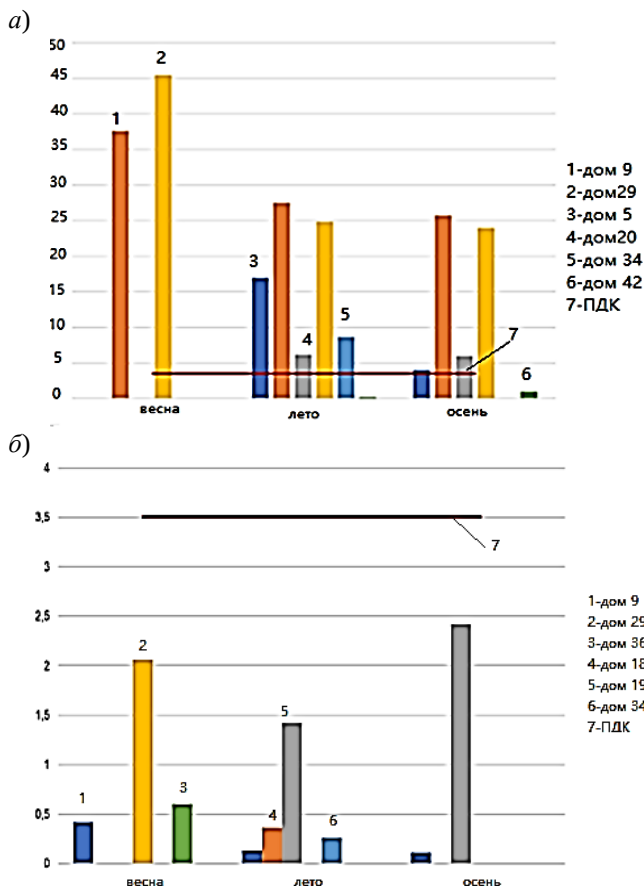


Рисунок 3 – Содержание фосфат-ионов в водах шахтных колодцев (а) и мелкотрубных скважин (б) в течение весенне-осеннего периода

Качество воды в шахтных колодцах зависит от способа их эксплуатации, технического состояния и месторасположения. Поэтому важнейшим вопросом водоснабжения сельских жителей является реконструкция данных сооружений [5]. Для улучшения химического состава питьевой воды населению рекомендуется применять способы индивидуальной очистки с использованием систем обратного осмоса или ионного обмена.

Список литературы

1 Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Издательский центр БГУ, 2002. – 436 с.

2 Нацыянальны атлас Беларусі [Карты] / складзены і падрыхтаваны да друку Рэспубліканскім унітарным прадпрыемствам «Белкартаграфія» ў 2000–2002 гг. ; галоўная рэдкалегія: М. У. Мясніковіч (старшыня) [і інш.]. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.

3 Belarusian state centre for accreditation : [сайт]. – URL: <https://bsca.by/en/registry-testlab/view?id=6979> (дата обращения: 28.02.2025).

4 Гигиенический норматив. Показатели безопасности питьевой воды. – Введ. 25.04.2021. – Минск : Совет Министров РБ, 2021. – 1255 с.

5 **Майорчик, А. П.** Децентрализованное водоснабжение сельских жителей / А. П. Майорчик, А. И. Митрахович // Мелиорация. – 2017. – № 3 (81). – С. 42–47.

УДК 57.014

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ И ПЛАНИРОВАНИЮ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ

А. Б. НЕВЗОРОВА

Гомельский государственный технический университет

им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

anevzorova@gstu.by

Актуальность. Производственные сточные воды, образующиеся при извлечении воды из подземных резервуаров во время добычи нефти или газа и содержащие нефтепродукты в количестве до 6 %, в настоящее время в основном очищаются с помощью традиционных установок, содержащих адсорбенты, мембранные фильтры, фазовые сепараторы и напорные открытые гидроциклоны [1, 2]. В состав сточных вод входят тонкоэмульгированная нефть; механические примеси; остаточное количество химических реагентов, используемых при добыче и транспортировке нефти. Пластовые воды месторождения могут содержать ионы натрия, хлора, сульфаты, хлориды, карбонаты и гидрокарбонаты кальция, магния, железа. Поэтому эффективность очистки от производственных отходов, энергозатраты, использование химических веществ и влияние очистки на загрязняющие вещества во многом зависят от применения технологической схемы очистки [3].

Цель работы – рассмотреть характеристики производственных сточных вод на нефтяных месторождениях и привести оценку различных технологий, направленных на повышение качества управления и планирования очистки пластовой воды.

Результаты анализа. Пластовые воды в основном подразделяются на две группы: хлоркальциевые (жесткие), содержащие значительное количество хлоридов кальция и натрия при степени минерализации воды 60–200 г/л и ее плотности до 1,2 г/см³, и щелочные, содержащие карбонаты, хлориды и сульфаты натрия при небольшом количестве солей кальция, степени минерализации воды 5–50 г/л и ее плотности менее 1,07 г/см³. Пластовые воды в

широких пределах содержат нефть (усредненно 3000–5000 мг/л), находящуюся в плавающем, эмульгированном и растворенном состоянии, твердые механические примеси в виде песчаных и глинистых частиц, а в отдельных случаях также сероводород (до 600 мг/л при добыче сернистой нефти), парафин до 3000 мг/л, железо, бром до 500 мг/л, йод до 50 мг/л, нафтеновые кислоты [4].

Рассмотрим некоторые варианты для управления добытой пластовой воды.

1 *Использование полимерных гелей*, блокирующих проникновение воды в трещины или разломы, или скважинных водоотделителей, которые отделяют воду от нефтяных или газовых потоков в скважине и повторно закачивают ее в подходящие пласты. Этот вариант исключает попадание сточных вод и является одним из наиболее оптимальных решений, но не всегда возможен.

2 *Закачка пластовой воды* в тот же пласт или в другой подходящий пласт; включает транспортировку добываемой воды от места добычи к месту закачки. Может потребоваться обработка закачиваемой воды для уменьшения количества загрязняющих веществ, солеотложений и бактерий. В этом случае, когда образуются сточные воды, отходы возвращаются под землю.

3 *Сброс пластовой воды* – операция, которая применяется для повышения производительности установок подготовки нефти и снижения затрат на нагрев эмульсии.

4 *Повторное использование при добыче нефти и газа* – очистка пластовой воды для обеспечения требуемого качества при бурении, интенсификации и капитальном ремонте скважин.

5 В некоторых случаях требуется *значительная очистка добываемой воды* для обеспечения качества, необходимого для сельскохозяйственного, производственного использования или в общественных системах водоснабжения.

Основные результаты по планированию очистки пластовой воды. Основными задачами, стоящими перед операторами при планировании очистки пластовой воды, являются:

- обезжиривание – удаление свободных и дисперсных масел и смазок, присутствующих в пластовой воде;
- удаление растворимых органических веществ;
- дезинфекция – удаление бактерий, микроорганизмов, водорослей и т. д.;
- удаление взвешенных веществ, песка, мути и т. д.;
- удаление растворенных газов (легких углеводородных газов, углекислого газа, сероводорода и т. д.);
- опреснение или деминерализация – удаление растворенных солей, сульфатов, нитратов, загрязняющих веществ, солеотложителей и т. д.;
- умягчение – устранение избыточной жесткости воды;
- регулирование коэффициента адсорбции натрия (SAR) – добавление ионов кальция или магния в подготовленную воду для регулирования уровня содержания натрия перед орошением;

– разное – удаление радиоактивных материалов природного происхождения (*NORM*).

Выбор системы очистки добываемой воды часто является сложной задачей, которая определяется общей целью очистки. Общий план заключается в выборе наиболее дешевого метода – предпочтительно мобильных установок для очистки, которые обеспечивают достижение целевых показателей и критерия производительности. Таким образом, технологическое оборудование должно быть максимально удобно размещено в полевых условиях и быть точно настроено для удовлетворения конкретных конечных потребностей в воде определенного качества.

Преимущества, недостатки и область применения. Технологии обработки производственных сточных вод в рамках каждой задачи для того или иного месторождения имеют свои преимущества и недостатки с точки зрения их результирующего потока отходов и применения на нефтяных и газовых месторождениях. Преимущества и недостатки описываются в сравнительных терминах, а не в абсолютных цифрах, которые могут изменяться; задача состоит в том, чтобы сравнить технологические возможности для достижения данной цели. Долговечность и стоимость являются важными факторами, которые зависят от конкретных условий на объекте и конкретной коммерческой версии, выбранной оператором. В рамках каждой задачи можно провести сравнение долговечности, но это только обобщения. Связывать эти технологии с экономическими факторами затруднительно, поскольку затраты будут варьироваться в зависимости от местоположения и могут зависеть от коммерческих конфигураций и инноваций. Сточные воды являются специфическими для каждой технологии, например опреснение воды может привести к остатку, составляющему 20 % от входного потока, или остатку, составляющему 1 % от входного потока. 1%-й остаток будет представлять собой более концентрированный рассол, чем 20%-й остаток, однако оба они больше не могут классифицироваться как нефтегазовые отходы.

Выводы. Таким образом, полное и оптимальное использование существующего технологического оборудования и повышение качества подготовки и очистки производственных сточных пластовых вод будет способствовать упрощению эксплуатации и улучшению требований защиты окружающей среды.

Список литературы

1 Куликова, О. А. Принципиальные подходы к комплексной очистке пластовых вод / О. А. Куликова, Е. А. Мазлова, Д. И. Брадик // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 10. – С. 28–33.

2 Господарёв, Д. А. Скрининговые исследования по разработке и оценке эффективности технологии ПАВ-полимерного заводнения на моделях пласта / Д. А. Господарёв, И. В. Лымарь, А. Г. Ракутько // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 6. – С. 77–87.

3 Невзорова, А. Б. Накопление отходов производства и их влияние на состояние подземных вод в Республике Беларусь / А. Б. Невзорова, О. В. Шершнёв // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2024. – № 2 (283). – С. 194–200.

4 Мещурова, Т. А. К вопросу о пластовой и подтоварной воде / Т. А. Мещурова, М. Б. Ходяшев // Экология урбанизированных территорий. – 2018. – № 4. – С. 68–73.

УДК 628.2

ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ РФ ТРЕБУЕМЫХ ПДК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

П. Г. ПОПОВ

*ООО «КТБ РОДНИК», г. Новосибирск, Российская Федерация
pgp@dtbspring.com*

При проведении аналитического обзора современной нормативной документации Российской Федерации в части нормирования показателей сточных вод определимся с основными документами, регулирующими экологическую деятельность в общем и данную сферу применения. Экологическая деятельность в РФ регулируется ФЗ-№ 174 [10], по охране окружающей среды ФЗ-№ 7 [3], по особо охраняемым природным территориям ФЗ-№ 33 [1], по водоснабжению и водоотведению ФЗ-№ 416 [4], по обращению с отходами производства и потребления ФЗ-№ 89 [2].

Документы со статусом «Постановления Правительства РФ» устанавливают правила осуществления контроля состава и свойств сточных вод, правила холодного водоснабжения и водоотведения, порядок отнесения объектов к определенным категориям и предупреждают о внесении изменений и признании утративших силу некоторых актов Правительства РФ.

Постановление Правительства РФ № 644 [9] является определяющим для определения показателей сброса сточных вод и предельно допустимых концентраций в городские коммунальные системы.

Постановление Правительства РФ № 206 [6] определяет порядок классификации водных объектов, которые имеют значение для отрасли рыбного хозяйства. Сфера применения данного постановления охватывает следующие аспекты:

1 Классификация водных объектов: Постановление устанавливает критерии, по которым водные объекты (реки, озера, водохранилища и т. д.) могут быть отнесены к рыбохозяйственным. Это важно для управления рыбными ресурсами и охраны экосистем.

2 Определение категорий водных объектов: на основе установленных критериев водные объекты делятся на категории, что позволяет определить

уровень их рыбохозяйственного значения и установить соответствующие меры по их охране и использованию.

3 Управление рыбными ресурсами: документ направлен на обеспечение устойчивого использования рыбных ресурсов, что включает в себя регулирование рыболовства, охрану мест обитания рыб и восстановление популяций.

4 Экологические требования: документ также устанавливает требования к соблюдению экологических норм, что важно для предотвращения загрязнения водоемов и обеспечения здоровья экосистем.

5 Мониторинг и контроль: постановление подразумевает необходимость мониторинга состояния водных объектов, что позволяет своевременно выявлять и устранять проблемы, связанные с состоянием рыбных ресурсов и экосистем.

Постановление Правительства РФ № 1379 [8] определяет порядок классификации водных объектов по параметрам их состояния и назначения. Сфера применения данного постановления охватывает следующие аспекты:

1 Классификация водных объектов: Постановление устанавливает критерии, по которым водные объекты могут быть отнесены к различным категориям. Это важно для определения уровня очистки сточных вод, необходимого для защиты экосистем и здоровья населения.

2 Установление технологических показателей: на основе классификации водных объектов определяются технологические показатели наилучших доступных технологий (НДТ) для очистки сточных вод. Это позволяет обеспечить эффективное использование технологий, которые минимизируют негативное воздействие на окружающую среду.

3 Централизованные системы водоотведения: постановление касается систем водоотведения, которые используются в населенных пунктах и городских округах. Это включает в себя как проектирование, так и эксплуатацию очистных сооружений, которые должны соответствовать установленным стандартам.

4 Экологические и санитарные нормы: документ нацелен на соблюдение экологических и санитарных норм, что в свою очередь способствует улучшению качества водоемов и охране окружающей среды.

5 Мониторинг и контроль: постановление также подразумевает необходимость мониторинга состояния водных объектов и контроля за выполнением установленных требований, что позволяет своевременно выявлять и устранять проблемы, связанные с загрязнением.

Нормативные документы со статусом «Приказы» стандартизируют качество воды водных объектов рыбохозяйственного назначения, в том числе предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, а также устанавливают правила и требования для обследования городских и поселковых систем водоотведения. Особое значение при определении нормативных показате-

лей для очистных сооружений имеет Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 552 [5], устанавливающий нормативы предельно допустимых концентраций для сброса сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения. Нормативные показатели, установленные в этом приказе [5], являются базовыми показателями для оценки допустимости и объема возможного или нанесенного ущерба водоемам рыбохозяйственного значения. Необходимо отметить, что предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, указанные в данном приказе [5], являются одними из самых низких в мире. Необходимость соблюдения данных ПДК требует от эксплуатирующих очистные сооружения организаций применения современных технологий и оборудования водоочистки, способных обеспечивать показатели, например, применения мембранных методов мембранного биореактора [11].

К нормативно-правовым документам относятся также методические указания [13], устанавливающие требования к организации и осуществлению санитарно-эпидемиологического надзора за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий. Приведенные методические указания [13] предназначены для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы, осуществляющих государственный санитарно-эпидемиологический и ведомственный надзор за качеством подготовки и использования воды для указанных целей, а также могут использоваться организациями (независимо от подчиненности и форм собственности), деятельность которых связана с проектированием и эксплуатацией систем технического водоснабжения промышленных предприятий (кроме пищевых и приравненных к ним предприятий).

Вывод. По результатам анализа нормативных правовых документов, необходимых при определении требуемых законодательством показателей очистки сточных вод, можно отметить, что в Российской Федерации установлены одни из самых строгих норм по предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ, которые необходимо соблюдать в процессе сброса очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного назначения. Этот аспект требует постоянного мониторинга работы очистных сооружений, периодического технологического аудита и внедрения современных технологий для достижения необходимых результатов. Данной статьей подчеркивается важность наличия качественной и актуальной нормативной базы для эффективной очистки сточных вод в Российской Федерации. Возможно необходимо дальнейшее совершенствование нормативной базы с учетом экономических вызовов, стоящих перед страной и поиска баланса между экологическими требованиями и промышленным производством. Соблюдение установленных законодательством нормативов в сфере водоочистки позволяет защитить водные ресурсы, обеспечивая соответствие стандартам и требованиям охраны окружающей среды.

Список литературы

1 Об особо охраняемых природных территориях : Федеральный закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

2 Об отходах производства и потребления : Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

3 Об охране окружающей среды : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

4 О водоснабжении и водоотведении : Федеральный закон от 07.12.2011 № 416-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

5 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ М-ва сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 : с изм. и доп. от 12.10.2018, 10.03.2020, 22.08.2023, 13.06.2023 // КонтурНорматив. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477262> (дата обращения: 12.12.2024).

6 Об утверждении Положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями и дополнениями) : постановление Правительства РФ от 28 февраля 2019 г. № 206 // Информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/72190046/> (дата обращения: 12.12.2024).

7 Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации. Общая часть : постановление от 22 мая 2020 г. № 728 // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

8 Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : постановление Правительства РФ от 26 окт. 2019 г. № 1379 // Информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72845200/> (дата обращения: 12.12.2024).

9 Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации. Общая часть : постановление от 29 июля 2013 г. № 644 : в ред. от 28 нояб. 2023 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

10 Об экологической экспертизе : Федеральный закон от 23 нояб. 1995 г. № 174-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 12.12.2024).

11 Патент 2644904. Российская Федерация. Способ биологической очистки сточных вод от азотно-фосфорных и органических соединений : заявл. 14.03.2017 : опубл. 14.02.2018 / Попов П. Г., Марков Н. Б. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2644904C1/ru> (дата обращения: 12.12.2024).

12 Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий : методические указания МУ 2.1.5.1183-03. – URL: <https://base.garant.ru/4179170/> (дата обращения: 12.12.2024).

13 СП 272.1325800.2016. Системы водоотведения городские и поселковые. Свод Правил. Правила обследования. – Введ. 06.04.2017. – URL: <https://gostassistant.ru/doc/432f-8d36-6adfea0b847e> (дата обращения: 12.12.2024).

УДК 628.196

СОДЕРЖАНИЕ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
d.propolsky@gmail.com*

Актуальность. Жизнедеятельность человека во многом зависит от качества питьевого водоснабжения. Наиболее подходящим для этих целей источником являются подземные воды. Это обусловлено их микробиологической безопасностью и устойчивостью состава. Каждый такой источник характеризуется своим гидрогеохимическим составом, а также разновидностями и концентрациями загрязнений. Для подземных вод Беларуси характерно повышенное содержание соединений Fe и Mn. При их превышении возникает ряд проблем: ухудшение здоровья человека, зарастание водопроводных сетей систем водоснабжения и т. д.

Получение воды питьевого качества достигается при соблюдении требований нормативной документации. Для Республики Беларусь таким документом является Постановление Совета Министров № 37. Предельно-допустимая концентрация (ПДК) по железу общему и марганцу в питьевой воде составляет 0,31 мг/дм³ и 0,01 мг/дм³ соответственно. Для достижения такого уровня водоподготовки необходимы строительство и модернизация большего числа станций обезжелезивания с использованием эффективных методов удаления железа и марганца.

Цель работы – описать существующее состояние подземных вод Беларуси по содержанию железа и марганца, представить перечень имеющихся проблем и выполняемых мер по улучшению систем водоснабжения, а также рассмотреть перспективные направления обезжелезивания и деманганации.

Основные результаты. Основными факторами повышенного содержания соединений железа и марганца в подземных водах являются:

– состояние водовмещающих пород и почв: при высоком содержании в них железа и марганца возможно обогащение подземных вод данными компонентами в результате процессов выщелачивания и эрозии. Также определенные сложности вызывает наличие железных руд на территории

погребенных и наземных торфяников (болотистая местность Полесья). В результате такого контакта происходит обогащение подземных вод гуминовыми соединениями и образование железоорганических комплексов;

– воздействие промышленности и сельскохозяйственной деятельности: сброс в окружающую среду сточных вод с повышенным содержанием железа и марганца.

Исследование и мониторинг гидрохимических показателей подземных вод Республики Беларусь осуществляется через ряд наблюдательных скважин. По данным отчетов Национальной системы мониторинга окружающей среды 2021 и 2023 годов кратность превышения ПДК по железу общему в подземных водах республики составила 1,26–43,2 и 2,5–168 соответственно. Таким образом, существует ярко выраженная тенденция к увеличению содержания соединений железа по всей территории страны.

Содержание соединений Mn в водоносных горизонтах согласно данным мониторинга находилось в пределах допустимых норм. В то же время данные Государственного водного кадастра за 2023 год свидетельствуют об 1,04–55-кратном превышении ПДК по всей территории Беларуси. Это может быть связано с тем, что данные мониторинга учитывают только наблюдательные скважины, а данные кадастра – как наблюдательные, так и эксплуатационные.

Следует учитывать, что соединения Fe и Mn в подземных водах существуют преимущественно в паре. При этом соотношение концентраций Mn/Fe может составлять от 1 : 20 до 1 : 60 в зависимости от поступления нитратов в неглубокие водоносные горизонты.

Решение существующих проблем водоподготовки осуществляется в результате реализации подпрограммы «Чистая вода» в рамках Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда». Так, согласно отчетам выполнения программы в период 2016–2020-х годов и имеющимся в наличии отчетам за период 2021–2025-х годов в Беларуси построено и введено в действие 1198 станций обезжелезивания. Также до конца 2025 года планируется строительство 312 новых станций. Следует отметить, что в данный список не внесены существовавшие до 2016 года станции обезжелезивания. Таким образом, их общее число может быть значительно выше. Тем не менее водопотребление с повышенной концентрацией Fe и Mn остается актуальной проблемой. В особенности это касается жителей малых населенных пунктов без подключения к централизованной системе водоснабжения. При эксплуатации локальных установок удаления железа и марганца необходимо обеспечение контроля со стороны квалифицированного персонала. В результате данные специалисты должны осуществлять мониторинг большого числа установок и решать возникающие проблемы ухудшения эксплуатационных характеристик.

Среди традиционных методов обезжелезивания и деманганации наиболее распространенным в Республике Беларусь является аэрация

с последующим фильтрованием через инертные материалы. Для увеличения эффективности работы таких фильтров рекомендуется использование нескольких слоев материала (каталитического и задерживающего). Между тем на практике часто используются однослойные фильтры из материалов низкого качества и не соответствующих требованиям стандартов. Все это также снижает качество водоподготовки. Перспективным решением имеющихся проблем водоподготовки является использование полифункциональных модифицированных фильтрующих материалов [1–5]. Синтез таких материалов может осуществляться на дешевых исходных загрузках или переработанных отходах. Также важным достоинством является возможность придания материалу сразу нескольких требуемых характеристик.

Выводы. Удаление соединений Fe и Mn является прогнозируемой и актуальной задачей водоподготовки ряда стран, а также и Республики Беларусь. Данную тенденцию доказывают существующие отчеты государственных программ и кадастров водных ресурсов. Для обеспечения большего числа населения страны водой питьевого качества требуется:

- строительство новых станций обезжелезивания с охватом малых населенных пунктов;
- подключение и дальнейшее развитие систем централизованного водоснабжения по всей территории страны;
- разработка, исследование и внедрение полифункциональных модифицированных материалов на новых и действующих станциях обезжелезивания.

Данные меры позволят улучшить благосостояние населения страны и обеспечить жителей питьевой водой требуемого качества.

Список литературы

1 Клебеко, П. А. Очистка подземных вод от железа модифицированными антрацитами / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Серыя хім. навук. – 2017. – № 3. – С. 104–109.

2 Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты – эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 7. – С. 24–29.

3 Пропольский, Д. Э. Модифицированный активированный уголь для обезжелезивания подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 47–50.

4 Prapolski, D. Recent advances in underground water deironing and demanganization: Comprehensive review / D. Prapolski, V. Romanovski // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Vol. 70. – P. 107089.

5 Пропольский, Д. Э. Эффективность обезжелезивания подземных вод с использованием модифицированных каталитических материалов / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Технология-2019 : матеріали XXII Міжнар. наук.-техн. конф.,

УДК 54.061:54.064

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ Pu-238,239+240 НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ РАДИОХИМИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

З. В. СТРЕЛЯЕВА, К. С. ДРОЗД, А. В. БАРДЮКОВА

*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии
Национальной академии наук Республики Беларусь», г. Гомель
zoyalozovaya@yandex.by*

Актуальность. Получение объективной информации о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды во многом зависит от методов и методик, применяемых для их количественной оценки. Наличие разнообразных методик с использованием современных аналитических методов и измерительного оборудования для различных объектов исследования является необходимостью и позволяет в зависимости от поставленных целей и возможностей отдать предпочтение той или иной методике, сопоставить результаты испытаний, полученные с использованием альтернативных методик.

Загрязнение почвы изотопами плутония-238,239+240 с плотностью более 0,37 кБк/м² охватывает около 4,0 тыс. км², или почти 2 % площади республики. Эти территории преимущественно находятся в Гомельской области (Брагинский, Наровлянский, Хойникский, Речицкий, Добрушский и Лоевский районы) и Чериковском районе Могилевской области. Загрязнение изотопами плутония с высокой плотностью характерно для 30 км зоны ЧАЭС. Наиболее высокие уровни наблюдаются в Хойникском районе – более 111 кБк/м².

Ежегодно в рамках мониторинговых и научно-исследовательских работ проводятся испытания удельной активности Pu-238,239+240 в объектах окружающей среды, заявленные в области аккредитации лаборатории.

Цель работы – разработка нового метода определения удельной активности Pu-238 и Pu-239+240 в почве радиохимическим методом с использованием ионообменного материала и с альфа-спектрометрической идентификацией. Новая методика выполнения измерений позволит установить условия, порядок и последовательность выполнения операций при определении низких уровней активности изотопов плутония (Pu-238 и Pu-239+240) в почвах и растениях с учетом особенностей алгоритма радиохимической подготовки для различного состава почвенной матрицы.

Основные результаты. Научная новизна разрабатываемой методики определения удельной активности Pu-238,239+240 состоит в применении на различных стадиях радиохимического разделения и очистки образцов почвенной и растительной матриц для повышения химического выхода трассера ионообменной смолы Anion Exchange Resin и экстракционно-хроматографических смол торговых марок *TRU-resin*, *TEVA-resin* фирмы *Eichrom Technologies*, США.

Практическая значимость работы состоит в том, что разрабатываемая методика после процедуры метрологической экспертизы может быть применена в радиационном контроле и мониторинге, так как в настоящее время в Республике Беларусь отсутствуют аттестованные методики определения удельной активности ТУЭ с применением высокоселективных ионообменных и экстракционно-хроматографических материалов в сочетании с электроосаждением для объектов окружающей среды с низкой удельной активностью. Научно-методическое сопровождение должно осуществляться с применением последней действующей редакции метода, за исключением случаев, когда его применение является нецелесообразным или невозможным. При необходимости для применения метода должны быть разработаны дополнительные уточнения, чтобы обеспечить его непротиворечивое применение. Новая методика выполнения измерений позволит установить условия, порядок и последовательность выполнения операций при определении низких уровней активности изотопов плутония (Pu-238 и Pu-239+240) в почвах и растениях с учетом особенностей алгоритма радиохимической подготовки.

При определении плутония-238,239+240 в объектах окружающей среды необходимо учитывать многообразие вариантов исследуемых образцов (почва, растения и др.), сложность химического состава, низкую концентрацию радионуклидов в большинстве исследуемых объектов, наличие альфа-излучающих нуклидов других элементов.

Основой для усовершенствования методического обеспечения определения трансурановых элементов в объектах окружающей среды являются разработанные ранее сотрудниками Института радиобиологии и аттестованные Госстандартом Республики Беларусь МВИ. МН 3059-2008 «Методика альфа-спектрометрического определения удельной активности изотопов плутония (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$) в почвах и растениях с получением счетного образца методом электролитического осаждения» [1]; МВИ. МН 3621-2010 «Методика альфа-спектрометрического определения америция-241 в почвах и растениях с предварительной радиохимической пробоподготовкой и получением счетного образца электроосаждением» [2].

Важным этапом методики определения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, влияющим на достоверность полученных результатов, является предварительная подготовка

исследуемых проб, в первую очередь, удаление органических веществ, так как они мешают выполнению радиохимического анализа и снижают полноту выделения данных радионуклидов, а в ряде случаев могут сделать невозможным осуществление дальнейшего анализа. Для объектов окружающей среды с малой концентрацией радионуклидов предварительная подготовка выполняет роль эффективной стадии концентрирования. Для апробации экстракционно-хроматографических смол были выбраны объекты окружающей среды, имеющие специфические особенности при концентрировании, очистке, выделении, – почва, растения. Предварительная подготовка проб (минерализация, озоление, концентрирование и др.) была проведена в три этапа: высушивание, предозоление, озоление для полного разложения органического вещества в соответствии с «Инструктивно-методическими указаниями по радиохимическим методам определения радиоактивности в объектах ветнадзора» 1984 года [4].

Оптимальное время измерения, необходимое для достижения требуемой МДА, по данным предыдущих исследований составляет 4–5 суток. Масса (объем) образца для анализа устанавливается экспериментально для повышения чувствительности альфа-спектрометрического метода с сохранением оптимального химического выхода.

Во многих радиохимических методиках радиохимическое разделение ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ основано на методе ионообменной хроматографии – разделении катионов и анионов в результате ионообменных реакций, характерных для каждого типа ионов. Ионообменными материалами служат высокомолекулярные соединения, молекулы которых содержат ионогенные группы, способные к диссоциации и обмену подвижных ионов на ионы других соединений в растворе.

Тематический обзор методической и научной литературы для выбора наиболее оптимальных методов радиохимической пробоподготовки и условий проведения электролиза показал, что экстракционные методы выделения и разделения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ наряду с ионообменными широко распространены как в аналитической химии этих элементов, так и в технологии их производства [5]. Используя разнообразные экстракционные системы, можно осуществить практически все стадии выделения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ из образца.

Выводы. Метод экстракционной хроматографии сочетает в себе селективность экстракционного метода (жидкость – жидкостной экстракции) и технику колоночной хроматографии – применение экстракционно-хроматографических смол в специальных колонках [11, 12]. Принципиальная схема экстракционно-хроматографической смолы включает три основных компонента (рисунок 1):

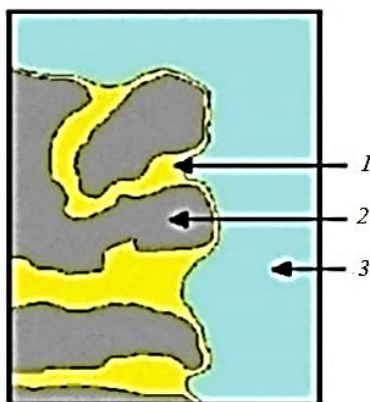


Рисунок 1 – Схема поверхности гранулы экстракционно-хроматографической смолы:
1 – инертный носитель; 2 – закрепленная фаза; 3 – подвижная фаза

В решении задачи по снижению МДА определения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ были использованы смолы торговых марок TRU и TEVA, широко применяемые в зарубежной аналитической практике [3]. Для удобства применения смолы упакованы в пластиковые колонки (рисунок 2).

Основными характеристиками экстракционно-хроматографических смол являются химический состав компонентов закрепленной фазы, свободный колоночный объем – объем, занимающий промежуточное, незанятое материалом пространством хроматографической колонки и служащий мерой количества мобильной фазы, прошедшей через колонку относительно ее размеров, рабочая емкость и другие.



TRU-Spec Resin



TEVA-Spec Resin

Рисунок 2 – Внешний вид экстракционно-хроматографических колонок
(объем смолы 2 мл)

Список литературы

1 МВИ.МН 3059-2008. Методика альфа-спектрометрического определения удельной активности изотопов плутония (Pu-238, Pu-239,240) в почвах и растениях с получением счетного образца методом электролитического осаждения. – Утв. 16.12.2008 г. / РНИУП «Институт радиологии», Комитет по стандартизации Республики Беларусь. – 2008.

2 МВИ.МН 3621-2010. Методика альфа-спектрометрического определения ^{241}Am в почвах и растениях с предварительной радиохимической пробоподготовкой и получением счетного образца электроосаждением. – Утв. 25.10.2010 РНИУП «Институт радиологии», РУП Белорусский государственный институт метрологии. – 2010.

3 IAEA-TECDOC-1092/R. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. – МАГАТЭ, 2002.

4 Инструктивно-методические указания по радиохимическим методам определения радиоактивности в объектах ветнадзора. – М., 1984. – 47 с.

5 Аналитическая химия плутония : монография / М. С. Милокова, Н. И. Гусев, И. Г. Сентюрин, И. С. Складенко. – М. : Наука, 1965. – 458 с.

УДК 504.4

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА НА БИОЦЕНОЗ АКТИВНОГО ИЛА

Л. Н. СТУДЕНИКИНА, А. А. САВИНА, Т. Р. ПОВАЛЯЕВА, А. А. МЕЛЬНИКОВ

Воронежский государственный университет инженерных технологий,

Российская Федерация

lubov-churkina@yandex.ru

Актуальность. Водорастворимая упаковка становится все более популярной не только при получении капсулированных моющих средств, но и в других отраслях, включая пищевую промышленность, здравоохранение, сельское хозяйство и т. д. [1]. Основным полимер для получения водорастворимой упаковки – это поливиниловый спирт (ПВС), который в зависимости от содержания остаточных винилацетатных групп может растворяться в воде при различной температуре [2]. В настоящее время недостаточно изучен вопрос влияния ПВС на биоценоз активного ила очистных сооружений, в которых водорастворимая упаковка обычно заканчивает свой жизненный цикл.

Известно, что ПВС является неионным нейтральным флокулянт и может применяться при очистке сточных вод от взвешенных веществ. Принцип действия неионных флокулянтов, относящихся к нейтральному классу, состоит в

образовании водородных связей между молекулами полимера и поверхностью взвешенных частиц загрязнений [3]. Введение флокулянтов в активный ил (АИ) оправданно для улучшения его седиментационных свойств, снижения выноса биомассы, улучшения осаждения во вторичных отстойниках [4].

Цель работы – оценка влияния низкогидролизованного поливинилового спирта на показатели неадаптированного активного ила очистных сооружений.

Объектом исследования был выбран ПВС марки 17–88. Готовили 5 % раствор ПВС по стандартной методике, далее вносили определенное количество ПВС в водно-иловую смесь (ВИС) в условиях лабораторных аэротенков (0,1 и 0,05 мас. %, так как предварительные испытания показали, что введение ПВС в ВИС в количестве более 0,15 мас. % сопровождается сильным пенообразованием при аэрации).

Изучали 4 системы: система № 1 – ВИС без ПВС (контроль), система № 2 – Вода + ПВС 0,1 мас. %, система № 3 – ВИС + ПВС 0,1 мас. %, система № 4 – ВИС + ПВС 0,05 мас. %.

Для проведения эксперимента использовали биоценоз активного ила городских очистных сооружений г. Воронежа, для чего отбирали ВИС из колодцев вторичных отстойников. Длительность проведения эксперимента составляла 7 суток.

Для оценки влияния ПВС на биоценоз АИ определяли в динамике гидрохимические (ГХ) и гидробиологические (ГБ) показатели по методикам, изложенным в ПНДФ СБ 14.1.77-96, ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398. Исследование видового разнообразия биоценоза АИ проводили с помощью оптического цифрового микроскопа Livenhuk G670T и Атласа микроорганизмов аэротенков. Количественное определение концентрации ПВС в исследуемых системах проводили по показателю ХПК титриметрическим методом по ПНДФ 14.1.2:3.100-97 в присутствии избытка бихромата калия в растворе серной кислоты.

Основные результаты. На рисунке 1 представлена динамика изменения гидрохимических показателей (ГХП) АИ в исследуемых системах.

Из рисунка 1 видно, что введение ПВС в ВИС оказывает положительное влияние на седиментацию ила, очевидно, выступая в качестве флокулянта. В системах № 3 и 4 доза ила по объему снижалась на 10 % через 1 сутки воздействия ПВС и на 30–40 % через 3 суток воздействия ПВС. Для контрольной системы № 1, не содержащей ПВС, доза ила по объему увеличивалась в течение всего эксперимента (что связано с постепенным вспуханием ила). При этом доза ила по массе в системе № 3 превышала на 20–30 % дозу по массе ила в системе № 4, вероятно, это связано с сорбцией ПВС матриксом ила.

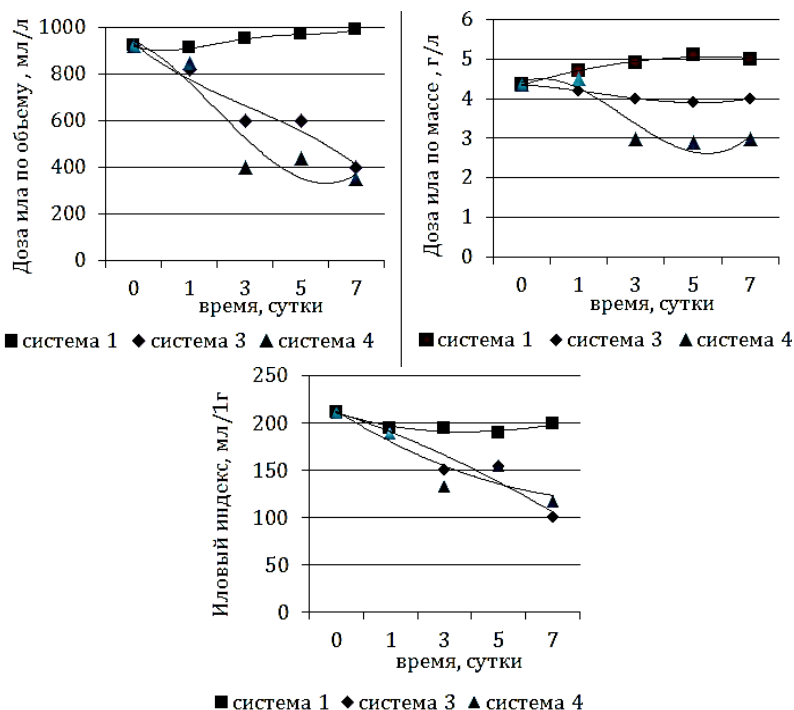


Рисунок 1 – Динамика изменения ГХП активного ила в исследуемых системах

В системах № 3 и 4 на 5-е сутки эксперимента значительно увеличилось количество раковинных бентосных амёб, что свидетельствует о повышении нагрузок по загрязняющей органике, так как при этом увеличивается количество флокообразующих бактерий и концентрация питательного органического субстрата. Также наблюдали достаточное количество жизнеспособных колостраток и брюхоночных червей. В системе № 1 наблюдали гибель большинства микроорганизмов ила уже на 3-и сутки.

Что касается динамики изменения показателя ХПК в исследуемых системах, было установлено его снижение через 1 сутки эксперимента на 30 и 20 % соответственно для систем № 3 и 4 с последующим повышением на 3-и и 5-е сутки и снижением на 7-е сутки. Предположительно, значительное снижение ХПК в 1-е сутки обосновано сорбцией ПВС на внеклеточном матриксе свежего ила, но затем происходит эмиссия повышающих ХПК веществ (десорбция). Далее постепенное их химическое и биологическое окисление приводит к снижению ХПК на 7-е сутки. Незначительное снижение ХПК в системе № 2 (около 10–15 %), содержащей ПВС без АИ, вероятно связано с частичной адгезией полимера к поверхности аэротенка.

Выводы. Установлено, что введение ПВС в водно-иловую смесь в концентрациях 0,1–0,05 мас. % положительно влияет на ГХ и ГБ показатели неадаптированного голодающего активного ила, оказывая флокулирующий эффект и способствуя улучшению седиментационных свойств АИ, а также сохранению видового разнообразия за счет содержания питательных веществ.

Пороговая концентрация введения ПВС в водно-иловую смесь составляет 0,15 мас. % (что соответствует значениям ХПК около 2500 мг О₂/л), более концентрированные растворы за счет высокого пенообразования и высокого значения ХПК способствуют выносу биомассы и ухудшению ГХ и ГБ показателей АИ.

Список литературы

1 Особенности гидролитической и ферментативной деструкции материалов на основе поливинилового спирта / Л. Н. Студеникина, С. Ю. Домарева, П. С. Репин [и др.] // Вопросы современной науки и практики / Университет им. В. И. Вернадского. – 2022. – № 4 (86). – С. 34–44.

2 Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта / Л. Н. Студеникина, С. Ю. Домарева, Ю. Е. Голенских, А. В. Матвеева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83, № 1 (87). – С. 316–322.

3 Синтетические водорастворимые полимеры и важнейшие отрасли их применения / А. С. Алламуратова, О. М. Сейтназарова, А. И. Шарипова, А. Б. Абдикамалова // Universum: технические науки. – 2023. – № 9–4 (114). – С. 47–53.

4 **Николаев, Ю. А.** Биологическая очистка городских сточных вод и возвратных потоков с применением гранулированных илов / Ю. А. Николаев, Е. А. Казакова, В. А. Грачев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 10. – С. 60–66.

УДК 502.3:004.9

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

К. Н. ШАФОРОСТ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
forkristina90@mail.ru*

Актуальность. За последние два столетия интенсивное развитие промышленности, транспорта и инфраструктуры привело к значительным изменениям показателей окружающей среды. Изучение ее состояния является важным элементом рационального природопользования и необходимо для сохранения природных ресурсов для будущих поколений и устойчивого развития общества. Существующие экологические проблемы, такие как изменение климата, загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, утрата

биоразнообразия и деградация экосистем, требуют разработки эффективных методов мониторинга и анализа состояния окружающей среды. Исследование современных методов изучения состояния окружающей среды имеет большое значение для разработки эффективных систем управления экологическими рисками, повышения качества жизни человека и рационального использования природных ресурсов, а также для научных исследований, направленных на решение глобальных экологических проблем. Особенно актуально это для крупных промышленных регионов.

Цель работы – проанализировать особенности существующих методов изучения состояния окружающей среды в аспекте их применения с учетом развития информационных технологий и инженерных решений.

Основные результаты. Мониторинг окружающей среды – неотъемлемая часть эколого-экономического управления. Он включает систему наблюдений, сбора данных и анализа информации о состоянии атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы. Наиболее распространенные изучения состояния окружающей среды можно разделить на несколько категорий.

Методы оценки влияния факторов окружающей среды на биоту.

Биоиндикация – обнаружение и определение экологически значимых природных и антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов непосредственно в среде их обитания.

Биотестирование – использование в контролируемых условиях биологических объектов (тест-объектов) для выявления и оценки действия факторов (в том числе и токсических) окружающей среды на организм, его отдельную функцию или систему организмов. Необходимо отметить, что биоиндикация, подчеркивая всю важность биоиндикационных методов исследования, предусматривает выявление уже состоявшегося или происходящего загрязнения окружающей среды по функциональным характеристикам особей и экологическим характеристикам сообществ организмов [1].

Методы биоиндикации и биотестирования позволяют оценить степень и характер влияния отдельных факторов окружающей среды и их комплексного воздействия на жизнедеятельность живых организмов и экосистем.

Классические методы исследования.

Полевые наблюдения включают измерение концентрации загрязняющих веществ с использованием различных приборов и датчиков, а также прямые осмотры места отбора образцов для исследования. Этот метод помогает получать данные о концентрации загрязнителей в воздухе, уровне радиации (в т. ч. ионизирующей), температуре и влажности, состоянии воды и почвы и иных измеряемых показателях.

Лабораторные исследования предполагают сбор образцов и их последующий анализ в специализированных лабораториях. Точность и качество получаемых данных в этом случае выше, чем при полевых исследованиях.

Ограничением классических методов изучения состояния окружающей среды является локальность получаемых данных, относительно низкая информативность и высокие временные затраты на получение результатов [2]. Первые две группы характеризуются относительно низкой стоимостью проведения анализа и менее требовательны к квалификации персонала.

Автоматизированные инструментальные и дистанционные методы.

Использование *дистанционных методов* (включая дистанционное зондирование Земли) позволяет отслеживать показатели, характеризующие условия окружающей среды на обширных территориях, выявлять изменения в использовании земельных ресурсов, проводить мониторинг лесных пожаров, наводнений, выбросов. Спутниковые снимки, полученные с помощью гиперспектральной съемки, могут предоставить информацию о состоянии растительности, качестве воды и изменениях в экосистемах.

Автоматизированные инструментальные методы основаны на использовании сенсоров и датчиков, размещенных в стратегических точках исследуемой территории, для оценки состояния окружающей среды в режиме реального времени. Они позволяют измерять уровень загрязнения воздуха, температуры, влажности и других экологических параметров.

Преимуществами этих методов являются высокая информативность и оперативность предоставления информации [3].

Методы моделирования.

Компьютерные модели экосистемных процессов помогают прогнозировать влияние антропогенных факторов на состояние окружающей среды. С использованием математических моделей можно смоделировать загрязнение атмосферы, изменения климата, а также выявить риски для здоровья населения и экосистем.

Использование географических информационных систем для анализа пространственных данных о состоянии окружающей среды позволяет отслеживать изменения в экосистемах, оценивать потенциальные риски, а также планировать эффективные меры по улучшению экологической ситуации.

Современные технологии и инновационные подходы.

В последние десятилетия ведется поиск новых методов изучения состояния окружающей среды, которые позволят значительно повысить точность и скорость получения данных. Среди них можно выделить:

1 Большие данные и искусственный интеллект: использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных позволяет на основе больших объемов информации прогнозировать изменения в состоянии окружающей среды и разрабатывать меры для снижения экологических рисков.

2 *Интернет вещей (IoT)* – концепция, при которой разные датчики и устройства подключены к единой сети и могут обмениваться данными в реальном времени. Особенно актуально использование метода в условиях густонаселенных регионов. В мегаполисах IoT применяется для мониторинга качества воздуха, уровня шума, температуры и других параметров.

3 *Гражданская наука* – вовлечение населения в мониторинг состояния окружающей среды. Это позволяет собрать огромные объемы данных, которые могут использоваться для более точной оценки экологической ситуации. Например, с помощью мобильных приложений волонтеры могут сообщать о загрязнении, обнаружении вредных веществ или изменении состояния отдельных экосистем.

Автоматизированные инструментальные и дистанционные методы, методы моделирования, анализ больших данных, создание и использование нейросетей требуют более высоких финансовых затрат и квалификации персонала. Использование интернета вещей и вовлечение населения в мониторинг состояния окружающей среды позволяют увеличить количество и оперативность получения данных, а также сформировать приобщенность населения к поиску и решению возникающих экологических проблем.

Выводы. Исследование состояния окружающей среды, особенно в условиях современного промышленного мегаполиса, является важной и актуальной задачей для обеспечения устойчивого развития городов и защиты здоровья их жителей. Существующий комплекс методов позволяет проводить измерение параметров окружающей среды и оценку экологических рисков в широком диапазоне задач. Выбор метода исследования зависит от масштаба проведения исследований, требований к точности результатов и необходимой оперативности предоставления данных, а также поставленной для исследования задачи.

Важно отметить, что для достижения значительных результатов в этом направлении необходимо тесное сотрудничество научных организаций, государственных структур, бизнеса и местных сообществ.

Список литературы

1 **Борисов, С. Д.** Биотестирование : метод. указания по выполнению лабораторных работ / С. Д. Борисов. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2015. – 64 с.

2 **Авраменко, А. А.** Полевые и лабораторные методы исследований / А. А. Авраменко. – М. : Московский государственный институт международных отношений (университет) М-ва иностранных дел Российской Федерации, 2018. – 120 с.

3 **Носкова, А. И.** Обзор автоматизированных систем мониторинга / А. И. Носкова, М. В. Токранова // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2017. – № 1. – С. 42–47.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОБЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. А. ЮДЕНКОВА, Т. В. ЯШИНА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
lizaudenkova31@gmail.com*

Актуальность. Основным строительным материалом, используемым при строительстве зданий и сооружений различного назначения, является бетон. Поэтому в настоящее время основной задачей в строительстве является разработка и внедрение технологий, позволяющих изготавливать долговечные бетоны и строительные изделия с максимальной экономией ресурсов.

Получение качественных бетонов и других цементных композитов происходит путем оптимизации их составов, модификации структуры материала комплексными добавками различного функционала. Но в следствии эксплуатации на бетонных изделиях и конструкциях появляются трещины, которые могут быть результатом различных воздействий, таких как осадка фундамента, силовые нагрузки, неблагоприятные условия окружающей среды и многие другие. Все это приводит к ухудшению качества конструкций и сокращению срока их службы. Для того чтобы повысить срок службы и улучшить качество бетонных конструкций необходимо свести к минимуму появление трещин. В связи с этим существует потребность в разработке бетонов способных самостоятельно «залечивать» трещины.

Цель работы – поиск более долговечных и экологически чистых материалов для строительства зданий и сооружений.

Основные результаты. По результатам проводимых ранее исследований можно сделать вывод что, самовосстановление трещин в бетонной смеси может происходить в результате добавления бактерий. В большинстве исследований в качестве сырья были использованы штаммы бактерий *Bacillus*. Механизм образования кальция основан на взаимодействии бактерий с источником питания (лактатом кальция). Такая биодобавка вводится в бетонную смесь перед бетонированием конструкции, бактерии сохраняют свою жизнедеятельность в течении длительного периода после введения в бетонную смесь и производят достаточное количество минералов для закупоривания и герметизации образующихся микроповреждений. Поэтому такой вид добавки представляет собой действующее изнутри средство для устранения повреждений. Данный вид добавки позволит сократить затраты на дорогостоящие ремонты и повысить прочность конструкций [1, 4]. Процесс самовосстановления трещин представлен на рисунке 1.

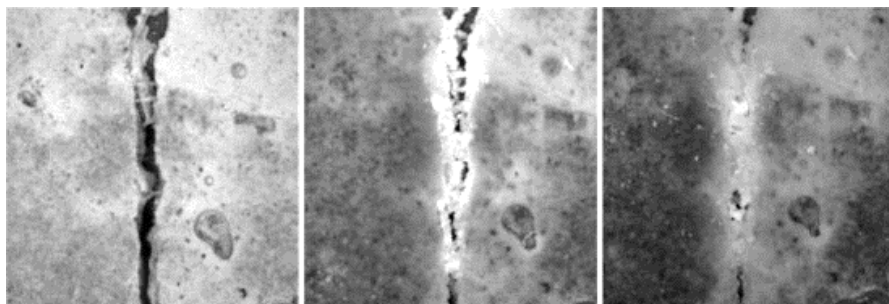


Рисунок 1 – Процесс восстановления трещины

Метод самовосстановления с использованием бактерий может быть использован для бетонных конструкций, которые труднодоступны для технического обслуживания и ремонта, а именно подземных сооружений, мостов и плотин. Поскольку дефекты могут немедленно зацементироваться, срок службы конструкций продлится, затраты на техническое обслуживание сократятся, несмотря на более значительные первоначальные вложения [3].

Такие материалы уникальны и технологически сложны в производстве, однако столь значительная стоимость оправдывается высоким качеством и долговечностью изделий, так как срок службы намного дольше. При применении таких материалов в строительной отрасли мы существенно расширяем наши возможности и удобство использования возведенных объектов, при этом цена возведения и обслуживания таких объектов отличаются незначительно.

Рассмотрев опыты, проводимые ранее в других исследованиях [2], получим, что экономический эффект от применения биобетонной прочности 15 и 40 МПа составляет соответственно 21 % и 7 % от стоимости применения бетонов без биодобавки.

Выводы. Применение биобетонных позволяет повысить устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды и продлить долговечность изделий из бетонов. Также, несмотря на увеличение затрат при производстве строительных работ, затраты на обслуживание конструкций оптимизируются; в процессе эксплуатации они значительно сокращаются, вследствие чего и получается существенный экономический эффект.

Список литературы

- 1 Жукова, Г. Г. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона / Г. Г. Жукова, А. И. Сайфулина // Construction and Geotechnics. – 2020 – Т. 11, № 4. – С. 58–68
- 2 Карпов, М. В. Обоснование использования биобетонных для строительства гидротехнических сооружений / М. В. Карпов, А. А. Жидзюк, О. В. Наумова // Вестник

Евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-bosnovanie-ispolzovaniya-biobeton-ov-dlya-stroitelstva-gidrotehnicheskikh-sooruzheniy/viewer> (дата обращения: 19.02.2025).

3 Техничко-экономическая эффективность применения бетонов, модифицированных бактериями при производстве строительных конструкций / С. Д. С. Аль Дулайми, Т. Аль-Дефафе, А. В. Дергунова, В. Т. Ерофеев // Материалы и технологии XXI века XVI: материалы Междунар. науч.-техн. конф., март 2019 г., Пенза / Общество «Знание», Приволжский Дом знаний [и др.] ; под ред. О. Е. Чуфистова. – Пенза, 2019. – С. 35–41

4 Исследование бактериальных форм на функциональную активность в составе добавки к биобетону / Е. П. Строев, С. В. Калёнов, В. З. Абурджания [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 12. – С. 164–166.

Научное издание

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ
И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 20 марта 2025 г.)

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Д. В. Марцинкевич*

Подписано в печать 22.10.2025 г. Формат 60х84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 13,23. Тираж 50 экз.
Зак. № 1887. Изд. № 26

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, Гомель