

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 26 марта 2024 г.)

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

Гомель 2024

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 *А. С. Неверов* (БелГУТ),
гл. инженер *В. Н. Грибанов* (ГП «Гомельводоканал»)

Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Между-
В62 нар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26 марта 2024 г.) / М-во трансп. и комму-
никаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра
техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 185 с.
ISBN 978-985-891-168-3

Представлены материалы докладов по развитию систем водоснабжения и водо-
отведения, процессам водоподготовки с использованием инновационных техноло-
гий по обезжелезиванию и обеззараживанию питьевой воды. Рассматриваются во-
просы рационального использования водных ресурсов, очистки сточных вод и
цифровизации водоканалов, а также экологические аспекты состояния окружаю-
щей среды и вопросы управления водными ресурсами.

Для преподавателей, студентов, магистрантов.

УДК 628:543.3
ББК 38.761

ISBN 978-985-891-168-3

© Оформление. БелГУТ, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пленарные доклады

<i>Григорьева А. Н.</i> К выбору типа и частоты вращения мешалки для эффективного перемешивания флокулянтов в воде.....	6
<i>Лисица Е. А.</i> Проблематика проектирования канализационных очистных сооружений.....	10
<i>Портной Е. Е.</i> Модель «Старый город – новый сад» для проведения архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий.....	12
<i>Савич В. В., Вербицкий Д. Ю., Голодок Р. П., Никитина И. А., Пилинович Л. П., Тарайкович А. М.</i> Пористые материалы фильтров и аэраторов для очистки воды разными методами.....	16
<i>Степанов С. В., Харьковина О. В., Авдеенков П. П., Лазунин М. В.</i> Программное обеспечение для моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках.....	24

Секция I Водоснабжение и водоотведение

<i>Волчек А. А.</i> Использование водных ресурсов Белорусского Полесья.....	28
<i>Волчек А. А., Образцов Л. В., Шведовский П. В.</i> Согласование интересов экологии и строительства при реконструкции объектов коммунального хозяйства.....	32
<i>Грищенко А. В.</i> Оценка эффективности работы очистных сооружений г. Котласа....	37
<i>Дубенок С. А., Шавейко К. Н.</i> Внедрение принципов «синей» инфраструктуры в Республике Беларусь.....	40
<i>Дунин Я. А.</i> Инновационные технологии в очистке сточных вод.....	47
<i>Евдокимова А. В.</i> Основные проблемы очистки сточных вод в малых населенных пунктах.....	50
<i>Живодерова В. И.</i> Особенности строительных работ при перепланировке производственных помещений для установки оборудования.....	53
<i>Журо К. В.</i> Анализ методов расчета сооружений биологической очистки.....	55
<i>Мовчан С. И.</i> Локальное водоочистное оборудование в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.....	59
<i>Можаровский В. В., Киргинцева С. В.</i> Математическое моделирование расчета параметров гидроудара для композитных труб в трубопроводах.....	64
<i>Моняк Т. М.</i> Выбор восстановителя при синтезе магнитных материалов из гальваношламов для очистки нефтесодержащих сточных вод.....	69
<i>Невзорова А. Б., Невзоров В. В.</i> Перспективы использования беспилотников для мониторинга инженерных сетей в Беларуси.....	72
<i>Новикова О. К., Ратникова А. М., Сивакова Н. В.</i> Выбор технологической схемы водоподготовки для малых населенных пунктов Республики Беларусь.....	75
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Коришнюва В. Ю.</i> Возобновляемые источники энергии на основе биомассы для изготовления брикетированного топлива.....	79
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Васильев Я. С.</i> Изготовление брикетов на основе осадка сточных вод методом прессования.....	83

<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Матвеева П. А.</i> Шнековое прессование осадков сточных вод (ОСВ) при изготовлении топливных брикетов.....	88
<i>Пехота А. Н., Вострова Р. Н., Малофей В. А.</i> Определение теплотворной способности брикетов на основе осадков сточных вод.....	92
<i>Пропольский Д. Э., Синявская А. В.</i> Сравнительный анализ методов обезжелезивания подземных вод.....	95
<i>Пропольский Д. Э., Юркевич К. С.</i> Сравнительный анализ фильтрующих материалов для обезжелезивания и деманганации подземных вод.....	98
<i>Роденко А. А.</i> Реконструкция очистных сооружений г. Кашина.....	102
<i>Середа Н. П.</i> Повышение эффективности работы насосных станций третьего подъема.....	104
<i>Слепцова К. А.</i> Очистка поверхностных сточных вод предприятий машиностроения...	108
<i>Ткачева М. И., Васильев А. А.</i> Прогнозирование коррозионных повреждений стальной арматуры железобетонных конструкций очистных сооружений.....	112

Секция 2 Химия воды и прикладная экология

<i>Веремейчук И. И.</i> Рециклинг отходов в Республике Беларусь.....	117
<i>Галкин П. А.</i> Влияние города Витебска на качество поверхностных и подземных вод.....	123
<i>Горелая О. Н.</i> Наносорбенты из отходов станции обезжелезивания.....	127
<i>Ермак А. Н., Осипенко Г. Л.</i> Загрязняющие вещества атмосферного воздуха как фактор влияния на заболеваемость населения.....	129
<i>Карпенко А. Ф.</i> Мониторинг радиоактивного загрязнения.....	131
<i>Клебеко П. А.</i> Технология получения каталитических гранулированных материалов для обезжелезивания подземных вод.....	136
<i>Клебеко П. А.</i> Способ интенсификации очистки промывных вод фильтров обезжелезивания.....	138
<i>Ковалёва О. В., Карпенко А. Ф.</i> Охрана и кадастровый учёт водных ресурсов в Республике Беларусь.....	141
<i>Комаров М. А.</i> Агрегация частиц в процессе синтеза гипса из осадка коагуляции поверхностных вод.....	145
<i>Комаров М. А.</i> Особенности кристаллообразования синтетического гипса в системе $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ из карбонатсодержащих отходов промышленной водоподготовки и различных типов воды.....	148
<i>Комиссарова К. М.</i> Бактерии и высшие растения для очистки сточных вод.....	151
<i>Коновалов С. Ю., Кудина Е. Ф.</i> Улучшение механических свойств реактопластов введением стекловолокна.....	154
<i>Короб Н. Г., Комаров М. А., Поспелов А. В.</i> Практические аспекты дезинфекции сооружений водоснабжения с использованием озона.....	156
<i>Кудина Е. Ф., Ефимчик К. В.</i> Разработка экологически безопасных композиционных материалов на основе полипропилена.....	161
<i>Куличик Д. М.</i> Азотнокислое выщелачивание железа из осадков станций обезжелезивания.....	163
<i>Ладорный Н. Д.</i> Влияние качества и количества грунтовых вод на урожайность сельскохозяйственных угодий.....	165
<i>Лашкина Е. В.</i> Определение ионов хрома в электролитах гальванических ванн.....	167

<i>Моняк Т. М.</i> Перспективные направления использования отходов гальванических производств.....	170
<i>Моргачева Е. А., Пугачева И. Н., Никулин С. С., Молоканова Л. В.</i> Перспективные подходы к решению экологических проблем производства синтетических каучуков.....	172
<i>Осинин М. С.</i> Выщелачивание железа и алюминия из осадков коагуляции очистки поверхностных вод серной кислотой.....	174
<i>Осипенко Г. Л., Крот А. Д.</i> Метеостанция «Воложин» как база для проведения учебных школьных экскурсий по гидрологии и метеорологии.....	175
<i>Пилипенко М. В.</i> Сравнительный анализ технологий очистки сточных вод красильных производств.....	178
<i>Пилипенко М. В.</i> Анализ методов очистки сточных вод от красителей.....	181
<i>Студеникина Л. Н., Мельников А. А., Коленко И. В., Углова В. Е.</i> Особенности поведения композитных материалов на основе поливинилового спирта в водной среде.....	183

УДК 661.123.183

К ВЫБОРУ ТИПА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МЕШАЛКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ В ВОДЕ

А. Н. ГРИГОРЬЕВА

*ГК «Элма-Астерион», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
an@td-elma.ru*

Актуальность. Различные аспекты очистки воды с применением неорганических коагулянтов и флокулянтов многие годы изучались в НИИ ВОД-ГЕО, НИИКВ и ОВ, ИОТТ, институтах АН РФ и вузах под руководством Борца М. А., Клячко Ю. А., Драгинского В. Л., Бабенкова Е. Д. и др. Вместе с тем в литературе и практике водоочистки отсутствует четкая методология выбора перемешивающего устройства для аппаратурного оформления процесса приготовления флокулянта. Несовершенство методов приготовления растворов приводит к тому, что значительное количество полимера попадает в суспензию в виде геля и ассоциатов, что приводит к перерасходу дорогостоящих флокулянтов и понижению эффективности их действия при агрегации дисперсий.

Цель работы – построение на основе экспериментальных исследований методики расчета максимально допустимой частоты вращения перемешивающего устройства с учетом геометрии рабочего колеса. При этом необходимо принять во внимание, что сдвиговые напряжения на наружном диаметре лопастей мешалки не должны превышать параметры, определяемые реологическими свойствами флокулянта. На основе теоретического анализа максимальной частоты вращения необходимо сравнить несколько типов перемешивающих устройств, способствующих наиболее быстрому растворению флокулянта.

Основные результаты. Приготовление концентрированного раствора происходило в цилиндрической емкости диаметром 180 мм, высотой 200 мм (уровень раствора 160 мм). Мешалка была оснащена электрическим приводом мощностью 100 Вт. В качестве растворителя выступала водопроводная вода, температура которой составляла 20 °С [1].

В качестве полимера использовался высокомолекулярный флокулянт *Magnaflok M 155* катионного типа с молекулярной массой 8–10 млн. Подробные реологические характеристики описаны в [2].

В качестве рабочих колес перемешивающего устройства использованы стандартные виды мешалок – турбинная мешалка, трехлопастная мешалка,

а также разработанная нами коническая мешалка. Все мешалки имели диаметр 50 мм (рисунок 1).

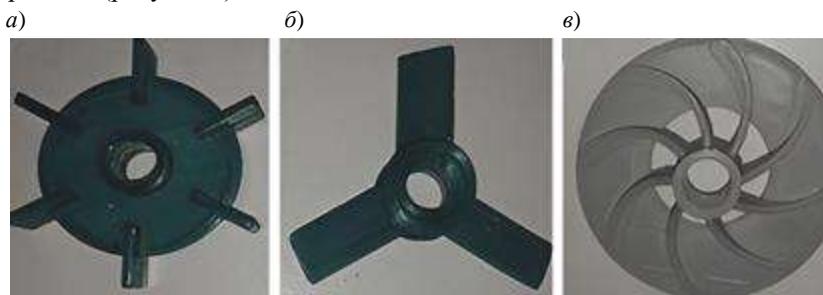


Рисунок 1 – Мешалки, используемые в экспериментах:
а – турбинная; б – трехлопастная; в – коническая

Однородность готового раствора проверялась путем оценки показателя преломления лазерного луча [3]. Методика расчета пороговой частоты вращения мешалки основывается на определении напряжений турбулентного трения Рейнольдса, создаваемых мешалкой во время ее работы и зависящих от геометрии мешалки. Данные напряжения не должны превышать напряжения сдвига, достаточные для разрушения макромолекул флокулянта.

В статье [2] изучены реологические свойства растворов высокомолекулярных флокулянтов, где показано, какие напряжения сдвига будут критическими для разрыва полимерных связей при различной концентрации порошка.

С другой стороны несложно построить график зависимости напряжения турбулентного трения мешалки при различной частоте вращения для определенной геометрической формы мешалки. Совместив два графика, на пересечении находим определяющую частоту вращения мешалки, т. е. максимально возможную частоту мешалки определенной геометрической формы, при которой молекулярные связи полимера будут сохраняться.

Пример зависимости создаваемых мешалкой турбулентных напряжений и напряжений сдвига раствора флокулянта от частоты вращения мешалки, а также пороговая частота вращения перемешивающего устройства представлены на рисунке 2.

Результаты расчета определяющей частоты вращения, времени растворения и мощности на перемешивание представлены в таблице 1. Отношение Q / N характеризует количество циклов растворения в час, приходящееся на каждый ватт затраченной мощности на перемешивание. Чем выше этот показатель, тем эффективней используется вводимая в аппарат энергия.

Таким образом, с использованием конической мешалки можно перемешивать флокулянт на наибольшей частоте вращения среди исследованных

мешалок, так как она создает меньше сдвиговых напряжений во время работы за счет обтекаемой формы лопастей. Применение турбинной мешалки на высоких частотах вращения ограничено, поскольку она создает опасные сдвиговые напряжения за счет острых кромок лопаток, расположенных под углом 90° к плоскости вращения. Причем аппарат с конической мешалкой не только самый производительный, но и самый выгодный с точки зрения отношения полезного эффекта к затратам.

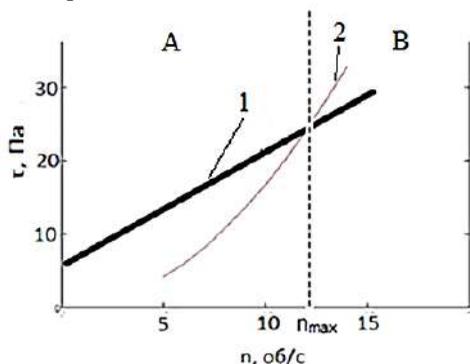


Рисунок 2 – Совмещенный график зависимости вводимых конической мешалкой турбулентных напряжений (линия 2) и напряжений сдвига флокулянта Магнафлок M155 (линия 1) от частоты вращения n :
 А – зона допустимой частоты вращения мешалки, В – зона разрушения цепочек флокулянта турбулентными пульсациями, n_{\max} – пороговая частота вращения мешалки

Таблица 1 – Результаты расчетов определяющей частоты перемешивания 0,3%-го раствора флокулянта для каждого типа мешалки

Тип мешалки	Пороговая частота вращения, об/с	N , Вт	T	Q	Q/N
Коническая	12	0,162	40	1,5	7,31
Трехлопастная	7,5	0,061	60	1	6,32
Турбинная	6	0,281	50	1,2	2,1

В результате работы было установлено, что применение новой конической мешалки позволяет ускорить процесс приготовления флокулянтов в 1,5 раза по сравнению с наиболее распространённой лопастной мешалкой и в 1,25 раза по сравнению с турбинной. Следовательно, для правильного подбора мешалки определенной геометрической формы для приготовления растворов флокулянта необходимо:

– выбрать диаметр мешалки и длину вала в зависимости от размеров аппарата исходя из рекомендаций для данного типа мешалок для эффективного суспендирования в системе жидкость – твердое;

- определить значения градиента скорости в осевом направлении. Параметры распределения скоростей для стандартных мешалок можно получить из справочных данных, например [4];
 - рассчитать путь перемешивания;
 - построить график зависимости напряжений сдвига от частоты вращения мешалки для данного диаметра;
 - найти скорость вращения мешалки путем совмещения графиков. Для нахождения определяющей скорости необходимо иметь данные о реологических свойствах растворов флокулянтов;
 - рассчитать мощность, необходимую для перемешивания.
- Следует отметить, что предложенная методика применима только для низкоконцентрированных растворов, обладающих свойствами ньютоновской жидкости.

Выводы. В ходе настоящей работы была разработана методика расчета мешалки для приготовления концентрированного флокулянта необходимой концентрации. Теоретический расчет был основан на стандартной полуэмпирической модели турбулентности Прандтля, дополненной Карманом. По результатам расчетов, с помощью конической мешалки можно перемешивать флокулянт на наибольшей частоте вращения среди использованных в работе рабочих колес, так как она создает меньшее количество напряжений во время работы за счет обтекаемой формы лопастей. Применение турбинной мешалки на высоких частотах вращения ограничено, поскольку она создает опасные сдвиговые напряжения за счет острых кромок лопаток, расположенных под углом 90° к плоскости вращения. Аппарат с конической мешалкой по отношению полезного эффекта к затратам на потребляемую электроэнергию также является наиболее привлекательным.

Список литературы

- 1 Брагинский, Л. Н. Перемешивание в жидких средах / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш – Л. : Химия, 1984. – 336 с.
- 2 Изучение реологических свойств флокулянтов / Е. В. Ульрих [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2011. – № 5. – С. 25–28.
- 3 Очистка сточных вод: биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]. – М. : Мир, 2006. – 480 с.
- 4 РД 26-01-90-85. Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200043740>. – Дата доступа : 20.02.2020.

SELECTING THE TYPE AND ROTATION SPEED OF A MIXER FOR EFFICIENT MIXING OF FLOCCULANTS IN WATER

A. N. GRIGOREVA

GC "Elma-Asterion", St. Petersburg, Russian Federation

ПРОБЛЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е. А. ЛИСИЦА

*ООО «Гефлис», г. Гомель, Республика Беларусь
lisitsa95@list.ru*

Актуальность. Проектирование канализационных очистных сооружений является весьма сложным и трудоемким процессом, результат которого во многом зависит от корректности полученных исходных данных.

Основой проектирования очистных сооружений является принятый проектный расход, концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах, требования к степени очистки.

Основные результаты. Согласно СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» исходные данные при реконструкции существующих очистных сооружений следует принимать на основании результатов контроля расхода и состава поступающих сточных вод за период не менее 3 лет, с учетом перспективного развития населенного пункта на период расчетной продолжительности эксплуатации проектируемых очистных сооружений. Часто эксплуатирующей организацией предоставляются всего 5–6 протоколов анализов сточных вод за период 3 лет. Полученные данные в таком объеме не позволяют в полной мере оценить фактические концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах (так как сток неравномерный как в течение суток, так и в течение года). Более того, на канализационные очистные сооружения, как правило, сбрасываются и сточные воды от промышленных предприятий. Часто, ввиду недостаточной очистки производственных сточных вод на локальных очистных сооружениях, на канализационные очистные сооружения сбрасываются высококонцентрированные сточные воды по загрязняющим веществам (характер загрязненности зависит от типа производства). При отсутствии данных по загрязненности сточных вод проектировщик вынужден определять их расчетным путем. Часто после прохождения государственной экспертизы и в последующем, после проведения реконструкции, на стадии пусконаладочных работ выявляются трудности по запуску очистных сооружений в работу.

Например, при проектировании канализационных очистных сооружений производительностью 3000 м³/сут были приняты расчетные концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах (таблица 1). Через год после проектирования на стадии выполнения строительно-монтажных работ по реконструкции эксплуатирующая организация предоставила данные с фактическими концентрациями загрязняющих веществ (таблица 2).

Таблица 1 – Концентрации загрязняющих веществ в поступающих сточных водах (приняты к расчету)

Показатель	Значение, мг/дм ³
Взвешенные вещества	523,1
ХПК	657
БПК ₅	1500
Ионы аммония	54,7
Фосфаты (по фосфору)	12,1
Нефтепродукты	1,1
Медь	0,007
Цинк	0,06
Железо	0,68
Хлориды	100,3

Таблица 2 – Сравнение фактических концентраций загрязняющих веществ в сточных водах и принятых к расчету в проекте

Показатель	Концентрации в проекте	Фактические концентрации	Превышение
Взвешенные вещества, мг/дм ³	523,1	508	–
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	657	960	В 1,5 раза
ХПК, мгО ₂ /дм ³	1500	1700	В 1,13 раза
Ионы аммония, мг/дм ³	41,5	54,7	В 1,32 раза
Фосфаты по (P), мг/дм ³	6,2	12,1	В 1,95 раза
Нефтепродукты, мг/дм ³	1,0	1,1	–
Медь, мг/дм ³	0,007	0,02	–
Цинк, мг/дм ³	0,06	0,10	–
Железо, мг/дм ³	0,68	0,76	–
Хлориды, мг/дм ³	100,3	104	–

Фактические концентрации в поступающих сточных водах превышают проектные значения по ряду показателей. Это обусловлено сбросом в систему канализации недостаточно очищенных производственных сточных вод молочного комбината. Реконструируемые очистные сооружения на сегодняшний день не могут произвести очистку сточных вод до требуемых показателей. Требуется проведение дополнительных мероприятий по возможности приема и очистки производственных сточных вод в объемах существующих городских очистных сооружений.

Выводы. С целью недопущения подобных ситуаций эксплуатирующей организации целесообразно перед проведением проектных и предпроектных работ осуществлять мониторинг сточных вод по расходам и качественному составу.

PROBLEMS OF DESIGNING SEWAGE TREATMENT FACILITIES

Y. A. LISITSA

«Geflis» LLC, Gomel, Republic of Belarus

МОДЕЛЬ «СТАРЫЙ ГОРОД – НОВЫЙ САД» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЙ

Е. Е. ПОРТНОЙ

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

Актуальность. Результатом аварии на Чернобыльской атомной станции стало загрязнение радионуклидами территорий, которые в настоящий момент находятся в различных государствах, наиболее пострадавшими являются Беларусь, Украина и Россия. При этом более 70 % радионуклидов выпало на территории современной Беларуси. Большая часть населённых пунктов, пострадавших от загрязнения, имеет крупную аграрно-промышленную составляющую в структуре народного хозяйства, что делает выпуск безопасной продукции особо важной задачей.

Учитывая растущие тренды: создание экологичной продукции, повышение энергоэффективности, комфорта обслуживающего персонала, использование возобновляемых источников энергии, необходимо внедрять передовые технологии агропромышленного комплекса, а в условиях особенной радиационной обстановки логичным выходом станут предприятия закрытого грунта (тепличные хозяйства). Сложность лаконичного встраивания предприятий закрытого грунта в структуру малых городов, тяга к гигантизму и сухому прагматизму мешает из «мест скуки» сделать точку перенесения внимания. Тепличные комплексы при внешней «лёгкости» являются объектами длительных инвестиций и длительного воздействия на пространство, что совпадает с целью решить «вневременную» проблему радиоактивного загрязнения. Необходимо определить оптимальные структуры компоновки предприятий закрытого грунта, различные степени автономности исходя из рациональности и планировочной структуры местности.

Цель работы – описать модель «Старый город – новый сад» для проведения архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий. Объект исследования – малые города, расположенные в зоне загрязнения радионуклидами территорий. Предмет исследования – объекты закрытого грунта в структуре малого города.

Основные результаты. Идея создания модели «Старый город – новый сад» возникла исходя из следующих предпосылок: во-первых, большая часть населённых пунктов, являющихся объектом исследования, обладают историческим прошлым более 500 лет, которые прошли путь развития от населённого пункта в несколько хижин до городов с магдебургским правом и статусом районного центра в конечном итоге. Во-вторых, в экономике малых городов

переработка аграрной продукции занимает значительный удельный вес. В-третьих, наличие высокопроизводительных рабочих мест (современное тепличное хозяйство – наиболее технологичная и прибыльная часть АПК), само по себе, является созданием условий для социальной реабилитации региона. В-четвёртых, проектирование тепличных хозяйств в рамках населённого пункта сопряжено с рядом архитектурных и экологических сложностей: устройство промышленного предприятия как инструмента архитектурно-планировочной реабилитации, световое загрязнение, интеграция объектов альтернативной энергетики в структуру города, работа над замкнутым циклом производства, что делает задачу нетривиальной. В-пятых, общий запрос общества на круглогодично доступные и безопасные продукты.

Во многих малых городах, пострадавших от аварии на Чернобыльской атомной станции, центральная часть представлена большим участком частной жилой застройки, что необходимо рассматривать как возможность для его преобразования в динамично развивающуюся часть города, в которой современное жильё будет соседствовать с зелёной зоной.

Другим направлением развития является развитие в рамках города тепличных хозяйств. Тепличное хозяйство – это живое воплощение роста и жизни, при этом сами теплицы могут использовать различные технологии, архитектурные формы, компоновки, пространственные схемы. За время своего развития с XVII века по настоящее время предприятия растениеводства прошли большой эволюционный путь, современные исследователи архитектуры делят его на два этапа [1, с. 170–171]. Первый этап включает следующие технологические решения: «технологический грунт», теплица, парник, оранжерея, шампиньонная теплица, зимний сад, фитотрон, биодом. На втором этапе развития имеют место следующие виды планировки: энерго-биологический комплекс, вертикальные фермы, многофункциональный небоскрёб, органическая ферма, пермакультура.

В рамках проведения архитектурно-планировочной реабилитации наиболее перспективным является создание объектов смешанного типа, где для достижения рационального использования территорий, создания экономических преимуществ, проведения архитектурной реабилитации необходимо комбинировать технологии, свойственные второму этапу, а там, где это целесообразно, частично использовать и элементы первого типа. Так, при отсутствии крупных энергетических предприятий (АЭС, ГРЭС) для создания энерго-биологического комплекса со свойственным ему безотходным производством замкнутого цикла можно использовать связку с объектами альтернативной энергетики (солнечная энергетика, ветроэнергетика и биогазовая энергетика). Достижение высоких экономических показателей в тепличном хозяйстве маловероятно без дополнительной «досветки», куда и будут израсходованы дополнительные мощности. При выполнении подобной интеграции есть возможности для выполнения архитектурно-художественного единства комплекса.

Вертикальные фермы не являются чем-то принципиально новым. Подобные проекты высокоавтоматизированных комплексов были построены в виде экспериментальных строений в СССР, одним из таких была теплица «Корольков сад» от Саратовского сельскохозяйственного института, 1976 года постройки. Кроме ряда технологических преимуществ, благодаря вертикальным строениям появляется возможность создать некоторую динамику и локальные доминанты.

Если строительство многофункциональных небоскребов не является реалистичным в рамках развития общества на территориях, подверженных радиационному загрязнению, то комбинирование жилого и производственного пространства в иных формах может быть с успехом реализовано.

Вопросы архитектурно-художественного исполнения, пространственной структуры, интеграции с объектами альтернативной энергетики, являются важнейшими по многим причинам: во-первых, при выполнении проекта на высоком эстетическом уровне стоимость недвижимости, в целом, в районе будет расти, во-вторых, от выбора планировочной структуры зависит эффективность внутренних процессов на предприятии, в-третьих, природно-климатические факторы и сезонность могут требовать комбинирования установок различного типа.

Реализация крупных предприятий закрытого грунта в рамках городской среды сопряжена с риском возникновения светового загрязнения, поэтому использование межселенных территорий с очаговым улучшением показателей фоновой нагрузки и строительство предприятий, совмещённых с жильём для работников на землях, разработка которых под обычные сельскохозяйственные нужды нерентабельна, является перспективным планом для улучшения инвестиционной привлекательности района.

Затраты на обеспечение растениеводства закрытого грунта электроэнергией, теплом, природным газом достигают 50 % от всей себестоимости готовой продукции [2]. Поэтому создание связки предприятия закрытого грунта и дополнительных источников энергии показывает высокие результаты, так как решается классический вопрос альтернативной энергетики – постоянный потребитель энергии. Положительный результат показывает использование геотермальных источников, так как кроме экономии топлива появляется подготовленная вода для полива [3].

В настоящий момент наибольшее распространение получили следующие агротехнологии : капельное орошение (при котором полив непосредственно проходит в прикорневую зону), гидропоника (растения выращиваются в искусственной среде либо на бессубстратной основе), аэропоника (питание растений происходит через насыщение питательным аэрозолем в помещениях), аквапоника (интеграция выращивания рыбы и гидропоники) и мостовое земледелие (почвообрабатывающие орудия крепят на раме мостового крана, который передвигается по уложенному на земле рельсовому пути с заданной и регулируемой скоростью) [1].

Размещение объектов альтернативной энергетики, объёмно-пространственная компоновка жилых помещений и производственных могут серьёзно отличаться в зависимости от мощности теплиц и метода интеграции всех компонентов (объектов альтернативной энергетики, растениеводческой части, технических помещений). На основании проведённого исследования технологий растениеводческих предприятий закрытого грунта были подготовлены рекомендации по интеграции объектов альтернативной энергетики в архитектуру растениеводческих предприятий. Постройки технологического назначения могут включать овощехранилища, которые также являются постоянными потребителями электроэнергии.

Расположение объектов ветроэнергетики зависит от конкретных природно-климатических факторов на предполагаемом месте строительства, влияние на расположение объектов солнечной энергетики оказывает не только форма покрытия, но и ориентация здания к сторонам света, применяемые методы архитектурно-художественной интеграции, доступность технологий (например, цикличность расположения, формат выкладки панелей). Объекты биоэнергетики могут располагаться удалённо, а могут входить в состав композиций как модули.

Выводы. Модель архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий «Старый город – новый сад» делает упор на развитие высокотехнологичных предприятий закрытого грунта, которые при интеграции с объектами альтернативной энергетики позволяют более полно раскрыть экономический и человеческий потенциал. Использование комбинированных объёмно-планировочных решений позволяет добиться синергии между производственной и архитектурно-художественной функцией.

При реализации модели «Старый город – новый сад» возникают следующие вопросы: внедрение растениеводческих предприятий закрытого грунта в уже существующий каркас города, световое загрязнение, дополнительная экологическая нагрузка, архитектурный облик предприятий. Автор продолжит исследования и в следующих своих работах опишет предполагаемые решения.

Список литературы

1 Султанова, А. Инновационные технологии и их влияние на архитектуру предприятий растениеводства / А. Султанова // Architecture and Modern Information Technologies [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(42). – С. 163–177 – Режим доступа : http://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/12_sultanova/index.php. – Дата доступа : 01.02.2024.

2 Кузьмина, А. А. Стратегическое развитие сельскохозяйственных предприятий в условиях рыночной экономики : дис. канд. экон. наук : 08.00.05 / А. А. Кузьмина. – М., 2006. – 244 с.

3 Как в умных теплицах 4-го поколения выращивают овощи круглый год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sb.by/articles/teplo-zemli-v-rukavakh.html>. – Дата доступа : 01.02.2024.

THE "OLD TOWN – NEW GARDEN" MODEL FOR ARCHITECTURAL AND PLANNING REHABILITATION OF TERRITORIES CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES

E. Y. PARTNY

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.621

ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ФИЛЬТРОВ И АЭРАТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

*В. В. САВИЧ¹, Д. Ю. ВЕРБИЦКИЙ¹, Р. П. ГОЛОДОК¹, И. А. НИКИТИНА¹,
Л. П. ПИЛИНЕВИЧ², А. М. ТАРАЙКОВИЧ¹*

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

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Актуальность. Пористые материалы (металлические и полимерные сетки, объёмно-пористые полимеры и керамика, спеченные порошковые металлические материалы и др.) широко используются в установках и сооружениях водоподготовки в качестве: картриджей фильтров грубой и тонкой очистки воды от механических загрязнений; элементов дренажа насыпных фильтров; аэраторов реакторов флотационной очистки и обезжелезивания; аэраторов для ввода озono-воздушной смеси в воду при ее финальной очистке и обеззараживании. Диапазон структурных характеристик указанных пористых материалов (ПМ) достаточно широк: размеры пор (просветов) – от микрометров до миллиметров; пористость объёмная и поверхностная – от 24–30 до 60–70 %. Предельные рабочие температуры и допустимый перепад давления также находятся в широких пределах, определяемых в первую очередь характеристиками исходного сырья. Безусловно, стоимость ПМ также может сильно отличаться по этой же причине.

Целью работы является анализ свойств ПМ, фильтров и аэраторов из них, разработка обоснованных рекомендаций по их предпочтительному применению.

Основные результаты. Исследования проводились как путем анализа научно-технической литературы по теме, так и на основании собственного многолетнего опыта работы по созданию ПМ и изделий для очистки воды.

Сетки, сетчатые фильтрующие и дренажные элементы из них – наиболее простые и относительно недорогие ПМ. Они, как правило, выполнены из коррозионностойкой стали (рисунок 1).

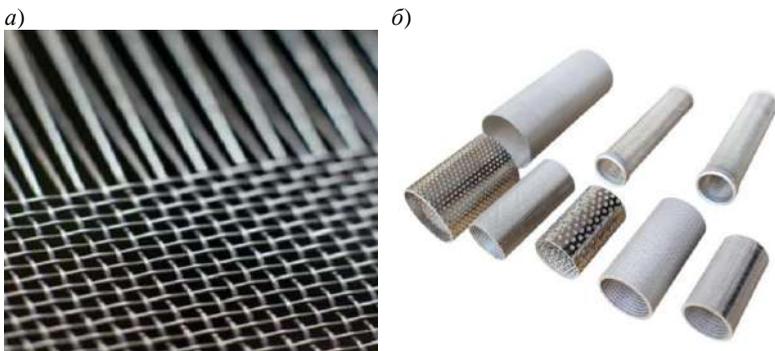


Рисунок 1 – Сетка из коррозионностойкой стали (а) и пористые элементы из нее (б)

Размер ячеек подбирается так, чтобы они не препятствовали потоку воды, но задерживали крупные загрязнения. Преимущество таких фильтров – относительная дешевизна и возможность регенерации. Для промывки сетки достаточно пустить обратный поток чистой воды. После очистки эффективность фильтрации приближается к первоначальному уровню. На сетках реализуется режим поверхностной фильтрации. Известны сведения об использовании многослойных сетчатых фильтроэлементов, в которых размер ячейки изменяется от слоя к слою, что позволяет повысить эффективность путем объёмной фильтрации. Однако такие градиентные сетчатые многослойный ПМ существенно дороже однослойных.

В зависимости от типа переплетения сетка нержавеющей тканая может быть:

- полотняная – переплетаются с проволоками основы (через одну) нити утка;
- саржевая плетения одностороннего – с нитями основы переплетаются (через две) проволоки утка;
- саржевая плетения двустороннего – переплетаются (через одну и две) с проволоками основы расположенные друг к другу впрыток нити утка (данный тип плетения иногда называют «голландским плетением»).

В таблице 1 приведены характеристики тканых проволочных фильтровых сеток, составленные на основе ГОСТ 3187 и данных производителей. По данным таблицы тонкость фильтрации сеток находится в пределах 140–400 мкм, что определяет их использование преимущественно в системах предварительной грубой очистки. Поэтому массово они применяются для очистки уже подготовленной водопроводной воды перед счетчиками в квартирах и индивидуальных домах, предохранения механических счетчиков не только от повреждений, но и от занижения показаний вследствие попадания продуктов коррозии трубопроводов и арматуры.

Таблица 1 – Характеристики тканых проволочных фильтровых сеток

Номер сетки	Тонкость фильтрации, мкм /номинальная тонкость фильтрации	Диаметр проволоки основы, мм	Диаметр проволоки утка, мм	Теоретическая масса 1 м ² сетки, кг
П 24	350–400	0,70	0,40	3,49
П 28	330–340	0,60	0,40	3,39
П 32	300–320	0,60	0,40	3,47
П 36	260–315	0,50	0,40	3,33
П 40	245–310	0,50	0,35	3,18
П 48	210–280	0,45	0,30	2,63
П 52	200–250	0,45	0,28	2,64
П 56	180–230	0,40	0,28	2,54
П 60	170–215	0,40	0,28	2,58
П 64	160–195	0,35	0,22	2,03
П 68	165–190	0,35	0,22	2,07
П 72	140–150	0,30	0,20	1,82
П 76	135–140	0,30	0,20	1,83

Получили распространение сетки галунного плетения из полиамида б или полиэфира (рисунок 2), которые чаще всего используются в скважинных фильтрах для первичной очистки подземных вод от песка и мелкозернистых минеральных частиц. Недостаток полимерных сеток – невысокие рабочее давление и температура, а главное преимущество – низкая цена по сравнению с металлическими.

Галунное плетение представляет собой двойное плетение нитей с основой. В результате этого улучшаются фильтрующие способности сетки, так как ячейки не видны на просвет, при этом без уменьшения протока воды.

Пористые волокнистые полимерные материалы (ПВПМ) отличаются от сетчатых объемным режимом фильтрации, возможностью формирования градиентной пористой структуры [1, 2].



Рисунок 2 – Полимерные фильтрующие сетки галунного плетения

В Институте механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси разработаны технология и оборудование аэродинамического распыления расплава полимеров (*meltblowing*) для производства ПВПМ, фильтрующих элементов, аэраторов из них, имеющих волокнистую пористую структуру (рисунок 3) [3, 4]. В качестве сырья для их производства используются термопластичные полимеры, такие как полипропилен, полиэтилен, полиамид и некоторые другие.

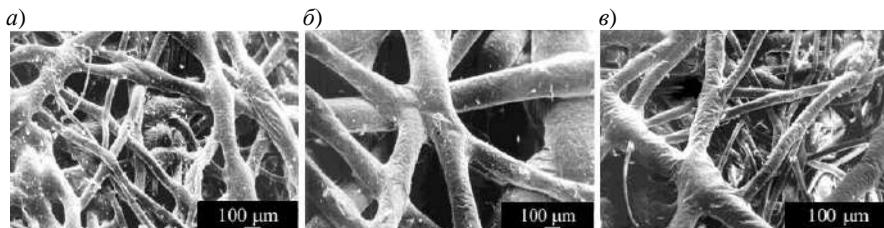


Рисунок 3 – Электронно-микроскопические изображения ПВПМ на основе ПЭВД:
а – пористость $\Pi = 28\%$; б – $\Pi = 39\%$; в – $\Pi = 46\%$ [3]

Изначально ПВПМ использовались для тонкой фильтрации газовых сред благодаря тому, что могут иметь электретенный заряд, содержать магнитные и адсорбционно-активные наполнители. Однако впоследствии они также нашли применение для очистки скважинной воды от железосодержащих примесей; для очистки пищевых жидкостей, в том числе молока, от механических загрязнений, микробных и соматических клеток с достижением показателей качества молока «Экстра». В 80–90-е гг. XX века дисковые и трубчатые ПВПМ широко использовались в качестве аэраторов систем биохимической очистки сточных вод [5].

В Институте механики металлополимерных систем имени В. А. Белого разработана оригинальная технология получения волокнисто-пористого материала «Грифтекс» из политетрафторэтилена (ПТФЭ) методом лазерной абляции [6]. Материал состоит из коротких волокон средним диаметром 10–15 мкм и длиной 0,2–2 мм. Тонкость фильтрации – до 1 мкм. Пористость составляет 85–90 % (рисунок 4).

Производится в виде ваты и фетра. Материал «Грифтекс» обладает малой адсорбционной памятью, гидрофобностью (лиофильностью), стойкостью к агрессивным жидкостям и газам, УФ-излучению, высокой термостойкостью. По химическим и термическим свойствам он полностью соответствует исходному ПТФЭ. «Грифтекс» применяется в качестве фильтровального материала при изготовлении различного фильтрующего оборудования, работающего в интервале температур от -196 до $+260$ °С. Изначально ПМ «Грифтэкс» был предназначен для очистки и осушки воздуха и технологических газов, сепарации капельной влаги. Затем подтвердил свою эффек-

тивность при тонкой очистке технологических жидкостей и смазок, а в последствии – и воды.

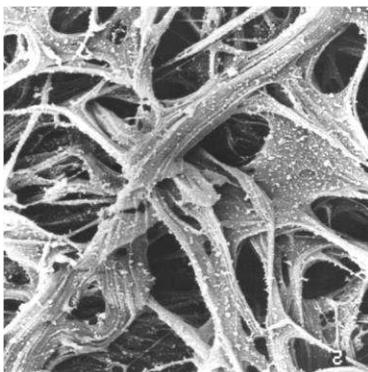


Рисунок 4 – Электронно-микроскопические изображения ПВПМ на основе ПТФЭ «Грифтекс» [6]

Пористая фильтрующая керамика занимает значимое место среди разработок Института общей и неорганической химии НАН Беларуси [7]. В качестве исходных материалов используют недорогое и доступное сырье: кварцевые пески марок ВС-020 и ВС-030 ГОСТ 22551-77 (силикаты), продукты размола фарфорового боя (алюмосиликаты), в которых содержится до 68,1 % SiO_2 и 23,6 % Al_2O_3 [7]. На рисунке 5 представлена микроструктура такого пористого керамического трубчатого фильтроэлемента.

Пористые керамические элементы также производят из электрокорунда (Al_2O_3), каолина, глинозема, другого минерального или синтезированного дисперсного сырья [8–10], а также стеклокерамики [11].

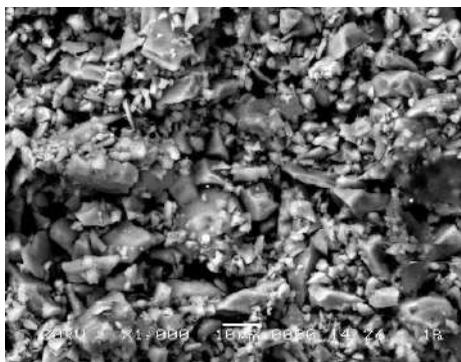


Рисунок 5 – Микроструктура пористой проницаемой керамики [7]

Наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора является уже более 100 лет фильтросная пластина размером 300×300 мм и толщиной 35 мм, изготавливаемая из шамота на связке жидкого стекла с мелкой шамотной пылью или из кварцевого песка и кокса на связке бакелитовой смолы. Структура этого ПМ представлена на рисунке 6 [5].

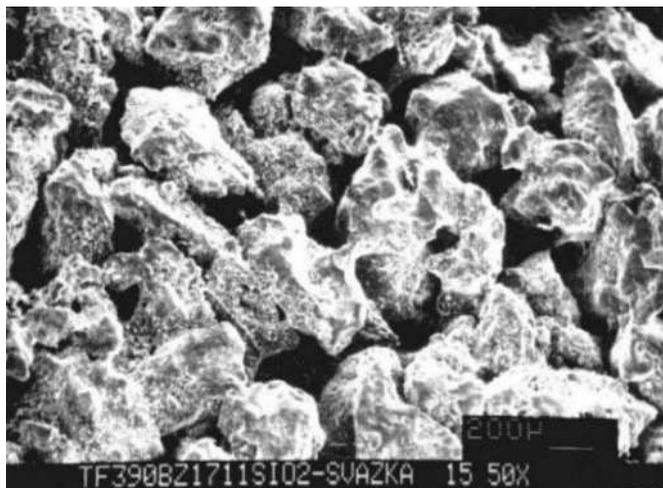


Рисунок 6 – Поверхность фильтросной плиты [5]

Пористые материалы из порошков металлов. В технологии водоподготовки используют для получения пористых элементов, как правило, два исходных порошка – коррозионностойких сталей и титана [5] (рисунок 7). Первые – предпочитают зарубежные производители, вторые – отечественные. Причины такого разделения – массовое промышленное производство на Западе распыленных порошков коррозионностойких сталей, в первую очередь – марки 316L, разрешенной к использованию в оборудовании пищевой и фармацевтической промышленности, в медицине, высокая цена порошков титана и титановых сплавов, которые производятся преимущественно сферической формы. В России и Украине, наоборот, со времен СССР освоено промышленное производство губчатых порошков титана, обладающих хорошей прессуемостью и являющихся промежуточным продуктом магний-термического восстановления – титановой губки, которую затем измельчают и подвергают рассеву на фракции. В пользу титана в очистке воды свидетельствует и слабый бактерицидный эффект оксида титана на его поверхности [5] – напоминающий действие ионов серебра. Благодаря этому эффекту титановые пористые элементы меньше подвержены биообрастанию, повышают степень очистки воды по сравнению с иными пористыми элементами.

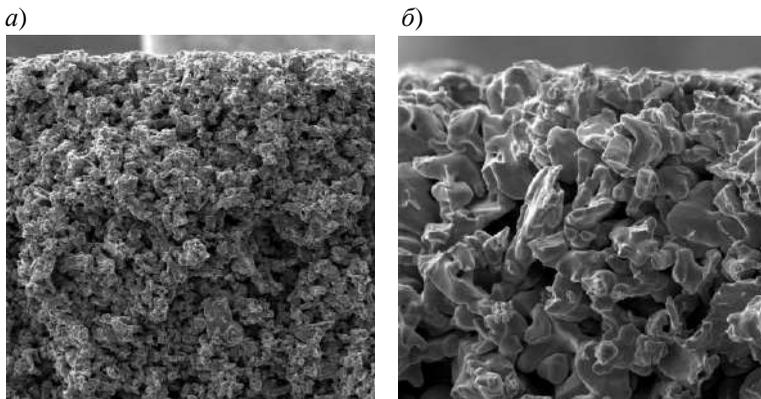


Рисунок 7 – Микроструктура пористого элемента из порошка стали 316L (а) и двухслойного из порошка губчатого титана (б)

В Институте порошковой металлургии имени академика О. В. Роман разработан ряд процессов формования и спекания трубчатых и плоских пористых элементов из порошка губчатого титана, которые более 40 лет успешно применяются в качестве фильтроэлементов и аэраторов в различных установках и сооружениях очистки питьевой и технической воды. Решающим преимуществом пористых титановых элементов при фильтрации и аэрации питьевой воды является их радикально большой (до 16–18 лет по опыту эксплуатации на предприятии речного водозабора ПО «Минскводоканал» [12]) срок эксплуатации, который нивелирует и относительно высокую их цену по сравнению с ПМ из керамики и полимеров.

В распоряжении специалистов – разработчиков систем водоподготовки, специалистов, эксплуатирующих сооружения и установки очистки воды, имеется широкий выбор ПМ различной цены и технических характеристик, который может удовлетворить всем современным требованиям.

Список литературы

- 1 Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В. А. Гольдаде [и др.] ; под науч. ред. Л. С. Пинчука. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.
- 2 Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / А. Г. Кравцов [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 319 с.
- 3 **Кудина, Е. Ф.** Применение волокнистых материалов в технологиях очистки воды / Е. Ф. Кудина // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2021 г. / редкол. : Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 42–47.
- 4 **Кудина, Е. Ф.** Волокнистые материалы в технологиях очистки воды / Е. Ф. Кудина, С. Ю. Коновалов // Актуальные научно-технические и экологические

проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию ф-та инженерных систем и экологии, Брест, Беларусь, 7–8 октября 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол. : А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГГУ, 2021. – С. 195–202.

5 **Жерноклев, А. К.** Аэрация и озонирование в процессах очистки воды / А. К. Жерноклев, Л. П. Пилиневич, В. В. Савич ; под ред. Н. В. Холодинской. – Минск : Тонпик, 2002. – 129 с.

6 Лазерная абляция политетрафторэтилена / П. Н. Гракович [и др.] // Российский химический журнал. – 2008. – № 3. – С. 97–105.

7 Пористые керамические материалы для очистки воды из минерального сырья Беларуси / А. И. Ратько [и др.] // Порошковая металлургия. – 2007. – Вып. 30. – С. 198–202.

8 Пористая алюмосиликатная керамика / С. М. Азаров [и др.]. – Минск : Ковчег, 2009. – 258 с.

9 **Смирнова, К. А.** Пористая керамика для фильтрации и аэрации / К. А. Смирнова. – М. : Госстройиздат, 1968. – 171 с.

10 Свойства пористой проницаемой керамики на основе монофракционных порошков корунда и нанодисперсного связующего / Б. Л. Красный [и др.] // Стекло и керамика. – 2009. – № 6. – С. 18–21.

11 Фильтрующие стеклокерамические пористые материалы для очистки воды / М. И. Рыщенко [и др.] // Экология и промышленность. – 2009. – № 1. – С. 33–35.

12 Пористые элементы дисковых аэраторов, спеченные из губчатого порошка титана: изменение свойств после регенерации / Л. П. Пилиневич [и др.] // Порошковая металлургия. – 2010. – № 33. – С. 306–309.

POROUS MATERIALS OF FILTERS AND AERATORS FOR WATER TREATMENT BY DIFFERENT METHODS

*V. V. SAVICH¹, D. YU. VERBITSKY¹, R. P. GOLODOK¹, I. A. NIKITINA¹, L. P. PILINEVICH²,
A. M. TARAIVICH¹*

¹Institute of Powder Metallurgy named after Academician O.V. Roman, Minsk, Republic of Belarus,

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

*С. В. СТЕПАНОВ¹, О. В. ХАРЬКИНА², П. П. АВДЕЕНКОВ¹,
М. В. ЛАЗУНИН³*

*¹Самарский государственный технический университет,
Российская Федерация*

stepanovsv3@yandex.ru, avdeenkovpp@mail.ru

*²Архитектура водных технологий, г. Москва, Российская Федерация
okh@watertec.ru*

*³ЭкоСмарт, г. Самара, Российская Федерация
artseven@mail.ru*

Актуальность. Для технологического расчета сооружений аэробной биологической очистки сточных вод в мировой практике наиболее часто применяются теоретические методики, в основе которых лежат классические уравнения ферментативной кинетики. При этом умение применять ту или иную методику требует высокой квалификации как с точки зрения понимания биохимических процессов и их расчета, так и интерпретации результатов. Для автоматизированного расчета может быть использовано программное обеспечение, которое, во-первых, в основном, имеет иностранное происхождение, а, во-вторых, ограничено только моделированием работы очистных сооружений и является сложным для использования персоналом очистных сооружений.

Цель работы – разработать математическую модель и основанное на ней программное обеспечение, позволяющее рассчитывать качество очищенной сточной воды, сравнивать его с требуемым и выдавать технологу количественные и качественные рекомендации по внесению изменений в технологический режим работы очистных сооружений.

Основные результаты. В работах [1, 2] был проведен анализ теоретических и эмпирических моделей, предлагаемых для технологического расчета сооружений биологической очистки. Одним из недостатков представленных моделей является то, что они направлены на решение «прямой задачи», когда при проектировании требуется определить параметры аэротенков при известном качественном и количественном составе исходных и очищенных сточных вод. В случае, когда необходимо решить эксплуатационную задачу, т. е. «обратную» – требуется определить качественный состав очищенных сточных вод при известном качественном и количественном составе исходных сточных вод, а также при известных параметрах аэротенков, то такой расчет

выполняется методом подбора, что является архаичным и трудозатратным подходом. Однако решение «обратной задачи» является крайне необходимым при эксплуатации, реконструкции и/или модернизации существующих очистных сооружений.

Поскольку именно теоретические модели являются научно обоснованными и позволяют снизить риски недостижения проектного качества очищенных сточных вод, то для разработки новой математической модели за основу были взяты методики ВОДГЕО/СамГТУ [3] и *ASM2d* [4].

В основе разработанного нами программного обеспечения лежит математический аппарат из 173 формул, манипулирующий 76 переменными величинами, которые описывают биохимические процессы, происходящие в аэротенках, работающих по любой технологии, в том числе с удалением азота и фосфора.

Верификация разработанной математической модели была проведена на городских канализационных сооружениях городского округа Самары на отдельно взятом технологическом блоке аэротенка – вторичном отстойнике производительностью 46,8–61 тыс. м³/сут. Были определены значения всех необходимых для расчета кинетических констант и коэффициентов. Разработанная математическая модель показала высокую точность совпадения расчетных и фактических концентраций загрязнений в очищенной сточной воде. Для создания программного обеспечения разработанный математический аппарат был написан на языке программирования *Python*, что связано с дальнейшим расширением функционала, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Данное программное обеспечение осуществляет сбор информации о количественном и качественном составе сточных вод с имеющихся на очистных сооружениях электронных журналов. Далее программа выполняет в статическом и динамическом режиме расчет качественного состава очищенных сточных вод по ХПК, БПК₅, взвешенным веществам, аммонии, нитритам, нитратам и фосфатам.

Поскольку современные сооружения биологической очистки представляют собой сложный комплекс технологических элементов различного назначения, их эффективная работа во многом зависит от решений, принимаемых технологом. При реконструкции очистных сооружений зачастую меняется технология очистки сточных вод, например, реализуется биологическое удаление азота и фосфора, при этом в принимаемые технологом решения, в сравнении с первоначальной технологией, должны быть внесены изменения. Для принятия правильных решений необходим практический опыт эксплуатации сооружений, работающих по новой технологии, которого часто не хватает. Поэтому в функционал разрабатываемого программного обеспечения была включена функция выдачи количественных и качественных рекомендаций. Программа сравнивает требуемое и расчетное качество очищенных сточных вод и при превышении последнего выдает рекомендации по

изменению технологических параметров работы очистных сооружений (концентрации растворенного кислорода, расхода нитратного рецикла, расхода избыточного и возвратного активного ила). Данные рекомендации позволяют скорректировать работу аэротенков таким образом, чтобы в существующих объемах сооружений добиться максимально возможной эффективности очистки. Пример работы программного обеспечения представлен на рисунке 1.

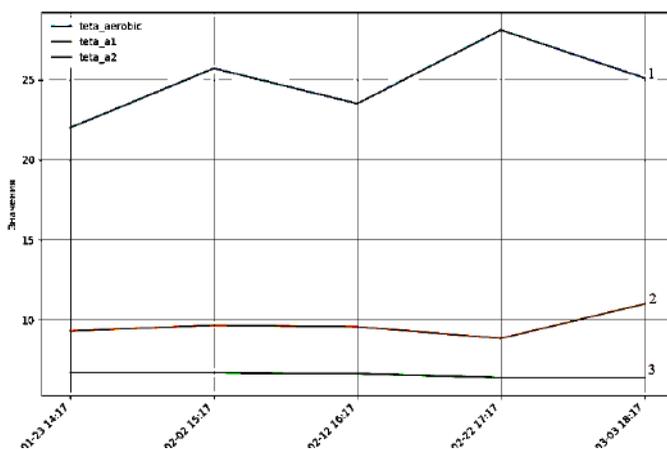


Рисунок 1 – Пример динамической работы программного обеспечения (при температуре 22 °С):

- кривая 1 – фактический аэробный возраст активного ила;
- кривая 2 – расчетный возраст активного ила для достижения требуемой концентрации азота аммонийного;
- кривая 3 – расчетный возраст активного ила для достижения требуемой концентрации азота нитритов

Более того, программное обеспечение позволяет определить оптимальные технологические параметры при изменении качественного и количественного состава сточных вод на входе в очистные сооружения, т. е. принять меры до фактического изменения качественного состава очищенных сточных вод, что позволяет уменьшить плату за загрязнение окружающей среды. Выдаваемые программным обеспечением рекомендации могут позволить снизить эксплуатационные затраты за счет отключения (периодического или постоянного) части оборудования (избыточная концентрация растворенного кислорода, избыточный вывод активного ила и т. д.).

Выводы. Разработано программное обеспечение для моделирования процессов биологической очистки сточных вод в аэротенках, в основе которого лежит новая математическая модель, основанная на теоретических методиках ВОДГЕО/СамГТУ и *ASM2d*. Программное обеспечение позволяет в

статическом и динамическом режиме вести расчет очистных сооружений по ХПК, БПК₅, взвешенным веществам, соединениям азота и фосфора. Далее происходит сравнение требуемого и расчетного качества очищенных сточных вод и при превышении последнего выдача рекомендаций по изменению технологических параметров работы очистных сооружений (концентрации растворенного кислорода, расхода нитратного рецикла, расхода избыточного и возвратного активного ила). Данные рекомендации позволяют скорректировать работу аэротенков таким образом, чтобы в существующих объемах аэротенков добиться максимально возможной эффективности очистки. Программное обеспечение за счет оптимизации технологических параметров очистных сооружений позволяет уменьшить плату за загрязнение окружающей среды и эксплуатационные затраты.

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 **Швецов, В. Н.** Сравнение результатов расчета аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d / В. Н. Швецов, С. В. Степанов, О. В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника – 2021. – № 5. – С. 18–29. – DOI : 10.35776/ VST. 20 21.05.02.

2 **Харькина, О. В.** Сравнение результатов расчета аэротенков по методу Даниловича – Эпова и модели ASM2d (1) / О. В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 5. – С. 20–31. – DOI : 10.35776/VST.2022.05.03.

3 **Швецов, В. Н.** Расчет сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод в аэротенках с удалением биогенных элементов / В. Н. Швецов, К. М. Морозова, С. В. Степанов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 9. – С. 26–38.

4 Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]; пер. с англ. – М. : Мир, 2004. – 480 с.

SOFTWARE FOR SIMULATION OF PROCESSES OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT IN AEROTANKS

S. V. STEPANOV¹, O. V. KHARKINA², P. P. AVDEENKOV¹, M. V. LAZUNIN³

¹Samara State Technical University, Russian Federation,

²Water technology architecture, Moscow, Russian Federation,

³EcoSmart, Samara, Russian Federation

УДК 556.5.06 (476)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

А. А. ВОЛЧЕК

*Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь
Volchak@tut.by*

Актуальность. Территория Белорусского Полесья располагает наименьшими водными ресурсами по сравнению с другими районами Беларуси, и, по мнению экспертов, в первую очередь здесь могут наблюдаться дефициты водохозяйственного баланса. Вопросы нерационального и неэффективного потребления водных ресурсов, высокие удельные расходы воды в промышленности, агропромышленном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве требуют первоочередного решения [1].

Цель работы – выполнить комплексный анализ использования водных ресурсов Белорусского Полесья.

Основные результаты. Накопленный статистический материал водопотребления по отраслям экономики и его динамика позволяют выполнить комплексный анализ состояния водопотребления в Белорусском Полесье и своевременно выявить происходящие процессы, что позволит наметить пути минимизации негативных последствий и реализовать их. По материалам статистической отчетности РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» – сводные данные «Водные ресурсы, их использование и качество вод за 2000–2022 годы» были структурированы, проанализированы с представлением динамики использования водных ресурсов Белорусского Полесья.

В связи с тем, что почти вся территория Брестской и Гомельской областей располагается в рамках Белорусского Полесья, а основные показатели потребления водных ресурсов публикуются по областям, обобщенные результаты, полученные по Брестской и Гомельской областям, без существенных искажений будут характеризовать картину водопотребления и Белорусского Полесья в целом.

Динамика водопотребления Белорусского Полесья представлена на рисунке 1. Отмечается общая тенденция снижения потребления воды.

До 2003 г. наблюдался рост общего забора воды, а затем до 2020 г. этот показатель систематически уменьшался, незначительное увеличение общего забора воды было отмечено лишь в 2011, 2012, 2021 гг. Это вызвано различными факторами, среди которых в первую очередь следует отметить спад экономики в данные периоды времени, переход на современные маловодоёмкие технологии, изменение политики в области водопотребления и водопользования направленной на рациональное использование водных ресурсов и т. д.

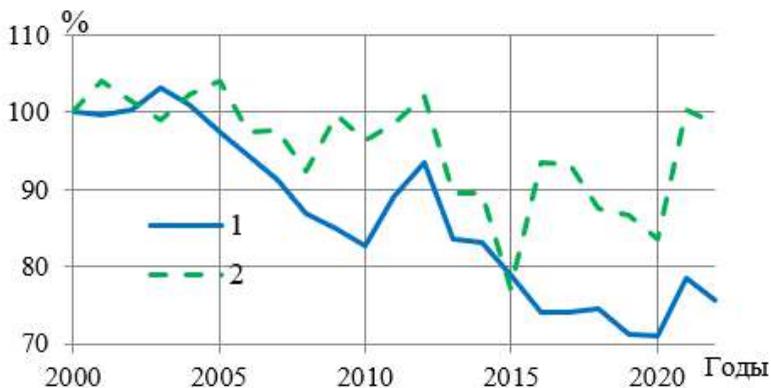


Рисунок 1 – Динамика использования водных ресурсов и сброса загрязнённых сточных вод на Белорусском Полесье, %:
1 – общее водопотребление свежей воды; 2 – сброс сточных вод

Снижение забора пресной воды составило в 2000–2022 гг. 126,56 млн м³. В то же время объёмы водоотведения (сброса) всех видов сточных вод в поверхностные водные объекты до 2012 г. оставались практически на одном и том же уровне. К 2015 г. этот показатель сократился на 24 %, а затем вновь увеличился к 2022 г. Это происходит за счет неадекватного изменения водоотведения в накопители, на поля фильтрации, а также свидетельствует об учтенных данных ливневой канализации предназначенной для сбора воды – дождевой, а также образующейся в результате таяния снега и льда.

Анализ данных по использованию водных ресурсов как на региональном, так и на отраслевом уровнях осуществлялся в каждом конкретном случае с учетом всех видов использования воды – хозяйственно-питьевое, производственное, сельскохозяйственное водоснабжение, рыбо-прудовое хозяйство. Использование пресной воды на все нужды на Полесье в 2022 г. составило 394,94 млн м³ против 521,5 в 2000 г. Следует учитывать, что в этот период происходило упорядочение хозяйственно-бытового водоснабжения, экономия подачи воды в распределительные сети, установка водомерных устройств, стимулирующих учет и более рациональное водопользование в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей экономики. Основные отличия сельскохозяйственного водоснабжения от промышленного заключаются в рассредоточенности потребителей и сезонной цикличности производства. Вода в данной отрасли расходуется в значительных количествах на хозяйственно-питьевые нужды населения, на животноводческих фермах, на предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, на приготовление жидких подкормок для пропашных культур, на охлаждение двигателей сельскохозяйственных машин и автомобилей, на полив растений в парниках и теплицах и т. д. С 2000 г. прослеживается незначительное уменьшение сельскохозяйственного водоснабжения по Белорусскому Полесью с 44,9 млн м³/год до 32,8 млн м³/год (к 2008 г.), а затем постепенное увеличение до 41,43 млн м³/год (к 2022 г.). Снижение использования воды на сельскохозяйственные нужды объясняется рядом проблем, таких как аварийное состояние и высокий износ элементов систем водоснабжения, недостаточное оснащение сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств приборами учета расхода воды, увеличение доли убыточных сельскохозяйственных организаций, уменьшение численности населения в селах. Дальнейшее постепенное увеличение объемов водоснабжения в сельском хозяйстве связано с возрождением и развитием, что потребовало удовлетворения потребностей сельского населения и сельскохозяйственных предприятий в качественной питьевой воде за счет реконструкции и развития систем центрального и локального водоснабжения, обеспечения технического и технологического переоснащения агропромышленного комплекса.

В промышленном секторе вода используется для различных целей, как правило, в качестве теплоносителя или охлаждающего средства, для мойки гидротранспорта продукции и сырья, для парообразования и т. д. На период с 2000 по 2016 гг. по Белорусскому Полесью произошло снижение водопотребления в производстве на 44 %. Это вызвано сокращением производств, внедрением современных водосберегающих технологий, фундаментальных разработок в области ресурсосбережения и энергосбережения, расширением оборотного и последовательного водоснабжения и т. д. С утверждением Положения о порядке разработки и согласования технологических нормативов водопотребления и водоотведения от 24.07.2008 г. использование воды на промышленные нужды стало более рациональным и экономным.

На период с 2017 по 2022 гг. увеличение объема водопотребления по Белорусскому Полесью происходит за счет ввода в эксплуатацию и выхода на проектную мощность ряда крупных производственных объектов деревообработки. На промышленных предприятиях значительный объем потребляемой воды приходится на системы оборотного и повторного (последовательного) водоснабжения. Обустройство таких систем водоснабжения значительно снижает объем сбрасываемых в водоем промышленных стоков и снижает уровень его загрязненности и, соответственно, улучшает качество воды в водных

объектах. Рыбное хозяйство непосредственно связано с использованием водных ресурсов и предъявляет высокие требования к качественным и количественным характеристикам природных вод.

Для успешного воспроизводства и нормального развития рыбы необходимы чистая вода с достаточным количеством растворенного кислорода и отсутствием вредных примесей, соответствующая температура. Нормативы качества воды для рыбохозяйственных объектов более строгие, чем для источников питьевого водоснабжения.

Водопотребление в рыбо-прудовом хозяйстве было максимальным в 2012 г., доля промыслового улова рыбы составила 55 % от общего республиканского уровня. С 2013 по 2022 г. динамика использования водных ресурсов на нужды рыбо-прудового хозяйства заметно уменьшилась. Одним из факторов снижения водопотребления стали достаточно засушливые 2014–2015 гг., когда средняя температура воздуха превышала климатическую норму, также наблюдалось отклонение от нормы среднего количества осадков по Белорусскому Полесью. Острый дефицит воды в этот период привел к сокращению площадей для нагула рыбы и увеличению зарастаемости прудов. В ряде рыбоводных хозяйств уровень воды в нагульных прудах составлял от 20 до 50 % от норматива, что не позволило проводить полноценное кормление и обеспечить плановые приросты товарной рыбы и рыбопосадочного материала. В результате эта ситуация отразилась на продуктивности водных угодий.

Другим фактором снижения водопотребления в рыбо-прудовом хозяйстве в последние годы стали нарушения технологии производства рыбы, что привело предприятия к серьезным убыткам.

По структуре водопользования в Белорусском Полесье в 2000 г. 41 % забираемой из водных объектов воды использовался на хозяйственно-питьевые нужды, 33 % – на производственные, 26 % – на сельскохозяйственные, включая рыбо-прудовое хозяйство. К 2022 г. произошли изменения в объемах забираемой воды, повлекших за собой и преобразования в структуре водопользования, отражающиеся в первую очередь на социальной составляющей водопотребления. Объем расходования воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение снизился до 36 %, в промышленности – до 23 %, доля расхода воды на сельскохозяйственные нужды составила 11 %, водопотребление рыбо-прудовых хозяйств увеличилось с 17 до 31 %.

Выводы. Забор воды из источников составляет несколько процентов от среднего годового стока. Однако уже сейчас сравнение потребности в воде с ее наличием в основных водосборах рек с трудом увязывается в водохозяйственном балансе.

Основные причины: непропорциональность размещения водоемких потребителей распределению водных ресурсов по территории; значительные колебания стока от года к году.

Значительная часть водопотребления не поддается или не подлежит сокращению, например, испарение воды с поверхности водохранилищ, снижению

норм коммунально-бытового водопотребления. Соответственно, деятельность по сокращению водопотребления должна быть направлена на уменьшение ее затрат в коммунальном и промышленном водоснабжении, на уменьшение потерь воды в системах водоснабжения. Каждое из этих направлений требует больших материальных и трудовых затрат.

Список литературы

1 Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и экологические риски / А. А. Волчек // Вопросы географии / Русское географическое общество. – Сб. 157. Водные проблемы и их решение / редкол. : В. М. Котляков [и др.] – М. : Медиа-ПРЕСС, 2023. – С. 81–104.

USE OF WATER RESOURCES OF BELARUSIAN POLESIE

A. A. VOLCHAK

Brest State Technical University, Republic of Belarus

УДК 332.142:628(476)

СОГЛАСОВАНИЕ ИНТЕРЕСОВ ЭКОЛОГИИ И СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

А. А. ВОЛЧЕК, Л. В. ОБРАЗЦОВ, П. В. ШВЕДОВСКИЙ
Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь
Volchak@tut.by

Актуальность. Воздействие человека на природу на протяжении исторического периода расширялось и увеличивалось. В то же время экологическая ситуация в последние годы оставалась относительно благополучной. Высокие темпы экономического роста не сопровождались усилением воздействия на окружающую среду. Вместе с тем продолжают действовать факторы, вызывающие проблемные ситуации, связанные с загрязнением окружающей природы и деградацией природно-ресурсного потенциала. Они обусловлены функционированием производственного комплекса, трансграничным переносом загрязняющих веществ, наличием на территории унаследованных проблем, не решенных в прошлом.

Расширение и развитие современных водохозяйственных объектов особо нуждается в реконструкции и переоснащении существующих комплексов, сооружений, их модернизации и расширении.

Реконструкция систем водообеспечения и их техническое переоснащение не только экологическая, но и социальная проблема [1, 2].

Основными вопросами и проблемами экологии остаются сохранение потребности в санитарно-защитных зонах, учет розы ветров, рельефа местности, конфигурации участка. Так же остро стоит проблема интенсивного наращивания мощностей предприятий и строительства. При строительстве новых объектов учитывать экологические проблемы достаточно просто, но при реконструкции возникает ряд дополнительных проблем.

Все сооружения водопотребления и водоотведения можно назвать строительными объектами. Проведение локальных модернизаций, капитальных ремонтов не позволяет кардинально решить проблему, так как зачастую мощности подходят к критической черте. При этом всегда присутствуют дополнительные, как минимум, две проблемы: отсутствие свободных площадей для расширения объектов и поступление с определенной периодичностью жалоб со стороны жителей прилегающих жилых зон.

Сегодня баланс интересов государства, экологических и строительства при реконструкции не приближен к взаимопониманию как в социальной, так и в материальной составляющих.

Цели работы:

- всестороннее рассмотрение и определение ориентирования масштаба возможных экономических и, как следствие, социально-экономических и иных последствий планируемых действий;

- определение видов воздействия на системы водохозяйственной деятельности и возможное прогнозирование состояния в результате реализации мероприятий по детальному обследованию и реализации проектных решений;

- поиск (и анализ) оптимальных, альтернативных проектных решений, способствующих предотвращению или минимизированию возможного значительного последующего вредного воздействия на окружающую среду.

В рамках данной работы реализованы следующие задачи:

- выполнен анализ исходных данных последующих проектных решений;

- произведена оценка реализованных проектных решений с точки зрения их эксплуатационной пригодности и экологической безопасности в рамках соблюдения основных нормативных требований экологического, строительного и иного законодательства;

- на основе выбранных объектов-представителей дана реальная картина существующего состояния исследуемых систем.

К настоящему времени в Республике Беларусь проделана широкомасштабная работа по строительной экологической оценке (СЭО) при разработке тех или иных проектов общего планирования «Схем комплексной территориальной организации» (СКТО) районов.

Реконструкция очистных сооружений с увеличением степени очистки по ряду основных компонентов является одним из приоритетных природоохранных направлений Беларуси и обеспечит снижение экологической нагрузки на бассейн Балтийского моря.

Реализация такого рода проектов позволяет обеспечить эффективное снижение загрязнений очищаемых коммунальных и производственных сточных вод с использованием современных технологий очистки стоков.

В качестве альтернативного варианта по планируемой хозяйственной деятельности предлагается нулевой вариант – отказ от реконструкции действующих канализационных сооружений.

Отказ от реконструкции ограничивает возможности улучшения качества вод водоприемников сточных вод и сокращения общей эвтрофикации Балтийского моря, в которое впадают реки северо-западного региона. Это отрицательно скажется на природоохранной деятельности Республики Беларусь [2].

Рассмотрение технической составляющей (конструкций и сооружений) целесообразно представить на ряде примеров водохозяйственных объектов Брестской области.

В Брестской области в период с 2010 по 2020 гг. в этом направлении выполнен ряд характерных работ:

- начато техническое обследование с целью реконструкции КНС № 6 в г. Бресте;
- очистные сооружения в г. Бресте, г. Пружаны;
- резервуар-усреднитель на очистных сооружениях г. Иваново;
- насосная станция обработки осадков на очистных сооружениях в г. Барановичи и ряд других.

Целью вышеперечисленных работ является определение фактического технического состояния и возможность дальнейшей нормальной эксплуатации основных строительных конструкций (несущих и ограждающих) перечисленных объектов.

Работы по обследованию выполнялись по программе для данного вида работ и могли подвергаться корректировке.

Все работы произведены по традиционной методике и сгруппированы в три блока:

- а) изыскательские работы по обследованию;
- б) оценка технического состояния конструкций объекта;
- в) составление заключения с выводами, разработка указаний (рекомендаций) по дальнейшей нормальной эксплуатации объекта в целом и отдельных строительных конструкций с учетом выявленных дефектов и повреждений.

Основные результаты. Ввиду отсутствия проектных данных по объектам обследования, техническое решение основных несущих элементов зданий было получено в процессе выполнения работ по детальному обследованию.

И далее определялись прочность бетона (в бетонных и железобетонных элементах) соответственно во всех обследуемых конструкциях как среднее по участкам. Выявлялись дефекты, деформации, раскрытие трещин, нарушение защитного слоя и пр.

Например, железобетонные стены и днища конструкций приемной камеры имели дефекты и повреждения, появление которых следует связывать

с качеством строительно-монтажных работ, качеством изготовления конструкций и условиями эксплуатации.

Дефекты можно классифицировать следующим образом:

- химическая коррозия бетона, биологическая коррозия бетона стен;
- разрушение защитного слоя бетона в зонах рабочей и конструктивной арматуры стен, коррозия арматуры панелей;
- разрушение защитного слоя бетона арматуры стен, вымывание, истирание поверхности бетона стен без обнажения и с обнажением конструктивной и рабочей арматуры стен. Возникновение данных дефектов следует связывать с высокой турбулентностью потока нечистот;
- дефекты изготовления;
- химическая коррозия бетона, биологическая коррозия бетона стен;
- разрушение (отслоение), вымывание, истирание поверхности защитного слоя бетона рабочей и конструктивной арматуры;
- деструкция (размораживание) бетона стен.

Многолетний опыт в области обследования зданий и сооружений позволяет заключить, что дефекты, выявленные в процессе эксплуатации строительных конструкций, возникают, как правило, из-за недостатка надзора на всех этапах создания и эксплуатации зданий и сооружений инженерно-техническими службами всех уровней. При этом ранее была возможность для возникновения конфликта интересов и незаинтересованности исполнителей при возведении данных зданий. А также отсутствие достаточной квалификации рабочих и ИТР, осуществляющих выполнение СМР. И, главное, неспособность выполнения анализа и предвидения последствий некачественно выполненных работ.

В настоящее время внедрение в практику строительства инновационных технологий, строительных материалов, конструкций, изделий, переход на комплексное проектирование, внедрение системы новых ТНПА, СН, СП систем управления проектами и систем менеджмента качества позволяет, во многом, оперативно исключать дефекты и давать оценку техническому состоянию зданий.

Совокупная оценка технического состояния конструкций очистных сооружений (исследуемых) представлялась комплексно и основывалась на требованиях нормативно-правовых документов.

В частности, это касается:

- оценки технического состояния строительных конструкций или инженерных систем;
- степени ответственности конструкции объекта, ответственности элемента или его участка, в котором обнаружен дефект;
- влияния дефектов на несущие свойства строительных конструкций или инженерных систем; степени распространения дефектов;
- категории технического состояния конструкции объекта (ее отдельного участка) в зависимости от класса дефектов, степени их распространения, а также от степени ответственности участка;

- классификации дефектов по группам показателей, не связанных непосредственно с несущей способностью конструкций; степени риска;
- уровня негативных последствий; физического износа конструкций объекта; факторов влияния (определяющих уровень их дефектности и подлежащих анализу) объекта (строительных конструкций);
- уровня негативных последствий, определяемого согласно СТБ ISO 15686-7-2015 и ТКП 45-1.04-305-2016 и имеющего пять уровней негативных последствий и соответствующих уровней ущерба.

На основании выявленных дефектов и повреждений дается общая оценка технического состоянию конструкций либо конструктивных элементов сооружений по классификации соответствующих нормативных документов.

Выводы. Необходимость применения и реализации новых проектных решений на основе прогноза и оценки изменения существующих систем водохозяйственной деятельности обеспечит минимизацию воздействий и нагрузок на сложившуюся природную среду в районе размещения этих объектов. Своевременные работы по реконструкции водохозяйственных систем должны минимизировать и исключить факты нарушений природоохранного законодательства, исключить нарушение на всех технологических процессах, и что важно, предотвратить аварийные ситуации, влекущие за собой нанесение ущерба окружающей среде.

Список литературы

1 Волчек А. А., Организационно-экономические и экологические аспекты модернизации водохозяйственных объектов жилищно-коммунального хозяйства в западном трансграничном регионе Беларуси / А. А. Волчек, Л. В. Образцов, П. В. Шведовский. – Минск : РИВШ, 2020. – 176 с.

2 Эколого-экономические и организационно-управленческие аспекты в решении задач оптимального функционирования водохозяйственных систем : [монография] / А.А. Волчек [и др.] – Москва ; Берлин : Директ-Медиа , 2021. – 244 с.

COORDINATION OF INTERESTS OF ECOLOGY AND CONSTRUCTION DURING RECONSTRUCTION OF PUBLIC SERVICES FACILITIES

A. A. VOLCHEK, L. V. OBRAZTSOV, P. V. SHVEDOVSKY

Brest State Technical University, Republic of Belarus

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. КОТЛАСА

А. В. ГРИЩЕНКО

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

Актуальность. Большинство очистных сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, были построены несколько десятилетий назад, и к настоящему моменту имеют 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 – разработка рекомендаций по реконструкции очистных сооружений на основе проведенного обследования и анализа эффективности их работы.

Основные результаты. Обследуемые очистные сооружения были построены в 1988 г. проектной производительностью 30 000 м³/сут. Хозяйственно-бытовые сточные воды составляют 60–70 % от общего количества сточных вод, поступающих на очистку, производственные сточные воды – 30–40 %, но ввиду отсутствия специальных технологических процессов, близки по своему составу к хозяйственно-бытовым.

Согласно проведенным расчетам, фактический средний суточный расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, составляет 15 500 м³/сут. В течение суток сточные воды на очистные сооружения поступают неравномерно.

По содержанию органических загрязнений сточные воды можно отнести к среднеконцентрированным (так как БПК₅ находится в пределах более 150–230 мг/дм³, а взвешенные вещества в пределах 150–250 мг/дм³). По содержанию биогенных элементов сточные воды можно отнести к высококонцентрированным: по азоту аммонийному средние концентрации превышают 35 мг/дм³, по фосфору фосфатному – превышают 3 мг/дм³.

Для эффективной работы очистных сооружений по снижению органических загрязнений и для успешного протекания процесса биоокисления в сточной воде должны находиться биогенные элементы с минимальным количеством: на каждые 100 мгО₂/дм³ БПК₅ необходимо не менее 5 мг/дм³ азота аммонийного и 1 мг/дм³ фосфора фосфатов.

На основании анализа материального баланса очистных сооружений установлено:

- 1) в сточных водах наблюдается избыток биогенных элементов;

2) для интенсификации биологической очистки необходимо предусмотреть мероприятия по удалению азота и фосфора.

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.

На сегодняшний день комплекс очистных сооружений и технологическое оборудование не соответствуют современным требованиям очистки сточных вод.

Концентрации загрязняющих веществ на выпуске не соответствуют допустимым нормам на сброс в водоем. Превышения отмечены по следующим показателям: взвешенные вещества, БПК₅, фосфаты, аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, нефтепродукты, железо, СПАВ.

Существующая технологическая схема очистки сточных вод не соответствует требованиям наилучших доступных технологий:

- удаление грубодисперсных примесей из сточных вод до основных технологических стадий очистки – частично соответствует требованиям НДТ [1] в существующей технологической схеме;

- отмывка отбросов и осадка песколовок от взвешенных веществ – отсутствует в существующей технологической схеме;

- обработка жидких бытовых отходов (ЖБО) перед сбросом в поток сточных вод на специально оборудованных сливных станциях, с извлечением и обработкой грубодисперсных примесей в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями – отсутствует в существующей технологической схеме;

- глубокое удаление азота и химического осаждения фосфора – отсутствует в существующей технологической схеме;

- обеззараживание очищенных вод хлором с дехлорированием – частично соответствует требованиям [1], так как отсутствует дехлорирование очищенных сточных вод;

- отсутствует стадия механического обезвоживания осадка.

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) установку горизонтальной песколовки с круговым движением воды на 2 отделения;

4) ремонт распределительной камеры первичных отстойников с заменой щитовых затворов, площадки обслуживания, ограждений и лестницы;

5) ремонт первичных отстойников с установкой нового технологического оборудования: полупогружной доски, сборной камеры, устройства для удаления плавающих веществ, зубчатого водослива, илоскреба;

6) ремонт насосной станции сырого осадка с заменой насосного оборудования;

7) реконструкцию 4 секций однокоридорного аэротенка с монтажом нового технологического оборудования и выделением зон, обеспечивающих глубокое удаление азота и фосфора;

8) реконструкцию четырех вторичных отстойников с монтажом нового технологического оборудования;

9) применение обеззараживания очищенных сточных вод перед выпуском в водный объект.

Выводы. Существующий комплекс очистных сооружений и технологическое оборудование г. Котласа Архангельской области не отвечает современным требованиям по очистке сточных вод. Разработанные рекомендации по реконструкции и модернизации всего комплекса очистных сооружений обеспечат качество очищенных сточных вод на выпуске без превышения допустимых концентраций.

Список литературы

1 ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». – М. : Бюро НДТ, 2019.– 434 с.

2 **Новикова, О. К.** Реконструкция систем водоснабжения и канализации : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 198 с.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE TREATMENT FACILITIES IN KOTLAS

A. V. GRISHCHENKO

Belarusian State University of Transport, Gomel

ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ «СИНЕЙ» ИНФРАСТРУКТУРЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С. А. ДУБЕНОК, К. Н. ШАВЕЙКО

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
dsnega@list.ru, ksukseroks@gmail.com*

Актуальность. В результате интенсивного развития городов застроенные территории всё более уплотняются, что ведет к постоянному увеличению доли твердых водонепроницаемых покрытий и, как следствие, к увеличению подтопления территорий в период выпадения интенсивных осадков. При этом с учётом роста интенсивности осадков в последние десятилетия, вызванного изменением климата, проблема приобретает всё более масштабный характер.

В процессе развития городов в первую очередь существенным образом меняются условия формирования и отведения поверхностных сточных вод (дождевых, талых). На формирование стока оказывают влияние разные факторы, основным из которых является ускорение стока за счет изменения регулирующей и аккумулирующей способности урбанизированных территорий. Строительство зданий, дорожной сети, парковок, асфальтирование больших площадей ускоряют прохождение поверхностных сточных вод, пропускная способность систем дождевой канализации оказывается неспособной пропускать катастрофические быстро сформировавшиеся максимальные расходы дождевого стока; возникают подпоры на сети дождевой канализации, что, в свою очередь, приводит к интенсивному подъему уровней воды на отдельных участках и их подтоплению. Для коллекторов, непосредственно имеющих выпуски в водотоки в черте города, отведение в них поверхностных сточных вод может зависеть от уровня режима реки, что также может приводить к подпору сети и затоплению прилегающей территории.

Кроме того, развитие городов имеет тенденцию к сокращению лесопарковых территорий и растительности в целом, которая перехватывает, замедляет и возвращает осадки в воздух через испарение и транспирацию. При этом тенденция к уплотнению городских районов и увеличению непроницаемых поверхностей уменьшает количество воды, которая проникает в почву и грунтовые воды, тем самым уменьшая количество воды, которая подпитывает водоносные горизонты и питает городские водоемы и водотоки в периоды сухой погоды. В городских ландшафтах в основном доминируют бетон, асфальт, кровельные материалы, формируя искусственную экосистему городской среды. Как правило, на урбанизированных территориях 60–70 % поверхности является непроницаемой для воды. Вода, которая попадает на

водонепроницаемые поверхности (крыши зданий, дорожное покрытие, бульвары, тротуары, парковки и др.), не может впитаться в землю и формирует поверхностные сточные воды, собирая загрязняющие вещества, такие как взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы, хлориды, органические соединения, которые при отсутствии дождевой канализации и (или) очистных сооружений поступают в поверхностные водные объекты на городской территории, загрязняют почву и подземные воды.

В настоящее время в населенных пунктах, не имеющих подземной (трубопроводной) дождевой канализации, поверхностные сточные воды, как правило, стекают на прилегающую территорию и газоны без какой-либо очистки, провоцируя развитие овражно-балочной сети, размыв грунта. Обычно в населенных пунктах уровень грунта на газонах и иных участках прилегающей к проезжей части и тротуарам территории выше поверхности проезжей части или тротуара, что приводит к образованию скоплений воды на покрытии, вымыванию грунта с газонов и прилегающих территорий, создавая участки загрязнений на тротуарах и улично-дорожной сети. Сбор дождевых и талых вод с помощью открытой системы водоотведения зачастую нарушает эстетичность городской среды, создает препятствия для пешеходного движения.

Например, в Минске за период 2021–2023 гг. наблюдались регулярные подтопления отдельных участков города в период интенсивных летних осадков (рисунок 1), обусловленные двумя основными причинами: недостаточной пропускной способности коллекторов дождевой канализации на отдельных участках и скоплением дождевой воды в понижениях рельефа на участках с высоким коэффициентом стока. На территории Минска риску подтопления в период выпадения экстремальных осадков подвержены около 70 участков с различной степенью благоустройства.

В результате подтопление городских территорий приводит не только к деградации природных ресурсов, но и нарушению условий, необходимых для нормальной эксплуатации зданий и сооружений, нарушениям в работе транспорта и сопровождается высокими экономическим затратам на ликвидацию последствий от выпадения экстремальных осадков.

Как альтернатива традиционным методам управления поверхностными сточными водами, ориентированным на сбор, транспортировку и отведение сточных вод в близлежащие водные объекты, всё большее развитие в городах различных стран получает «синяя» инфраструктура – и не только как элемент инженерного благоустройства систем дождевой канализации, а прежде всего, как концепция эффективного комплексного управления поверхностными сточными водами, интегрированная в городскую систему управления на всех уровнях: от градостроительного планирования до эксплуатации и обслуживания.



06.08.2021



05.07.2022



18.07.2023

Рисунок 1 – Подтопление отдельных участков г. Минска в период 2021–2023 гг.

Цель работы – обобщение и анализ возможных вариантов управления поверхностными сточными водами (дождевыми и талыми) путем их интеграции в застроенную городскую территорию.

Существующая традиционно сложившаяся система управления поверхностными сточными водами на урбанизированных территориях в разных странах показывает, что основные элементы системы дождевой канализации преимущественно выполняют одну из основных функций:

- транспортирование поверхностных сточных вод в окружающую среду;
- накопление (аккумулирование) поверхностных сточных вод с последующим использованием (после очистки или без нее);
- инфильтрация поверхностных сточных вод.

В рамках исследования проанализированы основные подходы и принципы по развитию «синей» инфраструктуры и их отличия от традиционных методов управления поверхностными сточными водами, преимущества и ограничения применения «синей» инфраструктуры, в том числе, и в условиях Республики Беларусь.

Основные результаты. «Синяя», или «сине-зеленая», инфраструктура возникла во второй половине 1980-х гг., как концепция управления дождевыми водами в период выпадения интенсивных осадков на территориях населенных пунктов.

В США и Канаде концепция получила развитие в виде подхода Low Impact Development (LID), или «развитие с низким уровнем воздействия» [1],

основанного на моделировании и имитации естественных гидрологических процессов на застраиваемой городской территории на стадии ее проектирования, позволяющих накапливать, временно задерживать, фильтровать, испарять, а также использовать дождевые и талые воды в пределах территории их формирования.

В Великобритании концепция получила развитие в начале 1990-х гг. в виде подхода Sustainable drainage system (SuDS), или «устойчивые дренажные системы» [2], основанного на применении методов управления дождевыми и талыми водами с учётом природных особенностей территории и максимальной интеграции водоотводящих систем дождевой канализации в естественные дренажные системы или различные сооружения, обеспечивающие биофильтрацию. Основная цель таких систем – максимально использовать осадки для подпитки водных объектов и поддержания уровня грунтовых вод на застраиваемой территории.

На Ближнем Востоке и в Австралии концепция начала развиваться также в 1990-х гг. в виде подхода Water-sensitive urban design (WSUD), или «водно-чувствительное городское проектирование» [3]. Это более широкий подход к землеустройству и инженерному проектированию, объединяющий полный водный цикл города, включая поверхностные и подземные воды, водоснабжение и управление сточными водами, обращение с дождевыми водами, основная цель которого – свести к минимуму ухудшение состояния окружающей среды и улучшить эстетическую и рекреационную привлекательность города.

В Европейском Союзе концепция получила практическое развитие в начале 2000-х гг., а в марте 2002 г. Комиссия по защите морской среды Балтийского моря (HELCOM) разработала Рекомендацию № 23/5-2002 «Сокращение сбросов с городских территорий посредством правильного регулирования системы ливневых стоков», пересмотренную в июне 2021 г. [4]. Этот документ закрепил в европейском законодательстве понятие «Integrated Storm Water Management (ISWM)», или «интегрированное управление ливневыми водами». Интегрированное управление ливневыми водами определено как комплексный подход к управлению дождевыми и талыми водами, включающий изучение характеристик конкретных территорий, оценку воздействия и применение набора технических решений к индивидуальным ситуациям, т. е. интеграцию управления дождевыми и талыми водами в процессы городского планирования и развития на всех уровнях.

Анализ подходов различных стран показал, что концептуально «синяя» и «сине-зеленая» инфраструктура представляют собой усилия, направленные на смягчение антропогенного воздействия, оказываемого человеком на естественный водный цикл в городской среде, особенно на тенденции поверхностного стока и загрязнения водных объектов в пределах интенсивно застраиваемых населенных пунктов.

В практическом смысле «синяя» инфраструктура ориентирована на при-

сутствие поверхностных сточных вод в городском пространстве в виде различных гидротехнических сооружений, максимально интегрированных в городской ландшафт, выполняющих основные функции дождевой канализации (транспортирование, накопление, инфильтрация), в соответствии с которыми рассматриваемые сооружения можно разделить на три группы:

- наземные системы: бассейны удержания (сухой пруд, мокрый пруд, инфильтрационный пруд), фильтрующие полосы, растительные каналы, «дождевые ручьи», «зеленые» крыши, водопроницаемые покрытия, кюветы (придорожные каналы), дренажные каналы;

- подземные системы: подземные накопители дождевых вод, дождевые дренажные колодцы, фильтрующие колодцы;

- комбинированные системы: биодренажные канавы, биофильтрационные склоны (полосы озеленения), дождевые сады, плантаторы дождевых вод, коробчатые фильтры для деревьев.

При этом решения «синей» инфраструктуры должны соответствовать следующим основным критериям:

- устойчивость в использовании;
- простота в управлении;
- экологическая безопасность;
- эстетическая привлекательность.

Очевидно, что применение тех или иных технических решений «синей» инфраструктуры будет напрямую зависеть от ряда природных и техногенных факторов: условий формирования и отведения поверхностных сточных вод, рельефа и гидрогеологических условий территории, функционального назначения рассматриваемого участка городской территории, исторически сложившейся застройки и др.

Однако, как показывает мировая практика, существует и ряд ограничений в части применения «синей» инфраструктуры. К наиболее распространенным ограничениям можно отнести:

- отсутствие подходящих мест для реализации в существующей сложной инфраструктуре городской застройки;

- отсутствие стандартов проектирования сооружений;

- отсутствие знаний о таких технологиях и технических решениях среди местных органов власти и жителей;

- ложное представление о том, что сооружения «синей» инфраструктуры трудно эксплуатировать и/или стоимость обслуживания таких сооружений высока.

При этом несмотря на то, что проекты и технические решения «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры часто воспринимаются как новые технологии с ограниченным опытом, ряд стран Европейского Союза в настоящее время активно внедряет концепцию «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры как на законодательном уровне, так и путем реализации конкретных проектных решений в крупных городах.

Например, в рамках проекта «Интегрированное управление ливневыми водами» (iWater), реализуемого в городах Европейского Союза в регионе Балтийского моря (Финляндия, Дания, Германия, Эстония, Литва, Латвия, Польша и Швеция), в период 2014–2020 гг. реализован ряд конкретных проектных решений по созданию объектов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры в таких городах, как Рига, Хельсинки, Копенгаген, Кальмар, Гданьск, информация о которых размещена на созданной в рамках проекта международной платформе «Baltic Smart Water Hub» [5]. Данную онлайн-платформу можно рассматривать как один из источников передовых практик в области управления поверхностными сточными водами.

Анализ национального законодательства в области проектирования городской инфраструктуры показывает, что в действующих нормативных правовых актах и технических правовых актах Республики Беларусь отсутствуют требования и проектные решения по обращению с поверхностными сточными водами, за исключением требований по их сбросу в окружающую среду посредством систем дождевой канализации. При этом в ряде национальных стратегических документов, например, в Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года, отмечается необходимость повышения эффективности обращения с поверхностными сточными водами в населенных пунктах с численностью населения 50 тыс. человек и более, в том числе разработка научно обоснованных требований по устойчивому управлению поверхностными сточными водами в населенных пунктах с учетом международного опыта.

Очевидно, что изначально требуется совершенствование национального законодательства в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности по обращению с поверхностными сточными водами на территории населенных пунктов в части закрепления в нем основных технических решений по проектированию и строительству объектов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры.

Одновременно, на основании анализа лучших международных практик, необходимо формирование набора типовых проектных решений по обращению с поверхностными сточными водами, выбранных по совокупности заранее определенных и согласованных всеми заинтересованными органами государственного управления критериев по их применению.

Выводы. В настоящее время в развитых странах осуществляется активное инвестирование средств в «синюю» и «сине-зеленую» инфраструктуру с целью восстановления способности компонентов окружающей среды удерживать воду там, где она выпадает, и использовать ее как ресурс до того, как она превратится в сточные воды. Вместо сбора, транспортировки и очистки дождевых и талых вод на очистных сооружениях, расположенных в нижней части больших зон канализования отдельных городских районов, и последующего её сброса в водные объекты в пределах городской черты, предлагаемая

концепция решает проблему дождевых и талых вод с помощью небольших экономических элементов ландшафта, расположенных в пределах небольших зон канализования.

Применение такого подхода улучшает качество поверхностных водных объектов и их гидрологический режим на городской территории, увеличивает количество грунтовых вод, улучшает эстетический вид городской территории, а следовательно, повышает её общественную ценность.

В настоящее время организация централизованных систем дождевой канализации в населенных пунктах Республики Беларусь осуществляется путем максимального асфальтирования площади водосбора поверхностного стока и укладки закрытых дождевых коллекторов для транспортирования поверхностных сточных вод в водные объекты. Данный путь развития централизованных систем дождевой канализации в условиях интенсивного развития городских территорий и изменяющегося климата приводит к негативным последствиям как для окружающей среды, так и для городской инфраструктуры.

В Республике Беларусь преимущественно получила развитие раздельная система водоотведения, по которой поверхностные сточные воды отводятся по отдельной системе дождевой канализации, что позволяет внедрять ряд технических решений «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры, широко используемых в развитых странах, на системе дождевой канализации практически в любом населенном пункте страны. При этом применение любых технических решений «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры в стране затруднено, поскольку возможность их проектирования и строительства до настоящего времени не закреплена в национальном законодательстве в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности.

Список литературы

1 Зеленая инфраструктура [Электронный ресурс] // Сайт Агентства по охране окружающей среды США. – Режим доступа : <https://www.epa.gov/green-infrastructure>. – Дата доступа : 02.03.2024.

2 Устойчивые дренажные системы [Электронный ресурс] // Сайт Британской геологической службы. – Режим доступа : <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/suds/>. – Дата доступа : 02.03.2024.

3 Водно-чувствительное городское проектирование [Электронный ресурс] // Сайт организации «Water by Design». – Режим доступа : <https://waterbydesign.com.au/>. – Дата доступа : 02.03.2024.

4 Рекомендация ХЕЛКОМ № 23/5-2002 «Сокращение сбросов с городских территорий посредством правильного регулирования системы ливневых стоков» [Электронный ресурс] // Сайт организации HELCOM. – Режим доступа : <https://helcom.fi/helcom-at-work/recommendations/valid-recommendations/>. – Дата доступа : 02.03.2024.

5 Baltic Smart Water Hub [Электронный ресурс] // Сайт международной платформы BALTIC SMART WATER HUB. – Режим доступа : <https://www.balticwaterhub.net/topic/storm-water>. – Дата доступа : 02.03.2024.

THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF “BLUE” INFRASTRUCTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

S. A. DUBENOK., K. N. SHAVEIYKO

Belarusian National Technical University, Minsk

УДК 551.4 (476.13)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Я. А. ДУНИН

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

Актуальность. В связи с ситуацией, сложившейся в настоящее время: бурное развитие различных отраслей промышленности (металлургических, нефтеперерабатывающих, химических), сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры и других видов антропогенной деятельности, очистка сточных вод является одной из лидирующих и актуальных проблем наших дней. Многие из существующих в настоящее время методов и способов очистки сточных вод устаревают и перестают соответствовать современным требованиям. Поэтому актуальной проблемой на сегодняшний день является применение новых и усовершенствованных методов очистки сточных вод [1, 2].

Цель работы – изучение инновационных технологий в очистке сточных вод.

Основные результаты.

1 Нанотехнологии. Одним из новых направлений является технология регенерационной очистки сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, сочетанием экстракционных и адсорбционных процессов. Очистка воды от нефтяного загрязнения осложнена тем, что часть нефти находится в воде в виде эмульсий (наноструктуры). В настоящее время воду чистят флотационными или сорбционными методами, которые малоэффективны и дороги. Предложенная двухступенчатая технология предусматривает на первом этапе удаление из воды водомасляных эмульсий экстракцией маслами, оставшееся количество нефти (2–5 мг/л) удаляется из воды на специальных сорбентах, гидрофобизированных древесных опилках.

Древесные опилки предварительно активировали, в результате раскрывали межфибрилярные полости, куда по специальной технологии внедряли парафины (С30 и выше). Такие гидрофобизированные сорбенты не набухали в воде и обладали сорбционной емкостью 5–7 г/г. Остаточное содержание нефти после сорбционной очистки – не менее 0,1 мг/л. Рассчитаны параметры установки для осуществления процесса в непрерывном режиме [3].

Экстрагенты с нефтью после определенного цикла работы увеличиваются

в объеме (до 100 раз) и поэтому выводятся из цикла, и отработанный экстрагент используется как нефть. Отработанные сорбенты отжимаются, нефть возвращается, остаток сжигается как печное топливо. Внедрение настоящей технологии и ее эксплуатация в промышленных масштабах позволит очистить нефтьсодержащие сточные воды с минимальными расходами энергии, реагентов. При этом процесс не сопровождается образованием отходов и побочных продуктов (шламов и т. п.). Выделенная нефть регенерируется. При этом утилизируются нефтешламы и древесные опилки, а на рынке сорбентов появляется недорогой сорбент нефти, который способен также и очистить нефть с поверхности воды и почвы.

2 Электрокоагуляция. При электрокоагуляции образующаяся в ходе электролиза коллоидная суспензия соединений железа может обезвреживать воду и в том случае, если получать его отдельно и затем дозировать в обрабатываемые сточные воды. Параметры рабочего раствора регулировать гораздо легче, чем параметры производственного стока. Сущность такой технологии сводится к тому, что предварительно в отдельном электролизере проводится анодное растворение металлических отходов с получением суспензии электрогенерированного коагулянта, которая затем направляется в реактор, где происходит смешение ее с очищаемыми сточными водами. Готовый раствор называется ферроферригидрозоле (ФФГ). Ферроферригидрозоль состоит из наночастиц с очень большой поверхностью, которая содержит химически активные группы, действующие как специфические адсорбенты, и содержит соединения железа (II) и железа (III). ФФГ используется для нейтрализации и удаления тяжёлых металлов, а также для обезвреживания других сопутствующих загрязнителей, таких как фосфаты, органические соединения, остатки красителей детергентов и т. д. Такая возможность достигается благодаря одновременно работающим различным механизмам, а именно: сорбции, коагуляции, восстановлению, ферритизации [4].

Полученный после очистки шлам можно безопасно захоранивать на городских свалках или использовать как сырье для производства различных технических продуктов, таких как керамика, пигменты и т. д. Обезвреженная вода может использоваться в технологических процессах. Таким образом, получается безопасная для окружающей среды технология и сберегающий ресурсы промышленный процесс. Применение ФФГ вместо традиционно применяемых технологий может дать лучшие результаты при удалении из сточных вод ионов тяжёлых металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{4+} . Результаты, полученные при работе с моделированными сточными водами, показали, что наиболее эффективное удаление упомянутых металлов происходит при pH 7–9. Это позволяет уменьшить концентрацию ионов металлов до допустимых норм.

3 Сооружение очистки хозяйственно-бытовых сточных вод методом винтового спирального имплозионного вращения потока воды состоит из подземной и надземной части. Подземная часть представляет собой монолитную бетонную емкость диаметром 6 метров и высотой 6 метров, в которой

находится усреднитель поступающих из магистральной канализации сточных вод, и канализационную насосную станцию (КНС), оборудованную тремя погружными насосами.

Над подземной частью располагается сборно-разборное здание из металлических конструкций, имеющее в плане круглую форму и покрытие из сферической кровли. В здании монтируется установка очистки хозяйственно-бытовых сточных вод методом винтового спирального имплозионного вращения потока воды (УОС).

УОС состоит из металлического резервуара диаметром 3 метра и высотой 3 метра, с люком диаметром 500 мм для обслуживания оборудования, которое находится внутри резервуара, а также сливного патрубка. Внутри резервуара смонтированы реакционные трубопроводы, в которых находятся электродвигатели с устройствами завихрения потока воды. А также преобразователь потока воды с камерами впуска и выпуска. Над камерой выпуска потока воды установлена камера стабилизации сброса очищенной воды, которая снабжена уровнем понтонного типа, и импульсно-предохранительный клапан. Клапан предназначен для нормализации давления воздуха и отвода образующихся при реакциях газов.

4 Метод напорной флотации, основанный на разделении частиц по границе раздела жидкость/газ или масло/жидкость, является широко используемым при обогащении полезных ископаемых. В этом методе гидрофобные частицы удерживаются на границе раздела, а частицы в виде суспензий – нет.

Разработчики предложили улучшить использование напорной флотации на очистных сооружениях, в которых воздух подается в емкость-сатуратор и нагнетается до давления 4–6 атмосфер. При выпуске смеси во флотатор давление резко понижается до атмосферного и образуются пузырьки газа, которые захватывают гидрофобные загрязнения. Суть этого метода: пузырьки захватывают в пенный слой гидрофобные загрязнения – масла, нефтепродукты и взвесь.

Таким образом сточные воды очищаются. Большинство установок флотационной очистки используют мелкую фракцию пузырей размером не более 0,07 мм. Однако предложено использовать пузырьки средних размеров, чтобы компромиссным образом снизить турбулентность потока и эффективно удерживать загрязнения.

Выводы. Ввиду стремительно развивающихся отраслей промышленности, роста населённых пунктов, численности населения потребление водных ресурсов неминуемо растёт, также в результате процесса водопользования увеличиваются объёмы сточных вод. Именно поэтому особое значение имеет развитие современной системы очистки бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей среды от всевозможных загрязнений. Каждый способ очистки сточных вод имеет свои собственные аспекты повышения эффективности и снижения энергетических и экономических затрат.

Список литературы

- 1 **Буря, А. И.** Вода – свойства, проблемы и методы очистки : [монография] / А. И. Буря, Е. Ф. Кудина – Днепропетровск : Пороги, 2006. – 520 с.
- 2 **Кудина, Е. Ф.** Химия и микробиология воды : учеб. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович, Ю. М. Плескачевский; под ред. Ю. М. Плескачевского, А. С. Неверова. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.
- 3 **Будыкина, Т. А.** Процессы и аппараты защиты гидросферы : учеб. пособие / Т. А. Будыкина, С. Г. Емельянов. – М. : Академия, 2010. – 288 с.
- 4 Информационно-тематический сборник «Технологии и оборудование для очистки сточных вод от органических примесей» № 18 : в 2 т. Т. 1 : Технологии и оборудование для очистки сточных вод и питьевой воды от альдегидов, кислот, спиртов, примесей ароматического ряда, хлороорганических и других соединений. – М. : Глобус, 2006.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN WASTEWATER TREATMENT

Y. A. DUNIN

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.32

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

А. В. ЕВДОКИМОВА

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

Актуальность. В настоящее время процесс очистки сточных вод в малых населенных пунктах имеет большое экологическое значение. Повышение требований к качеству очищаемых сточных вод заставляет искать более эффективные и экологически безопасные способы удаления загрязняющих веществ из сточных вод. В малых населенных пунктах проблема очистки сточных вод стоит особенно остро, так как они зачастую не имеют доступа к централизованной системе канализации и очистки сточных вод.

Цель работы – анализ основных проблем в области очистки сточных вод малых населенных пунктов.

Основные результаты. 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 [1].

Загрязненные сточные воды опасны для окружающей среды и здоровья

человека, поскольку могут привести к заражению водных объектов и почвы.

Характерными особенностями очистных сооружений сточных вод малых населенных пунктов являются:

1) удаленность от источников централизованной канализации (изолированность расположения);

2) наличие перерывов в подаче сточных вод на сооружения из-за небольшой плотности населения (до 70 чел./га);

3) повышенные концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод ввиду относительно низких норм водоотведения (зависящих от степени благоустройства зданий).

Очистные сооружения малых населенных пунктов представляют собой сложные биологические системы, работающие в неблагоприятном режиме постоянно изменяющегося состава сточных вод [2].

Очистка сточных вод малых населенных пунктов – это очистка, осуществляемая с помощью сооружений, которые удовлетворяют следующим условиям: выдерживают резкое колебание расхода и состава сточных вод по часам суток; просты по конструкции и могут изготавливаться неспециализированными промышленными предприятиями; имеют высокую надежность благодаря выбору простой технологической схемы и невысокую стоимость [2].

Основные проблемы очистки сточных вод малых населенных пунктов:

1) в большинстве малых населенных пунктов отсутствуют современные системы очистки сточных вод, что приводит к загрязнению водных объектов и ухудшению экологической обстановки;

2) недостаточное финансирование;

3) недостаток квалифицированного персонала и оборудования для очистки сточных вод.

Многие малые населенные пункты не имеют возможности привлечь специалистов для очистки сточных вод или использовать современное оборудование из-за недостатка средств.

В малых населенных пунктах система канализации представляет собой сеть трубопроводов, по которым сточные воды самотеком поступают на поля фильтрации или в выгребные ямы. Такая система имеет следующие недостатки: накопление в почве биологически не разлагаемых соединений, проникновение со сточными водами веществ, отрицательно влияющих на почвенные биоценозы.

Недостаточное финансирование не позволяет развивать инфраструктуру очистки сточных вод на должном уровне. Это приводит к ухудшению экологической ситуации и снижению качества жизни населения [1]. Малые населенные пункты часто не имеют достаточного финансирования для проведения капитального ремонта и замены устаревшего оборудования.

Для решения проблемы очистки сточных вод в малых населенных пунктах необходимо:

1) создание централизованной системы водоотведения, включающей очистные сооружения;

2) модернизация существующих систем очистки сточных вод с использованием современных технологий;

3) внедрение современных технологий и методов очистки, что позволит значительно улучшить качество воды и снизить уровень загрязнения окружающей среды;

4) обучение и повышение квалификации персонала, обслуживающего системы очистки сточных вод.

Выводы. Проблема очистки сточных вод малых населенных пунктов является актуальной и требует комплексного подхода. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать и применять современные методы и технологии очистки сточных вод, которые будут эффективными и доступными для малых населенных пунктов.

Для развития малых населённых пунктов необходимо использовать современные технологии и методы, а также привлекать инвестиции для модернизации систем очистки и обучения специалистов. Кроме того, важно сотрудничество с местными органами власти для разработки и реализации программ по улучшению экологической обстановки в малых населённых пунктах.

Список литературы

1 **Новикова, О. К.** Системы канализации малых населенных пунктов: текущая ситуация и проблемные аспекты / О. К. Новикова, А. Б. Невзорова // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. – № 2 (235). – С. 183–188.

2 **Назаров, В. Д.** УГНТУ, Малая канализация [Электронный ресурс] / В. Д. Назаров, М. В. Назаров. – Режим доступа : http://es-ufa.ru/articles/detail.php.ELEMENT_ID=1609. – Дата доступа : 31.03.2024.

THE PROBLEM OF WASTEWATER TREATMENT IN SMALL SETTLEMENTS

A. V. EVDOKIMOVA

Belarusian State University of Transport, Gomel

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕПЛАНИРОВКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ

В. И. ЖИВОДЕРОВА

*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.

С течением времени происходят разрушения строительных конструкций вследствие химического и механического воздействия, а также износ и старение материалов.

Цель работы – разработка мероприятий по перепланировке и реконструкции производственных помещений для установки нового оборудования.

Основные результаты. Перепланировка существующих помещений и цехов, связанная с совершенствованием производства и повышением его технико-экономического уровня, включает следующие строительные работы:

- нулевой цикл (усиление существующего фундамента; улучшение физико-механических свойств грунта под подошвой фундамента; устройство новых фундаментов вблизи существующих сооружений; устройство внутри сооружения фундаментов под новое оборудование и др.);
- надземный цикл (монтажные работы; железобетонные работы и др.);
- гидроизоляционные работы (утепление фасадов; устройство и восстановление гидроизоляции);
- отделочные работы (окрасочные, штукатурные; облицовочные; устройство пола; подвесные и натяжные потолки и др.).

Эффективность конструктивно-технологических решений зависит от различных факторов, влияющих на технологию производства работ: трудоемкости, продолжительности работ, стоимости работ, расхода материалов, величины заработной платы, времени эксплуатации машин и механизмов и т. д. В связи с этим необходимо внедрение современных конструктивных решений и эффективных технологий производства работ [1].

Характерными особенностями реконструкции и перепланировки являются трудоемкость строительно-монтажных работ, стесненность стройплощадки, высокая материалоемкость и дополнительные демонтажные работы; сложность процессов по усилению и восстановлению стен, фундаментов и других

элементов; ограниченные условия монтажа сборных конструкций и меньшая степень готовности конструктивных элементов; ограничение возможностей использования различных технических средств.

Производство работ при реконструкции и перепланировке имеет следующие особенности: многооперационность технологических процессов; разнообразие выполняемых операций и рассредоточенность их по месту и во времени; значительные технологические перерывы между последовательно выполняемыми операциями; ограниченность массивов однородного единого образного труда; большой удельный вес работ, связанных с демонтажем, установкой, креплением, монтажом оборудования и строительных конструкций. Это обуславливает широкое применение ручного труда.

Производство строительно-монтажных работ при реконструкции действующих промышленных предприятий еще более сложно вследствие того, что работы эти совмещены во времени и пространстве с технологической деятельностью реконструируемого производства. Поскольку они проводятся в условиях сложившегося генерального плана предприятия, это нарушает установившуюся практику организации и технологию строительно-монтажных работ, затрудняет применение имеющихся средств механизации, усложняет организацию материально-технического снабжения [2].

Факторы, влияющие на эффективность производства работ при реконструкции и перепланировке:

- положительные (эксплуатация цехового грузоподъемного оборудования и внутризаводских транспортных коммуникаций строителями и производственниками);

- отрицательные (загруженность зоны реконструкции действующими технологическим оборудованием, инженерными сетями, подземными коммуникациями; высокая плотность застройки территории предприятия; повышенная опасность в зоне проведения работ; сложная конфигурация зданий и сооружения; индивидуальность объемно-планировочных решений).

Выводы. Производство строительно-монтажных работ при реконструкции и перепланировке действующих промышленных предприятий более сложно, поскольку они проводятся в условиях сложившегося генерального плана предприятия, что затрудняет организацию и технологию строительно-монтажных работ и материально-технического снабжения. При разработке мероприятий по перепланировке и реконструкции производственных помещений необходимо учитывать факторы, влияющие на технологию производства работ: трудоемкость, продолжительность работ, стоимость работ, расход материалов, величина заработной платы, время эксплуатации машин и механизмов и характерные особенности реконструкции и перепланировки.

Наиболее подходящими направлениями комплексной механизации зданий являются варианты, которые основываются на малогабаритных и универсальных машинах, способных работать в стесненных условиях на оптимальных режимах, имеющие многоцелевое назначение.

Список литературы

- 1 **Леонович, С. Н.** Технология производства строительных работ при реконструкции действующих объектов : учеб. пособие / С. Н. Леонович. – Минск : БНТУ, 2022. – 529 с.
- 2 **Бадьин, Г. М.** Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 288 с.

FEATURES OF CONSTRUCTION WORK DURING THE REDEVELOPMENT OF PRODUCTION FACILITIES FOR THE INSTALLATION OF MACHINE TOOLS

V. I. ZHIVODEROVA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.32/35

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

К. В. ЖУРО

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

Актуальность. Вопрос о корректности методов расчета сооружений очистки сточных вод и в первую очередь сооружений биологической очистки, является в настоящее время одной из острых проблем. Применение некорректных методов расчета сооружений очистки сточных вод приводит к высокому риску того, что реконструируемые сооружения не будут выдавать запланированное качество очищенной воды. И тогда средства, вложенные в реконструкцию или новое строительство канализационных очистных сооружений, не смогут себя оправдать. При проектировании очистных сооружений канализации необходимым условием является защита окружающей среды (водного и воздушного бассейнов) от загрязнений, образующихся в процессе очистки сточных вод и поступающих в водный объект и атмосферу [5].

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

Основные результаты. Биологическая очистка сточных вод является важным этапом в работе очистных сооружений. Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат- ионы, часть идет на образование биомассы.

Процессы биологической очистки во многом аналогичны процессам самоочищения в природных водоемах, интенсифицированных применением

систем инженерных сооружений, таких как: аэротенки, биологические фильтры, биологические пруды, поля орошения, поля аэрации и пр.

В основу расчета сооружений биологической очистки положена концепция описания этих процессов уравнениями ферментативной кинетики. Многочисленные экспериментальные исследования [1] доказали применимость этих уравнений для описания процессов биологической очистки сточных вод, что является инструментом для анализа кинетики окисления загрязнений сточных вод и их отдельных компонентов, идентификации механизмов торможения (конкурентного и неконкурентного, субстратного, продуктами метаболизма и т. д.). Эти же уравнения служат основой для технологических расчетов сооружений биологической очистки.

Метод расчета сооружений биологической очистки предполагает определение необходимого времени обработки и объема сооружения. Расчет сооружений биологической очистки должен производиться на основе экспериментально полученных параметров кинетики окисления или на основании банка данных кинетических констант и коэффициентов по каждому лимитирующему показателю в зависимости от требований, предъявляемых к качеству очищенной воды [1].

Для сравнения выбраны методики расчета аэротенков, представленные в ТКП 45-4.01-202-2010 «Очистные сооружения сточных вод» [2], в СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [4], а также методика расчета, применяемая в Российской Федерации [6].

1 В соответствии с ТКП 45-4.01-202-2010 при очистке сточных вод в системах с активным илом с целью удаления биохимически разлагаемых органических веществ без нитрификации вместимость аэротенков допускается определять по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока с учетом количества поступающих органических загрязнений, требуемого эффекта снижения нагрузки по БПК₅ на 1 м³ аэротенка, допустимой нагрузки по БПК₅ на активный ил, принятой дозы активного ила в иловой смеси, по расчетным зависимостям.

Окончательным этапом расчетов является определение объема технологических сооружений. Дозу ила в технологических сооружениях для очистки с нитрификацией и денитрификацией допускается принимать 2,5–3,5 г/дм³ [2]. Таким образом, обеспечивается эффективность очистки, соответствующая требованиям, предъявляемым к современным очистным станциям, регламентированным законодательством Республики Беларусь.

2 Строительные нормы 4.01.02-2019 – нормативный документ, разработанный на базе пособия к ТКП 45-4.01-321-2018. В настоящее время ТКП 45-4.01-321-2018 [3] на территории Республики Беларусь не действует.

Существенным отличием является измененная величина дозы ила и возраста ила для аэротенка в зависимости от выбранной технологической схемы. Дозу ила для очистки с нитрификацией и денитрификацией допускается

принимать от 3,0 до 5,0 г/дм³ [3]. Последовательность расчета аэротенков осталась неизменной и представлена в пособии к ТКП 45-4.01-321-2018 «Проектирование очистных сооружений сточных вод».

Расчет вместимости аэротенков и других емкостных сооружений с активным илом следует определять в зависимости от минимального возраста активного ила с учетом принятой дозы активного ила в иловой смеси и уровня допустимой нагрузки по БПК₅ на активный ил. При очистке сточных вод в системах с активным илом с целью удаления биохимически разлагаемых органических веществ без нитрификации вместимость аэротенков допускается определять с учетом массы органических загрязняющих веществ, максимального часового расхода сточных вод, требуемой степени очистки, допустимой нагрузки на активный ил, дозы активного ила в смеси.

Увеличение дозы активного ила позволяет сократить объем технологических сооружений и увеличить скорость потребления субстрата, однако одновременно необходимо увеличивать количество растворяемого в воде кислорода и улучшать условия массообмена.

В действующем СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» установлены основные требования к методам и способам очистки сточной воды и устройству очистных сооружений.

3 Методика расчета аэротенков в Российской Федерации. В настоящее время отсутствует узаконенная и обязательная к применению методика расчета основного сооружения биологической очистки – аэротенка. Методы расчета аэротенков, предлагаемые в нормативных документах (СНиП 2.04.03–85) [6] и в научных статьях, носят только рекомендательный характер. Возможно, это связано с их несовершенством: в ряде статей отмечается, что сооружения биологической очистки, рассчитанные по существующим методикам, работают недостаточно эффективно. Анализ научных работ, посвященных данному вопросу, позволил подразделить все существующие методики на две группы.

К первой группе относятся методики, базирующиеся на рекомендациях СНиП 2.04.03–85, в качестве основных расчетных показателей используются скорость окисления органических соединений ρ (мг/г·ч) и скорость окисления аммонийного азота $\rho_{\text{н}}$ (мг/г·ч). СНиП 2.04.03–85 в качестве исходной расчетной величины предлагает скорость окисления органических соединений. Для городских сточных вод таким лимитирующим показателем обычно является аммонийный азот. Величины скоростей биохимического окисления, указанные в СНиП 2.04.03–85, определены на основе обширных статистических и экспериментальных данных, т. е. для некоего обобщенного, среднестатистического состава сточных вод.

Вторая группа методик применяет показатель «скорость биохимического окисления» не прямо, а опосредованно, через ряд других параметров биологической очистки. В разных методиках перечень и количество этих параметров различаются.

В связи с этим вторую группу можно разделить на две подгруппы:

1 Методики, где количество параметров относительно невелико и возможен «ручной» расчет, только с применением компьютерных программ общего назначения. В качестве примеров можно привести методику справочного пособия «Проектирование сооружений для очистки сточных вод», Техническое руководство по расчету аэрационных систем ATV (Германия), Китайский национальный стандарт H576–2010 (Китай). В качестве основных расчетных параметров в кинетические уравнения исследуемых процессов входят удельная скорость роста микроорганизмов μ (сут^{-1}) и связанный с ней возраст ила θ (сут). В расчете учитывается влияние на процесс конкретного состава сточных вод и внешних условий: рН и температуры сточных вод, концентрации растворенного кислорода, содержания токсичных примесей. Качество ила в моделях процесса учитывается физиологическими коэффициентами.

2 Методики с использованием большого ряда исходных параметров, расчет по которым возможен только с применением специализированных программных продуктов. Применение специализированных компьютерных программ позволяет учесть влияние на процесс очистки многих параметров. Кроме уже названных величин, в качестве расчетных используются концентрации разных групп микроорганизмов: гетеротрофов, автотрофов, фосфатаккумулирующих микроорганизмов, концентрации отмершей биомассы (по группам) и взвешенных веществ, а также скорость отмирания микроорганизмов k_d (сут^{-1}). При этом расчетные скорости реакций окисления отдельных примесей определяются в соответствии с фракциями ХПК, формами азота и фосфатов и относятся к концентрациям соответствующих групп микроорганизмов. Важным преимуществом любой методики является оптимальное соотношение двух факторов – универсальности и достаточной степени точности расчетов. Вероятно, большинство существующих методик этого оптимума не обеспечивает.

Выводы. Законодательная база в области очистки сточных вод постоянно изменяется, учитывая ужесточения требований к качеству очищенных сточных вод. Введение новых СН 4.01.02-2019 позволяет использовать накопленный зарубежный опыт проектирования и реконструкции систем очистных сооружений, отвечающих современным требованиям очистки. Для реализации потенциальных возможностей биологического метода в Российской Федерации необходим новый подход к расчету сооружений, дающий возможность рассчитывать степень очистки не только по БПК, но и по индивидуальным диктующим компонентам загрязнений. Поэтому метод расчета должен обеспечивать возможность выбора оптимальных конструктивных и технологических параметра каждого элемента технологической схемы.

Список литературы

1 **Воронов, Ю. В.** Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов. – М. : АСВ, 2016. – 203 с.

2 ТКП 45-4.01-202-2010. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 99 с.

3 ТКП 45-4.01-321-2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 80 с.

4 СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Введ. 2020-07-09. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 80 с.

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

6 СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения: Актуализированная редакция. СП 32.13330.2012. – Введ. 2013-01-01. – М. : М-во регионального развития Российской Федерации, 2013. – 129 с.

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS FOR BIOLOGICAL TREATMENT FACILITIES

K. V. ZHURO

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.179.2

ЛОКАЛЬНОЕ ВОДООЧИСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. И. МОВЧАН

*Мелитопольский государственный университет,
movchantsaa@rambler.ru*

Актуальность. Одним из эффективных путей обеспечения экологической безопасности, рационального использования воды и водных ресурсов в промышленном секторе является оптимальный выбор и эффективное использование ресурсосберегающих технологий, используемых в системах повторного, оборотного и многократного использования воды. Усиливающийся дефицит водных ресурсов повышает не только технико-технологическую составляющую промышленного водоснабжения, но, и обеспечивает эколого-экономическую составную всего промышленного сектора.

Особую актуальность в последние годы приобретают природоохранные мероприятия, что предъявляет повышенные требования к водоочистному

оборудованию, используемые в локальных схемах и на централизованных очистных сооружениях.

Наибольшую экологическую угрозу несёт в себе гальваническое производство промышленного сектора. Происхождение, качественный и количественный состав сточных вод зависят от состояния и особенностей гальванического производства представлен на рисунке 1 [1].



Рисунок 1 – Условия происхождения и формирования сточных вод гальванического производства

Определённые условия формирования стоков в полном объёме формируют водохозяйственный комплекс промышленных предприятий. Их происхождение, количественный и качественный состав стоков является основой для выбора направления исследований, разработок прикладного характера, используемых в оборотном водоснабжении.

Сточные воды после операций обезвреживания от цианидов, хроматов, а также кислотно-щелочные стоки должны быть очищены от ионов тяжёлых металлов (никеля, цинка, железа, меди, хрома, кадмия и т. п.). Традиционно сточные воды от солей тяжёлых металлов очищают путём перевода их в нерастворённые соединения, которые в дальнейшем извлекают отстаиванием, флотацией, фильтрованием и другими способами разделения твёрдой и жидкой фаз [2].

Цель исследований состоит в усовершенствовании и разработке водоочистного оборудования, используемого в системах обработки сточных вод промышленных предприятий, на локальных очистных сооружениях.

Основные требования, предъявляемые к оборудованию очистки сточных вод гальванического производства, представлены на рисунке 2.

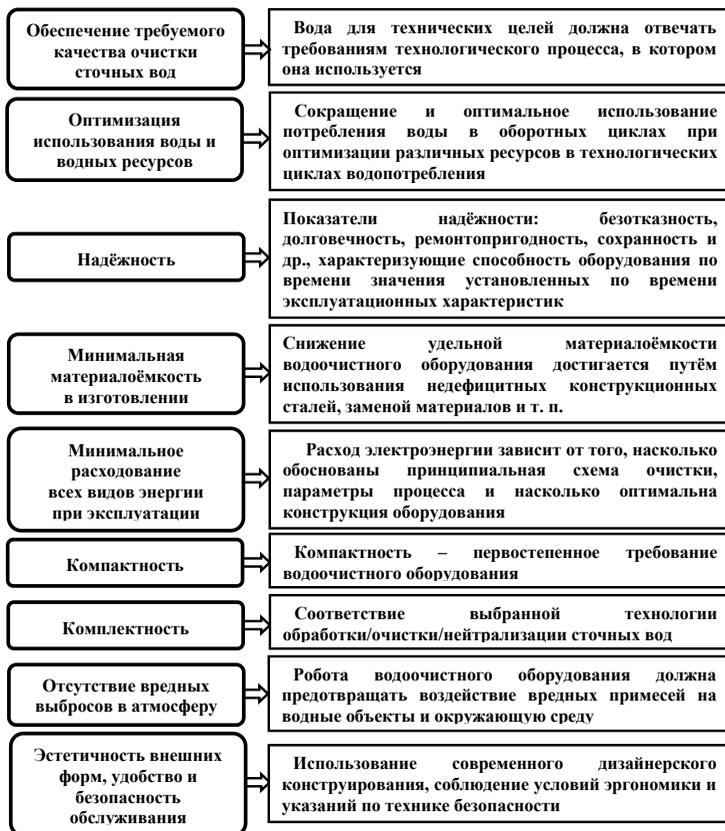


Рисунок 2 – Требования к водоочистному оборудованию очистки сточных вод гальванического производства

Основные результаты. Разработана и усовершенствована линейка локального водоочистного оборудования производительностью 1–10 м³/ч, являющиеся основой надёжной и эффективной работы комплексных технологических схем функционирования систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий [3].

Частичная классификация способов, разработанных аппаратов и технологий обработки, очистки и нейтрализации сточных вод гальванического производства представлена на рисунке 3.

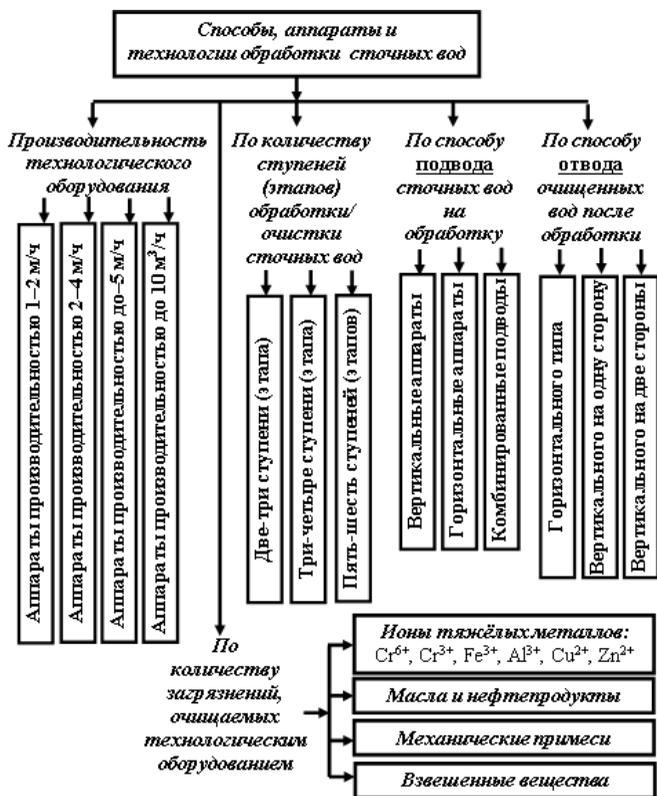


Рисунок 3 – Классификация способов, аппаратов и технологий обработки сточных вод

Учитывая опыт проектирования водоочистного оборудования, эксплуатации отдельных локальных схем обработки определённых видов стоков с учётом специфики производства установлены следующие требования:

1) использование комплексного подхода обработки сточных вод и утилизации образующегося осадка с определением оптимальных режимов и параметров;

2) разработка современных технологий и совершенствование существующего оборудования с минимизацией использования объёмов «свежей» воды в системах оборотного водоснабжения;

3) снижение уровня загрязнения водных объектов за счёт эффективного управления работой систем оборотного водоснабжения и определения гидромеханических параметров частиц водных растворов;

4) создание основ для интенсификации технологических операций в работе систем оборотного водоснабжения;

5) разработка и внедрение локального водоочистного оборудования, обеспечивающих эколого-экономическую безопасность водных объектов [3, 4].

Выводы.

1 Разработка и внедрение водоочистного оборудования, используемого на локальных очистных сооружениях, позволяет решить важную научно-техническую задачу комплексной технологии обработки сточных вод, оценки качества и утилизации обезвоженных отходов промышленного производства.

2 Обоснована целесообразность внедрения разработанных технологических решений очистного оборудования в системах оборотного водоснабжения в пределах 1–10 м³/ч.

3 Интенсификация обработки сточных вод гальванического производства, определение гидромеханических параметров частиц примесей водных растворов и обезвоживания жидких отходов выполнены с использованием ресурсосберегающих технологий.

4 С целью эффективной обработки производственных сточных вод гальванических отделений апробировано использование химических компонентов в качестве реагентов в виде отработавших моющих растворов (ОМР) по их отношению к шестивалентному хрому.

Список литературы

1 **Запольский, А. К.** Комплексная переработка сточных вод гальванического производства / А. К. Запольский, В. В. Образцов. – К. : Техника, 1989. – 189 с.

2 **Веселов, Ю. С.** Водоочистное оборудование: Конструирование и использование / Ю. С. Веселов, И. К. Лавров, Н. И. Рукобратский. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985. – 232 с.

3 **Николенко, И. В.** Интенсификация ресурсосберегающих технологий в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий : [монография] / И. В. Николенко, С. И. Мовчан. – М. : РУСАЙНС, 2023. – 196 с.

4 **Николенко, И. В.** Условия формирования и реализации процессов обработки сточных вод в системах оборотного водоснабжения / И. В. Николенко, С. И. Мовчан // Известия вузов. Строительство. – 2024. – № 1. – С. 58–68.

LOCAL WATER TREATMENT EQUIPMENT IN RECYCLING WATER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

S. I. MOVCHAN

Melitopol State University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОУДАРА ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ В ТРУБОПРОВОДАХ

В. В. МОЖАРОВСКИЙ, С. В. КИРГИНЦЕВА

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь*

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

Актуальность. При интенсивной эксплуатации подземных трубопроводов могут возникать такие явления, как коррозия, разрывы, разрушение системы, утечка жидкости. В этом случае требуются значительные затраты на обслуживание и ремонт сетей. Решением этой проблемы может быть применение новых бестраншейных методов восстановления трубопроводов, которые заключаются в ремонте существующих трубопроводов без выемки грунта. На современном этапе развития новых технологий начали использовать так называемую технологию CIPP («*Cured-in-place pipe*») трубопроводов или применение композитных рукавов (чулок) для бестраншейного ремонта трубопровода. Такая же технология используется для восстановления внутренней поверхности изношенных самотечных и напорных трубопроводов с помощью использования композитного рукава (трубы). В трубопроводах, работающих под давлением, могут происходить гидравлические удары, которые могут привести к их повреждениям и, возможно, к выходу из строя насосной системы.

Целью данной работы является математическое моделирование расчета таких слоистых трубопроводов и изучение возможности контроля гидравлического удара. Представлены исследования определения скорости волны напора и расхода воды при гидроударе для двухслойных труб из композитов методом характеристик. Решается задача компьютерной реализации расчета вышеуказанных параметров для труб из композитов.

Методика определения скорости волны и максимального давления при гидравлическом ударе при течении жидкости в композитных трубах. В расчетах по гидравлике известно, что с помощью формул, предложенных российским ученым Н. Е. Жуковским, можно легко определять предельно возможное значение напора при гидравлическом ударе (прямой удар) [1]:

$$\Delta P = \pm \rho \cdot C \cdot v_0 \quad \text{или} \quad \Delta H = \pm C \cdot v_0 / g, \quad (1)$$

где ΔP – ударное повышение давления; ρ – плотность перекачиваемой жидкости; C – скорость ударной волны; $v_0 = 4Q / (\pi D^2)$ – скорость жидкости в трубе; Q – расход жидкости; D – внутренний диаметр трубы; H – пьезометрический напор; $g = 9,82 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Скорость ударной волны в однородных изотропных трубах определяется соотношением [2]

$$C = 1 / \sqrt{\frac{\rho}{K} + \rho \cdot \frac{D}{E\delta}}, \quad (2)$$

где K – модуль объемной упругости жидкости; D – диаметр трубопровода; E – модуль упругости материала трубы; δ – толщина стенки трубопровода.

Эти теоретические подходы, разработанные для расчета параметров гидроудара металлических (изотропных) труб, можно также применять и для композитных, но с учетом, что скорость ударной волны определяется на основе теории упругости анизотропного тела. Так, в работе [3] выведены формулы, определяющие скорость волны при гидроударе для различных комбинаций слоистых упругих ортотропных (трансверсально-изотропных) свойств трубы и футеровки. Зависимость, определяющая скорость волны в изотропных трубах с ортотропным покрытием, будет [3]

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

$$\Omega = \frac{2}{\alpha} \left[-1 + \left(\frac{-\beta}{\alpha} + 1 \right) \left(\frac{r_a}{r_b} \right)^{-2k_1} \times \right.$$

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

$$\beta = A_{12}^{(1)} - k_1 A_{11}^{(1)}, \quad \alpha = A_{11}^{(1)} k_1 + A_{12}^{(1)}, \quad \gamma = E / (1 - \nu), \quad g = -E / (1 + \nu),$$

где E и ν – характеристики изотропной трубы, k_l – коэффициент для покрытия;

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

где r_a – внутренний радиус; r_c – внешний радиус; r_b – межслойный радиус для двуслойной трубы.

Механические свойства (модули упругости материала трубы E_θ , E_r и коэффициенты Пуассона $\nu_{\theta r}$, $\nu_{r\theta}$, представлены в случае плоского напряженного состояния в цилиндрической системе координат $\theta r z$ и определяются по правилу «смесей» с объемным содержанием V волокна (индекс f) в матрице (индекс m) волокнистых материалов при различных способах расположения волокон и определяются следующим образом [4]:

– перпендикулярное расположение волокон по отношению к оси z :

$$E_r = E_m \frac{1 + \eta V}{1 - \eta V},$$

$$\eta = \frac{E_f - E_m}{E_f + E_m},$$

$$E_\theta = VE_f + (1 - V)E_m,$$

$$\nu_{r\theta} = V\nu_f + (1 - V)\nu_m,$$

$$\nu_{\theta r} = \frac{E_\theta}{E_r} \nu_{r\theta};$$

– радиальное расположение волокон по отношению к оси z :

$$E_r = VE_f + (1 - V)E_m,$$

$$E_\theta = E_m \frac{1 + \eta V}{1 - \eta V},$$

$$\eta = \frac{E_f - E_m}{E_f + E_m},$$

$$\nu_{\theta r} = V\nu_f + (1 - V)\nu_m.$$

$$\nu_{r\theta} = \frac{E_r}{E_\theta} \nu_{\theta r};$$

– параллельное расположение волокон по отношению к оси z :

$$E_r = VE_f + (1 - V)E_m,$$

$$E_\theta = E_r,$$

$$V_{\theta r} = V_{r\theta} ,$$

$$v_{\theta r} = VV_f + (1-V)v_m .$$

Разработан алгоритм и написана программа расчета скорости волны при движении жидкости в слоистой трубе.

Пример расчета. Рассмотрим стальную трубу (модуль упругости $E = 210$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; толщина $h_2 = 6$ мм) с внутренним покрытием из стеклопластика (модуль упругости волокна $E_f = 71$ ГПа; модуль упругости матрицы $E_m = 3,5$ ГПа; коэффициент Пуассона волокна $\nu_f = 0,22$; коэффициент Пуассона матрицы $\nu_m = 0,38$; толщина $h_1 = 3$ мм, процентное содержание волокна составляет 30 %). Внутренний радиус $r_a = 147$ мм, средний радиус $r_b = 150$ мм, внешний радиус $r_c = 156$ мм. Длина трубы $L = 2500$ м, разделена на 5 секций; задаются условия $H_0 = 49,95$ м; $Q_0 = 0,1$ м³/с; коэффициент трения $f = 0,018$; $T_{\max} = 50$ с; время закрытия задвижки $t_c = 0$ с; безразмерное время закрытия задвижки определяется по формуле: $\tau = (1 - t/t_c)^5$.

Результат зависимости напора H от времени t вблизи клапана (задвижки) представлен на рисунке 1. Расчет проводился по методу характеристик [5]. В таблице 1 представлены графики зависимости максимального напора H_{\max} , вычисленного по формуле Жуковского, по программе в Excel [4, 6], которая адаптирована для труб из композитов, и по методу характеристик, при различном расположении волокон.

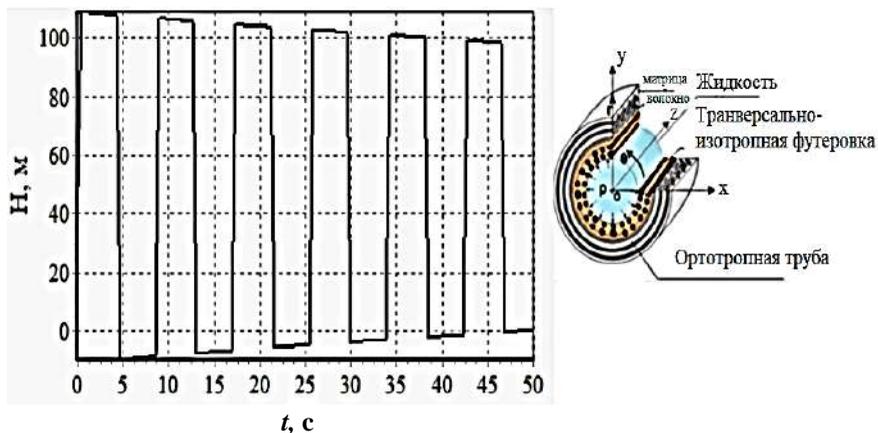


Рисунок 1 – График зависимости напора H от времени t при перпендикулярном расположении волокон

Таблица 1 – Изменение максимального напора H_{\max} , м, и скорости C , м/с, в зависимости от расположения волокон

Параметр	Расположение волокон		
	перпендикулярно	радиально	параллельно
Скорость C , м/с	1183	1184	1192
Формула Жуковского H_{\max} , м	111,3	111,4	111,8
Расчет Excel H_{\max} , м	112,5	112,6	113,0
Метод характеристик H_{\max} , м	111,1	111,1	111,6

Выводы. Применение армированных рукавов из композита для санации трубопроводов дает возможность защитить трубы от разрушения, но в то же время может увеличить скорость ударной волны и вызвать дополнительные гидравлические скачки давления в трубопроводе. Поэтому для оптимизации необходимо производить компьютерный расчет. Для расчета труб (тестирование) с изотропных материалов можно применять приближенный расчет, так как значения H_{\max} , вычисленные по формуле Жуковского, по программе в Excel и методу характеристик, достаточно близки (см. таблицу 1), отличие незначительно.

Список литературы

- 1 Жуковский, Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах / Н. Е. Жуковский. – М. : Д. : Гостехтеоретлитиздат, 1949. – 104 с.
- 2 Mostafa Mahdy. Analysis of water hammer using method of characteristics for different pipes material / Mostafa Mahdy // International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS). – 2019. – Vol. VIII, is. I. – 9 p.
- 3 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.
- 4 Можаровский, В. В. Влияние схем армирования трубы из композита на скорость волны при гидравлическом ударе / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 3 (56). – С. 21–25.
- 5 Можаровский, В. В. Влияние расположения волокон в трубе из композита на параметры гидравлического удара / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 4 (57). – С. 30–35.
- 6 Water hammer Calculation Excel Sheet [Electronic resource]. – Mode of access : <https://engineeringxls.blogspot.com/2019/01/water-hammer-calculation-excel-sheet.html>. – Date of access : 15.05.2023.

MATHEMATICAL MODELING CALCULATION OF WATER HAMMER PARAMETERS FOR COMPOSITE PIPES IN PIPELINES

V. V. MOZHAROVSKY, S. V. KIRHINTSAVA

F. Scorina Gomel State University, Republic of Belarus

ВЫБОР ВОССТАНОВИТЕЛЯ ПРИ СИНТЕЗЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГАЛЬВАНОШЛАМОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Т. М. МОНЯК

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

Актуальность вопроса заключается в получении магнитных сорбционных материалов на основе гальваношламов с целью вторичного использования отходов гальванических производств [1, 2]. Переработка и использование таких отходов затруднены в первую очередь за счет их малого объёма по сравнению с другими, а также многокомпонентности, в основе их преимущественно тяжёлые металлы. Для предложенного способа синтеза сорбента на основе гальваношламов [3] можно привести ряд преимуществ: быстрота выполнения метода, малоэнергозатратность, экологичность, применение совместной переработки различных по составу отходов.

Цель работы – изучение возможности применения реакции экзотермического горения в растворах различных восстановителей и их влияние на образование выраженных кристаллических фаз.

Основные результаты. В качестве исходных гальванических отходов были изучены 10 образцов гальваношламов различных промышленных предприятий Республики Беларусь. Для проведения процесса синтеза использовали растворы кислотного (20%-я азотная кислота) выщелачивания отходов гальваношламов (время выщелачивания 2 часа).

Оптимальные параметры процесса выщелачивания металлов из отходов были описаны ранее [4, 5]. Для синтеза магнитных сорбентов использовали реакцию экзотермического горения в растворах. В качестве восстановителя использовали следующие вещества: лимонную кислоту, глицин, мочевины, уротропин. Температура инициации синтеза 600 °С.

Был проведен фазовый состав синтезированных образцов с помощью рентгенографического дифракционного анализа (XRD). Результаты анализа приведены на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что при использовании мочевины (рисунок 1, *в*) для всех образцов гальваношламов образовались выраженные кристаллические фазы.

При использовании уротропина (рисунок 1, *з*) 6 образцов не дали четко выраженных кристаллических фаз, лимонной кислоты (рисунок 1, *а*) – 6 образцов, глицина (рисунок 1, *б*) – 2 образца. При использовании глицина образцы 2 и 4 не содержат ярко выраженных кристаллических фаз.

Образец 9 содержит фазы металлического никеля и его оксидов. Основной железосодержащей фазой во всех образцах является магнетит с наиболее интенсивными пиками при 30 и 35 градусах 2θ .

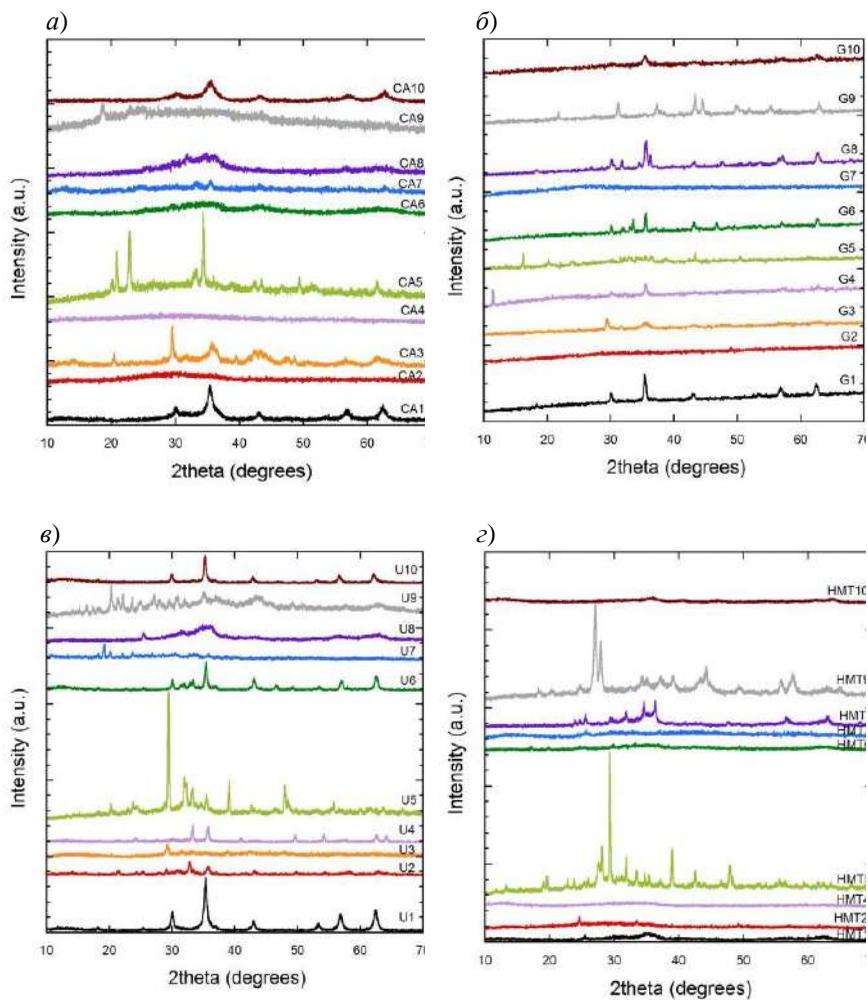


Рисунок 1 – Результаты рентгенофазового анализа образцов, полученных с использованием :
a – лимонной кислоты, *б* – глицина,
в – мочевины, *г* – уротропина в качестве восстановителя

Выводы. В данном исследовании мы показали возможность получения сформированных кристаллических порошковых образцов материалов из отходов гальваношламов. Для каждого отхода должен быть подобран свой восстановитель. Дальнейшая работа будет связана с детальным сравнением полученных фаз каждого материала, их составом и корреляцией их с сорбционными свойствами.

Список литературы

1 **Романовский, В. И.** Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.

2 Элементный состав и фазовый состав гальванических шламов, осадков очистных сооружений машиностроительных и приборостроительных предприятий Республики Беларусь / В. Н. Марцуль, А. В. [и др.] // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 113–118.

3 **Моняк, Т. М.** Магнитные сорбенты из гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод / Т. М. Моняк, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – №. 6. – С. 50–55.

4 **Моняк, Т. М.** Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Моняк, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F: Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 96–100.

5 **Моняк, Т. М.** Сорбенты на основе гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод / Т. М. Моняк // Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 марта 2023. / РУП ЦНИКИВР. – С. 149–151.

SELECTION OF A REDUCING AGENT IN THE SYNTHESIS OF MAGNETIC MATERIALS FROM GALVANO SLUDGES FOR THE PURIFICATION OF OIL-CONTAINING WASTEWATER

T. M. MONYAK

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ В БЕЛАРУСИ

А. Б. НЕВЗОРОВА¹, В. В. НЕВЗОРОВ²

*¹Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого, Республика Беларусь
anevzorova@gstu.by*

²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. Постепенно, в течение последнего десятилетия, технология беспилотных наземных и летательных аппаратов начала превращаться в ценный инструмент для достижения мониторинга разных процессов, происходящих с различными инженерными сетями. Воздушные, водные и наземные беспилотные аппараты (БПА) позволяют операторам эффективно проводить наблюдения, снижая при этом физический риск. Кроме того, они могут осматривать труднодоступные или опасные участки, не подвергая опасности человека [1]. Это приносит большие дивиденды, когда речь заходит о задачах проверки и технического обслуживания, предоставляя коммунальным службам эффективные, экономичные и технологически продвинутые решения. Поскольку технология беспилотных летательных аппаратов продолжает развиваться, ее внедрение на предприятиях водоканалов Беларуси сможет расширить возможности отрасли по мониторингу, дистанционной диагностики и обслуживанию критически важной инфраструктуры [2].

Цель работы – проанализировать наиболее критические области в системах коммунального хозяйства, где могут быть успешно применены технологии беспилотных аппаратов.

Обсуждение. За прошедшие годы дроны значительно эволюционировали от хрупких устройств с простыми камерами до прочных композитных рам с множеством навесных высококлассных гаджетов. Некоторые из важнейших достижений приведены далее.

Высокоточная визуализация и датчики позволяют коммунальным службам получать изображения с высоким разрешением и использовать специализированные датчики для детального осмотра. Оптические и тепловизионные камеры, лидарные датчики, датчики качества воды обеспечивают всестороннее представление о состоянии инфраструктуры и выявляют потенциальные проблемы, такие как утечки, повреждения конструкций и колебания качества воды.

Автономная навигация позволяет беспилотным летательным аппаратам следовать по заранее определенным маршрутам или адаптироваться к изменяющимся условиям во время проверок. Эта функция особенно полезна при

оценке обширной водной инфраструктуры, поскольку дроны могут перемещаться по сложной местности, парить над водоемами и эффективно охватывать большие площади

Наземные беспилотники (НБП) для работы в сложных условиях все большее распространение получают на предприятиях водоснабжения, работающих на сложной местности или в канализационных коллекторах большого диаметра. Оснащенные передовыми датчиками НБП способствуют реализации комплексной стратегии инспекции трубопроводов и инфраструктуры в труднодоступных районах.

Более долговечные конструкции БПА. Физическая устойчивость имеет решающее значение в ситуациях реагирования на чрезвычайные ситуации, когда способность быстро и надежно оценивать ущерб может существенно повлиять на смягчение последствий таких инцидентов, как утечки или стихийные бедствия. Производители беспилотных летательных аппаратов разработали изделия с ударопрочными полимерами, усиленными рамами и антикоррозийными покрытиями для увеличения срока службы и повышения производительности в сложных условиях эксплуатации. Кроме того, герметичная электроника защищает чувствительное оборудование от неожиданного контакта с водой.

Как водоканалы могут внедрять беспилотники. Дроны меняют способ проверки инфраструктуры водоканалами. Независимо от того, парят ли они над водоочистными сооружениями или плавают внутри подземных труб, дроны обеспечивают уровень видимости, который когда-то был сложной задачей с точки зрения логистики. Коммунальные службы теперь могут быстро выявлять коррозию или другие структурные проблемы без необходимости использования интенсивного ручного труда или аварийных отключений. Кроме того, многие водоканалы используют беспилотники:

- для обнаружения утечек, например, те, у кого есть тепловизионные камеры, могут определять колебания температуры, указывающие на наличие утечек, что позволяет коммунальным службам оперативно устранять проблемы и предотвращать дальнейшую потерю воды [3];

- контроля за растительностью вокруг объектов водной инфраструктуры может создавать серьезные проблемы. Дроны, оснащенные лидарами и камерами высокого разрешения, могут создавать подробные 3D-карты местности. Коммунальные службы могут определять участки, требующие технического обслуживания, предотвращая сбои, связанные с растительностью, и обеспечивая целостность своих систем;

- реагирования на чрезвычайные ситуации. В случае стихийных бедствий или сбоя в работе важной инфраструктуры БПА могут быстро оценить масштабы ущерба, предоставляя данные в режиме реального времени для содействия принятию решений. Эта возможность повышает скорость и эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации, в конечном счете сводя к минимуму воздействие на сообщества и окружающую среду.

Правила использования беспилотных летательных аппаратов определяют нормативные и правовые документы, регламентирующие организацию использования воздушного пространства Республики Беларусь беспилотными летательными аппаратами: Указ Президента Республики Беларусь от 25.09.2023 № 297 «О государственном учете и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов», приказ Департамента гражданской авиации № 268 «Руководство по порядку государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов от 04.10.2022. Также следует получить разрешение на вылет в центре Единой системы организации воздушного движения РУП «Белаэронавигация».

Также эти руководящие принципы устанавливают для коммерческих операторов беспилотных летательных аппаратов требования по получению сертификата дистанционного пилота, соблюдения ограничений по высоте и воздушному пространству и выполнения полетов в пределах прямой видимости. Коммерческие операторы беспилотных летательных аппаратов обязаны вести определенные записи, связанные с их эксплуатацией, такие как журналы технического обслуживания и записи полетов. Коммунальные предприятия могут обращаться к сервисным компаниям, предлагающим дроны в качестве услуги. Такие фирмы берут на себя ответственность, обучение, сертификацию, техническое обслуживание и другие расходы, позволяя водоканалам оплачивать использование беспилотных летательных аппаратов и собираемые с них данные по мере необходимости.

Выводы. По мере того, как предприятия водоканал будут внедрять технологию беспилотных летательных и наземных аппаратов, отрасль будет постепенно изменять парадигму в области инспектирования своих объектов.

Список литературы

1 Разаков, М. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для обследования мелиоративных гидротехнических сооружений / М. А. Разаков // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 8. – С. 98–102. – DOI: 10.28983/asj.y2022-i8p p98-102.

2 Оценка сооружений инженерной защиты, систем водоснабжения и водоотведения средствами дистанционной диагностики / В. Е. Левкевич [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – №. 1 (124). – С. 96–100.

3 Невзорова, А. Б. Автоматизация технологических процессов систем водоснабжения и канализации : учеб.-метод. пособие / А. Б. Невзорова. – Гомель : БелГУТ, 2022.– 151 с.

PROSPECTS FOR THE USE OF DRONES FOR MONITORING OF ENGINEERING NETWORKS IN BELARUS

A. B. NEUZORAVA¹, V. V. NEVZOROV²

¹Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

²Belarusian State University of Transport, Gomel

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА, Н. В. СИВАКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
olanov2007@mail.ru, ratnikova_a.m@mail.ru,
smirnovanatasha123457890@mail.ru

Актуальность. Республика Беларусь располагает значительными ресурсами подземных вод, многократно превышающими современные потребности, однако на сегодняшний день актуальной является проблема качества питьевой воды. В малых населенных пунктах 47,2 % воды, поступающей на хозяйственно-питьевые нужды населения, не соответствует требованиям по санитарно-химическим показателям (в основном железо общее, марганец, запах, привкус, цветность, мутность, реже – жесткость общая, перманганатная окисляемость) и 0,2 % – по микробиологическим показателям.

Обеспечение населения нашей страны качественной питьевой водой в необходимом количестве является одним из приоритетных направлений Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы, в частности подпрограммы 5 «Чистая вода» [1].

Цель работы – разработка технологических решений водоснабжения малых населенных пунктов Республики Беларусь из подземных источников.

Основные результаты. Перспективными методами для эффективного удаления соединений марганца и железа из подземных вод являются методы, основанные на применении современных каталитических фильтрующих материалов в малогабаритных установках. Выбор каталитического фильтрующего материала должен осуществляться с учетом комплексного анализа следующих факторов: качественного состава исходной воды и существующей системы водоснабжения малых населенных пунктов.

Сравнительный анализ каталитических фильтрующих материалов: *Birm*, *ОДМ-2Ф*, *ОДМ-5Ф*, *AMDХ*, *МЖФ*, *Ecoferox*, *Ferolox* проводился по следующим критериям:

- возможность выбора применения определенного окислителя;
- водородный показатель исходной воды;
- условия применения по показателям: железо общее, марганец, окисляемость перманганатная, сероводород, чувствительность к содержанию хлора в воде;
- скорость фильтрации и интенсивности промывки;
- высота слоя загрузки.

Выбор каталитического фильтрующего материала решает задачу оптими-

зации установок водоподготовки, обеспечивая минимум эксплуатационных затрат при достижении максимальной очистки подземных вод до требований, установленных в Республике Беларусь.

Использование каталитических фильтрующих загрузок на станциях водоподготовки позволяет ускорить процесс окисления растворенных соединений марганца и железа общего в 2,2 раза, уменьшить объем фильтровальных сооружений до компактных станций контейнерного типа, обеспечить высокую эффективность очистки по железу и марганцу, что актуально при разработке установок малой производительности.

Проектирование системы водоподготовки, адаптированной к конкретным местным условиям, должно также предусматривать разработку вопросов ее эксплуатации. Для поддержания рабочего состояния станции водоподготовки необходимо производить плановый ремонт и обслуживание.

В зависимости от существующей схемы водоснабжения населенного пункта регенерация фильтрующего материала может производиться:

1) обратным током воды из водонапорной башни. При этом необходимо произвести плановый осмотр состояния существующей башни, промывку и дезинфекцию;

2) из скважины (при отсутствии в населенном пункте водонапорной башни) при условии, что производительность промывки ниже производительности скважины, иначе данный метод будет неэффективен, и в скором времени фильтрующий материал будет непригоден к дальнейшей эксплуатации;

3) при невозможности проведения регенерации описанными выше методами в системе необходимо предусмотреть резервуар чистой воды и установку промывных насосов. Резервуар чистой воды может располагаться:

– за пределами станции водоподготовки и хранить запас воды на хозяйственно-питьевые нужды населения, неприкосновенный запас и на промывку двух фильтров станции водоподготовки, а также противопожарный запас воды. При данном варианте необходимо предусмотреть насосную установку второго подъема;

– в здании станции водоподготовки и хранить в себе только запас воды на производственные нужды (промывку двух фильтров). При данной системе исключается насосная установка второго подъема, скважина будет работать в сеть.

На основании комплексного анализа системы водоснабжения н. п. Храпков Хойникского района установлено:

– источником водоснабжения являются две скважины № 45062/89 и № 53 197/07 глубиной 107,6 м и 103,0 м соответственно;

– качество воды из скважин не удовлетворяет требованиям, установленным в Республике Беларусь [2], по следующим показателям: запах, привкус, железо общее, марганец и жесткость общая;

– только 71,5 % населения н. п. Храпков подключены к централизованной системе водоснабжения.

Для обеспечения жителей н. п. Храпков водой питьевого качества необходимо:

- подключение населения к централизованной системе водоснабжения, с учетом перспективы подключения абонентов, пользующихся водой из шахтных колодцев;
- прокладка сетей водоснабжения общей протяженностью 64,0 км;
- проведение экспериментальных исследований для выбора фильтрующего материала;
- строительство станции водоподготовки в зоне санитарной охраны источников водоснабжения централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Для подбора фильтрующей загрузки проектируемой станции водоподготовки (либо многокомпонентной смеси) выполнена серия экспериментальных исследований, включающих оценку снижения показателя «Железо общее» при фильтровании через фильтрующую загрузку с различными скоростями фильтрования (показания ротаметра на 1000 л/ч (17,7 м/ч), 800 л/ч (14,2 м/ч), 600 л/ч (10,6 м/ч)). В качестве загрузочных материалов рассмотрены сорбенты ОДМ-2Ф, ОДМ-5Ф, кварцевый песок. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

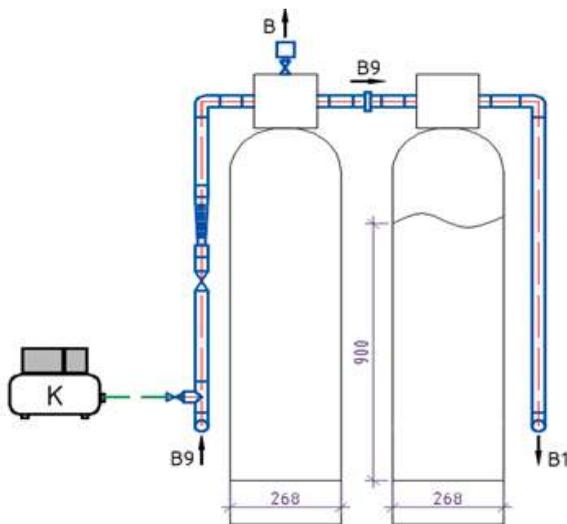


Рисунок 1 – Схема установки для проведения пробного обезжелезивания

Исследования выполнялись при прочих равных рабочих параметрах. После каждой смены каталитического материала производился отбор проб (таблица 1) и промывка колонны обратным током воды в течение 30 мин.

Таблица 1 – Концентрация железа, мг/л, после фильтрования

Показания ротаметра, л/ч (м/ч)	Кварцевый песок		Сорбент ОДМ-2Ф		Сорбенты ОДМ-2Ф и ОДМ-5Ф	
	скважина № 45062/89	скважина № 53197/07	скважина № 45062/89	скважина № 53197/07	скважина № 45062/89	скважина № 53197/07
1000 (17,7)	1,02	1,11	0,71	0,83	0,49	0,52
800 (14,2)	0,74	0,87	0,47	0,51	0,31	0,34
600 (10,6)	0,52	0,65	0,33	0,36	<u>0,09</u>	<u>0,11</u>

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что в качестве фильтрующего материала для проектируемой станции водоподготовки, с учетом качественного состава поступающей воды, для фильтров обезжелезивания и деманганации целесообразно применять комбинацию сорбентов ОДМ-2Ф и ОДМ-5Ф (в пропорции 70 % и 30 % соответственно) при скорости фильтрования не выше 10,6 м/ч.

Сорбенты ОДМ-2Ф и ОДМ-5Ф возможно применять в любой технологической схеме при условии, что показатели качества исходной воды не превышают следующие значения: железо общее – 10 мг/л, марганец – 0,5 мг/л, окисляемость перманганатная – 8 мгО₂/л, допустимо присутствие в исходной воде сероводорода.

Сорбенты ОДМ-2Ф и ОДМ-5Ф имеют низкую способность к истиранию, поэтому эффективны в работе длительное время, что позволит снизить затраты на обслуживание станции водоподготовки.

На основании разработанных рекомендаций с учетом качественного состава подземных вод и требуемого расхода на хозяйственно-питьевые нужды населения принята технологическая схема обезжелезивания и деманганации, включающая совмещение упрощенной аэрации и фильтрования, с последующей доочисткой на фильтрах умягчения с ионообменной смолой. В качестве фильтрующих материалов принята комбинация из сорбентов ОДМ-2Ф и ОДМ-5Ф (в пропорции 70 % и 30 % соответственно).

Выводы. Разработанные рекомендации по выбору фильтрующего материала и технологические схемы обезжелезивания, деманганации и умягчения подземных вод, могут быть использованы при выборе технологической схемы водоподготовки, адаптированной к конкретным местным условиям 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 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C2210050>. – Дата доступа : 11.03.2024.

2 СанПиН 10-124 РБ 99, ВУ. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 204 : с изм. [Электронный ресурс] // Информационно-поисковая система ЭТАЛОН-ONLINE. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=w299p0007>. – Дата доступа : 11.03.2024.

SELECTION OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF WATER TREATMENT FOR SMALL SETTLEMENTS OF REPUBLIC OF BELARUS

O. K. NOVIKOVA, A. M. RATNIKOVA, N. V. SIVAKOVA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 620.97:662.8

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ БИОМАССЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО ТОПЛИВА

А. Н. ПЕХОТА¹, Р. Н ВОСТРОВА², В. Ю. КОРШУНОВА²

*¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru*

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

Актуальность. Приоритетным направлением внутренней и внешней политики страны является обеспечение ее энергетической безопасности и энергетической независимости. Одним из направлений повышения экономической эффективности производства является рациональное использование местных сырьевых, возобновляемых и вторичных ресурсов.

Цель работы – анализ существующих технологий энергетического использования древесных отходов и осадков сточных вод (ОСВ).

Основные результаты. Общие запасы древесины (возобновляемый ресурс) в стране оцениваются в 1093,2 млн м³, торфа – в 5,65 млрд т, нефти – в 71,7 млн т, бурого угля – в 410 млн т, неогенового угля – в 152 млн т, горючих сланцев – в 1228,7 млн т (невозобновляемые ресурсы).

Для частичного замещения экспортируемых энергоресурсов целесообразно использовать местные виды топлива из возобновляемых и вторичных энергетических ресурсов [1].

Технический прогресс и технологии в этой области совершенствуются и способствуют более широкому использованию таких видов топлива, как топливная щепа, древесные гранулы, брикеты.

Теплофизические свойства древесины определяются теплотой сгорания, влажностью, химическим составом, количеством летучих веществ, твердого углерода, золы и т. д. Древесина в рабочей массе содержит до 50,0 % углерода, 6,1 % водорода, 42,3 % кислорода и небольшое количество, не превышающее 0,05 %, серы.

Для обеспечения бесперебойной работы котельных установок складировались большие объемы опилок, условия хранения которых приводили к критическому увеличению их влажности. Это вызывает необходимость дополнительных затрат энергии на удаление влаги при сжигании опилок, что не позволяет в полной мере добиваться планируемого экономического эффекта от перехода на работу с местными видами топлива.

Одной из проблем комплексного использования древесины является организация эффективной переработки низкосортного сырья, имеющего повышенную влажность или содержащего отходы нефтепродуктов, а также древесных отходов, не находящихся по разным причинам (окисление, изменение внешнего вида, засорение примесями и т. п.) технологического применения.

Одной из давних технологий использования древесных отходов в качестве источника получения теплоты является прямое их сжигание в бытовых и производственных котельных установках. Однако к существенным недостаткам данного технологического процесса относится непосредственное сжигание древесного топлива и древесных отходов, переувлажненных из-за неправильного хранения. Вследствие этого снижается производительность котлов, увеличиваются затраты на их обслуживание, появляется необходимость «подсветки» факела горения природным газом или мазутом.

Немаловажный фактор достижения тепловой эффективности – влажность отходов и их фракционный состав. Эти показатели являются определяющими для выбора конструкции и характеристик установок для сжигания древесных отходов.

Перечисленные факторы требуют постоянного совершенствования и подбора рациональных схем подготовки и сжигания отходов, а также модернизации предтопочных устройств или их дополнительной установки.

Основная задача утилизации ОСВ и древесных отходов состоит в их механической переработке с целью получения твердого топлива заданного качества, обеспечивающего транспортировку и хранение с минимальными затратами, а так же наиболее полное сгорание с высокой тепловой эффективностью [2]. Перспективной технологией рециклинга отходов, удовлетворяющей таким требованием, является производство топливных гранул и брикетов.

Технология гранулирования древесных отходов включает сбор отходов, измельчение, сушку и гранулирование. Сущность ее заключается в строгом соблюдении технологического процесса.

Гранулированное топливо в государствах СНГ в основном получают на основе подготовленных тонкозернистых древесных отходов (патенты России № 2007102840, 2008137467, 2369631, 2362798), отходов торфа (патент России № 2008137467), лигнина (патенты Республики Беларусь № 960455; патенты России № 96118804, 2124521), а также с полным или частичным использованием органических отходов производства зерновых культур, растительной биомассы (патент Республики Беларусь № 20090319).

В странах Западной Европы и США к наиболее распространенным видам получения твердого топлива относится гранулирование измельченных тонкозернистых древесных отходов (патенты США us 000006635093b1, us 000007252691b2; патенты Германии de 000019529441c2, de 000019961634a1, de 000019955844a1, de 000010205105a1, de 000010207811a1, de 000010207811b4, de 202005004140u1, de 000010357282a1; патенты Франции fr 000002777901a1, fr 000002936810; патенты Всемирной организации интеллектуальной собственности wo 001999051710, wo 002000060030a1, wo 002002051969a1, wo 002002070635a3, wo 002006003615a1, wo 002008007096a3, wo 002009120842a2, wo 00201001440a1).

Одним из преимуществ данной технологии являются рациональное использование древесных отходов, получение высококалорийного, экологически чистого топлива, возможность механизации и автоматизации при эксплуатации топочных устройств, повышение устойчивости процессов горения. Ее недостатки заключаются в высокой стоимости установок для гранулирования (стоимость мини-завода по производству гранул составляет 500–700 тыс. евро) и малом ресурсе формирующей матрицы, которая изготавливается с использованием сложных технологий из жаростойких и высокопрочных марок сталей.

Кроме того, при производстве гранул необходимо использовать только измельченную древесину с размером фракций частиц до 1,0 мм, с влажностью в пределах 6–12 % и отсутствием в прессуемой массе механических включений (песка, коры, листьев и т. п.).

Учитывая свойства ОСВ (влажность не менее 80 %, высокое содержание минеральных веществ, зольности топлива, как правило, составляет не менее 32–34 % без добавления древесных опилок), можно сделать вывод о том, что гранулирование ОСВ или композиционного топлива с добавлением древесно-растительной биомассы не целесообразно в связи с технологическим особенностям гранулирования по типоразмеру получаемого топлива, а также экономически не целесообразно ввиду необходимости удаления высокой влажности сырья, стоимости оборудования и увеличенного износа матрицы.

Анализ патентов показал, что во многих странах растет интерес к разработке оборудования и технологических схем производства топлива различными методами из растительной биомассы.

Для решения проблем энергосбережения при использовании в качестве вторичных ресурсов гидролизного лигнина (он схож по некоторым показателям с

ОСВ: влажность, минеральные частицы и т. п.), а также отходов добычи и переработки торфа в Республике Беларусь разработаны способы производства топливных брикетов.

РУП «БелНИИтоппроект» разработало способ получения топливных брикетов, включающий дозирование торфа и лигнина, их смешивание, рассев, измельчение, сушку и прессование торфолигнинной смеси, отличающийся тем, что предварительно выполняется естественная воздушная подсушка сырого исходного лигнина до влажности не более 50 % путем равномерного заполнения лигнином спланированной площадки (патент Республики Беларусь № 20010254).

Смешивание торфа и лигнина производится при следующем соотношении компонентов массы: торф – 10–50 %; лигнин – 50–90 %. Также ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси» разработало способ производства кускового топлива (патент № 20031114), отличающийся тем, что экскавацию торфа ведут на всю толщину его слоя, в качестве армирующей упрочняющей добавки используют фитомассу быстрорастущих растений или отходы производства и переработки сельскохозяйственной продукции.

В совместном патенте № 19990780 ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси» и РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» описан способ получения кускового лигнина, включающий нейтрализацию лигнина, перемешивание, пластификацию и влажное формование с последующей сушкой сформованных кусков в естественных условиях. Технологии, защищенные патентами РФ №2486232, 2126816, отличаются тем, что формование брикета осуществляется после предварительной сушки лигнина до остаточной влажности 8–10 % при температуре 170–230 °С и давлении 90–110 МПа. Утилизацией отходов с целью получения топлива с помощью брикетирования занимаются многие государства цивилизованного мира. Об этом свидетельствует большое количество патентов РФ (№ 2268914, 2157402, 2237083, 2330063, 2114902; 2100420, 2119532, 2129142, 2130047, 2131912, 2144559, 2187542, 2206602, 2208045, 2100417, 2100419, 2100420).

Большое внимание разработке различных методов брикетирования древесных отходов с целью получения твердого топлива в последнее десятилетие уделяется и в западных странах (патент США us 02005001111a1; патенты Великобритании gb 000002389857a, gb 000002448531a; Германии de 000019927443, de 000010243066a1, de 112007002839a5; патенты Франции fr 000002668774b1, fr 000002586254b1; Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) wo 00200913384a3, wo 002004106473a1, wo 002008106993a1).

Выводы. Специфические свойства отходов, высокая влажность и выход летучих веществ до 85–90 % делают не всегда невозможным применение

традиционных схем брикетирования, что требует дополнительных мер определения приемлемого компонентного соотношения брикетируемого состава топлива, обеспечивающего стабилизацию (нормализации) процесса как брикетирования, так и сжигания получаемого топлива [3].

Список литературы

1 Merkblatt DWA-M 366. Maschinelle Schlammwässerung. Правила DWA Механическое обезвоживание осадка. – Немецкая ассоциация водного хозяйства, сточных вод и отходов, 2013. – 45 с.

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

3 **Хрусталеv, Б. М.** Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике. / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4.– С. 340–348.

RENEWABLE ENERGY SOURCES BASED ON BIOMASS FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTED FUEL

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², V. YU. KORSHUNJVA²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 662.818:628.38

ИЗГОТОВЛЕНИЕ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², Я. С. ВАСИЛЬЕВ²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru

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

Актуальность. Экологически безопасное размещение осадков сточных вод с учетом использования их в составе многокомпонентного топлива имеет неоспоримое значение при завершении процесса очистки сточных вод городских очистных сооружений.

Цель работы – проведение экспериментальных исследований по созданию брикетов на основе ОСВ.

Основные результаты. Для проведения экспериментальных исследований по производству многокомпонентного брикетированного топлива на основе

осадка сточных вод (ОСВ) с различными компонентными составами ОСВ была использована опытно-промышленная установка в составе с брикетировующим устройством марки «ПМТ-1». Измерялись и фиксировались следующие параметры:

- доли компонентного состава брикетируемой массы;
- влажность брикетируемой массы;
- производительность установки по изготовлению твердого топлива.

При этом для каждой комбинации компонентного состава измеряли следующие величины:

- влажность брикета на выходе из рабочего канала и в процессе его сушки (методом взвешивания образцов);
- продолжительность выхода брикета заданной длины из установки;
- температуру массы сырья и сформированного брикета;
- наружные размеры сформованного и высушенного брикетов.

Кроме того, документировали внешний вид, состояние поверхности, наличие трещин и т. п., а также возможность транспортировки брикета для сушки.

При проведении опытов принимались постоянными давление, создаваемое прессом, время перемешивания (подготовки) компонентов к брикетированию, температурный режим в помещении, температурный режим сушки, время сушки.

В процессе постановки эксперимента использовали одни и те же приборы, методики, средства измерения для определения показателей:

- электронные весы ВСП-4К, цена деления 0,5 г;
- электронные весы ВСП-60/10-5КС, цена деления 10 г;
- тарелку алюминиевую прямоугольную (длина 600 мм, высота 30 мм, ширина 160 мм, толщина стенок 0,5 мм);
- гигрометр ВИТ-2;
- влагомер delta 200QS;
- линейку длиной 1 м по ГОСТ 427–75;
- штангенциркуль ШП-1 по ГОСТ 166–73;
- термометр электронный ChecktempН198501;
- секундомер механический типа СОСпр-26-2-010;
- вспомогательные средства – перчатки, маркер, полиэтиленовую пленку.

Кроме того, при определении влажности брикетов-образцов твердого топлива применяли следующие приборы, инструменты и оборудование:

- сушильный шкаф с электрическим обогревом и терморегулятором с отверстиями для естественной вентиляции и поддержания постоянной температуры нагрева в камере на уровне 900 ± 15 °С;
- технический стеклянный ртутный термометр по ГОСТ 2888–68 с ценой деления шкалы 2 градуса для замера температуры в камере сушильного шкафа;
- термопреобразователь с пределом измерения температуры до 1000 °С, с измерительным устройством;

– вспомогательные средства: щипцы тигельные, эксикатор, мельница, набор сит и т. д.

За основные критерии качества принимались такие показатели, как вид, форма, вязкость сформированной массы брикета. Определили границы возможности получения твердого топлива, при которых брикетируемый состав продавливается через формирующую фильеру, не теряет форму, поддается транспортировке и перемещению.

Установлено, что при влажности w брикетируемой смеси от 0,12 до 0,30 сформованная масса рассыпается самопроизвольно, в том числе и от механического воздействия авторезки. При ступенчатом увеличении влажности смеси от 0,30 в условиях неизменной доли древесных отходов повышается производительность, и брикет соответствует принятым в эксперименте критериям его качества.

В связи с этим область определения факторов выбиралась с его уровнем значений влажности w_0 и доли x_0 , которые в предварительных исследованиях были признаны наилучшими с точки зрения оптимизации производительности P . Задавался интервал варьирования факторов Δw и Δx . Определялись верхние и нижние уровни факторов:

$$w_{\max} = w_0 + \Delta w; \quad w_{\min} = w_0 - \Delta w; \quad (1)$$

$$x_{\max} = x_0 + \Delta x; \quad x_{\min} = x_0 - \Delta x, \quad (2)$$

при условии, что $w_{\max} > w_{\min}$ и $x_{\max} > x_{\min}$.

Таким образом было установлено, что на производительность установки P наибольшее влияние оказывает влажность смеси w , увеличение которой более 0,6 приводит к невозможности получения сформованных брикетов, так как брикетируемый материал выходит в пастообразном, обводненном состоянии и не сохраняет заданную форму, а также не поддается транспортировке.

В соответствии с теорией планирования принятый диапазон изменения влажности w и доли древесных отходов x был уменьшен и выбраны значения факторов, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Выбор значений факторов

Номер опыта	Параметр	
	доля влажности в брикетируемой смеси w	доля древесных опилок в прессуемой смеси x
1	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\max} = 0,240$
2	$w_{\max} = 0,440$	$x_{\min} = 0,160$
3	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\max} = 0,240$
4	$w_{\min} = 0,360$	$x_{\min} = 0,160$
5	$w_{\alpha 1} = 0,457$	$x_{\alpha 1} = 0,200$
6	$w_{\alpha 2} = 0,343$	$x_{\alpha 2} = 0,200$
7	$w_{\alpha 3} = 0,400$	$x_{\alpha 3} = 0,257$

Окончание таблицы 1

Номер опыта	Параметр	
	доля влажности в брикетируемой смеси w	доля древесных опилок в прессуемой смеси x
8	$w_{a4} = 0,400$	$x_{a4} = 0,143$
9	$w_0 = 0,400$	$x_0 = 0,200$

Кроме того, проведено исследование зависимости формы прессуемого оптимального компонентного состава на производительность.

В ходе эксперимента изменяли формы матрицы-фильеры рабочего канала прессы с целью определения их влияния на производительность и качественные показатели, а также оптимальных условий упаковки, транспортировки получаемых брикетов.

Отобранные образцы прошли испытания с целью определения параметров плотности, прочности, теплоты сгорания полученного альтернативного топлива. В испытаниях использовались образцы различных компонентных составов, спрессованные под одним давлением, но при различной влажности.

Внешний вид исследуемых образцов брикетов представлен на рисунке 1. В эксперименте использовалась квадратная форма фильеры размером 93×93 мм.

В испытаниях по определению плотности высушенных образцов брикетированного твердого топлива использовали три случайно выбранных брикета-образца длиной 200 мм и размером 86×86 мм. Погрешность инструментальных измерений размеров образцов составляла ±0,1 мм.

Массу m_n отобранной пробы определяли путем взвешивания образцов с погрешностью не более 0,01 кг.



Рисунок 1 – Внешний вид образцов брикетов

При разработке многокомпонентного твердого топлива на основе ОСВ руководствовались существующими методами оценки качественных

параметров, которые будут позволять произвести оценку свойств с необходимой достоверностью и воспроизводимостью. Именно поэтому при разработке новых видов топлива при определении эксплуатационных свойств необходимо использовать специальные, воспроизводимые лабораторные методы контроля и оценки качества твердого топлива.

Важным эксплуатационным параметром является химический состав топлива, который классифицируется тремя группами, представленными в таблице 2.

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, зависит от его элементарного состава. Любое топливо содержит органическую (горючую) часть и так называемый балласт. В состав органической части топлива могут входить следующие элементы: углерод (C), водород (H₂), сера (S), кислород (O₂), азот (N₂). Наиболее ценными элементами органической части, с точки зрения получения теплоты, являются углерод (C) и водород (H₂). Сера при ее сгорании образует кислотные окислы SO₂ и SO₃.

Таблица 2 – Классификация топлива по химическому составу [1]

Класс	Химический состав	Вид топлива
I	Углерод	Все виды кокса и древесный уголь
II	Углерод и водород	Нефть, нефтепродукты, газообразные углероды и др.
III	Углерод, водород и кислород	Древесина, торф, ископаемый уголь, брикеты, гранулы, генераторный, смешанный и водяной газы

Кислород и азот теплоты не выделяют, это внутренний балласт топлива. Внешним балластом, не входящим в состав соединений, образующих органическую часть топлива, являются минеральные примеси (при сгорании образуют золу) и вода [1].

Структура брикета образуется путем контактов частиц между собой или через прослойки связующих за счет создаваемых усилий брикетирования. Разнообразие технологических приемов и специфичность отдельных видов брикетирования материалов не позволяют создать единой теории брикетирования. Однако необходимо рассматривать и учитывать основные факторы и явления, на основе современных представлений макромолекулярной структуры влияющие на процесс брикетирования [2].

Состав грануломерата оценивается суммарной поверхностью контакта зерен, числом и размером пустот в структурном каркасе брикетов, наличием остроугольных зерен, рельефом твердой поверхности и присутствием пылевидных частиц. А принцип подбора смеси частиц различной крупности заключается в создании структурной композиции, отвечающей наиболее плотной упаковке.

Выводы. Использование опилок в составе топлива позволяет за счет формирования плотной структуры брикета увеличить его удельную

объемную теплотворную способность, снижает поглощение влаги и уменьшает концентрацию содержания серы и зольности брикетируемого топлива. Несмотря на то, что опилки в первоначальном виде занимают значительный объем, после брикетирования объем в 4–6 раз уменьшается, и низкая плотность сформированных брикетов позволяет транспортировать их и выполнять погрузо-разгрузочные работы с минимальными затратами.

Список литературы

1 **Ковхуто, А. М.** Минерально-сырьевые ресурсы Республики Беларусь и проблемы их комплексного освоения / А. М. Ковхуто, Л. А. Шакалов // *Новости науки и технологий.* – 2012. – № 4 (23). – С. 10–20.

2 **Сидняев, П. И.** Введение в теорию планирования эксперимента : учеб. пособие / П. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 463 с.

3 **Хрусталеv, Б. М.** Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова // *Наука и техника.* – 2022 – Т. 21, № 4 – С. 340–348.

PRODUCTION OF BRIQUETTES BASED ON SEWAGE SLUDGE BY PRESSING

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², Ya. S. VASILIEV²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 662.8.055:628.38

ШНЕКОВОЕ ПРЕССОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², P. A. MATVEEVA²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru

²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vostrova@tut.by, polina70847188@gmail.com

Актуальность. Возврат вторичных энергетических ресурсов в народнохозяйственный оборот – актуальная задача современности.

Цель работы – разработка способа брикетирования двухкомпонентного твердого топлива на основе ОСВ.

Основная часть. Наиболее производительным способом изготовления топливных брикетов с высокими показателями по качеству и сжиганию является метод брикетирования с использованием прессов [1]. Для брикетирования применяются в основном три типа прессов: конические шнековые, шнековые с нагревательной матрицей (без нагревательной матрицы) и двухшнековые.

Плотность материала готового брикета может достигать 1,2 кг/дм³. Принцип работы установки шнекового брикетирования включает следующие основные стадии: прессование, формование, а с нагревательной матрицей и обжиг.

В основе многих способов и технологий производства древесных топливных брикетов лежит процесс прессования мелкоизмельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением и при нагревании. При этом содержащийся в опилках лигнин обеспечивает формование брикета (патенты Республики Беларусь № 960455, u20090319; патенты России № 2080254, 2369633, 2074236, 2191799). Каждая технологическая разработка в большинстве случаев привязывается к использованию местных ресурсов и имеющегося вторичного сырья, применение которых позволяет повысить технико-экономические показатели производства твердого топлива.

В состав типовой технологической схемы линии шнекового прессования древесных опилок в топливные брикеты дополнительно может устанавливаться оборудование, позволяющее измельчать кусковые древесные отходы до необходимых гранулометрических размеров частиц.

Энергопотребление установки по производству топливных брикетов производительностью в пределах 500 кг/ч составляет 75 кВт, а более мощные производственные линии производительностью 1,0–1,2 т/ч в зависимости от производителя (ООО «ЭкоЭнергия» Российская Федерация, ООО «Промбрикет» Республика Беларусь) потребляют 120–170 кВт.

Производительность таких линий увеличивается только за счет использования дополнительных брикетных прессов и более мощных сушильных агрегатов типа АВМ-0.65, АВМ-1,0.

Одним из недостатков типовой технологической схемы брикетирования твердого топлива относится необходимость обеспечения непрерывной работы применяемых в технологии сушильных агрегатов и теплогенераторов, так как любая поломка вызывает остановку технологического процесса.

Процесс сушки требует генерации топочных газов высокой температуры, поскольку низкие качественные показатели температуры топочных газов обуславливают высокий градиент влажности подготавливаемого сырья к брикетированию.

Особенностью технологии получения брикетов является необходимость применения только измельченных древесных опилок, при этом в составе древесных отходов не допускается абразивных и механических включений, а при смешивании опилок с различной влажностью при одинаковых параметрах сушки возможно самовозгорание опилок в процессе сушки.

К основным недостаткам этих методов получения топлива относятся низкая производительность оборудования, высокие требования к сырью – размеры частиц опилок 0,1–3,0 мм, влажность опилок 9–14 %. В качестве органического связующего для брикетирования могут использоваться свя-

зующие компоненты, например, низко- или среднеплавкий нефтяной остаток, требующий специальной подготовки и расплавления. Режим брикетирования требует создания давления не менее 30 МПа.

Технологические схемы насыщены различным основным и вспомогательным оборудованием, что требует значительных капитальных затрат и многопрофильного обслуживающего персонала. Устройство пресса-экструдера для производства топливных брикетов методом непрерывного прессования сухих древесных опилок показано на рисунке 1.

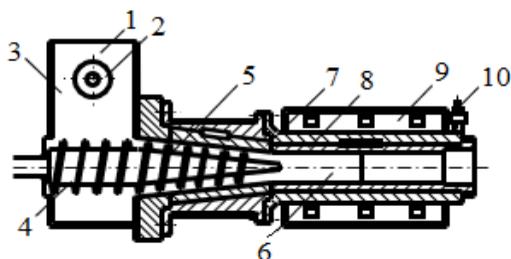


Рисунок 1 – Устройство пресса-экструдера для производства топливных брикетов методом непрерывного прессования:

1 – загрузочное окно; 2 – ворошитель; 3 – камера; 4 – подающая часть шнека; 5 – прессующая часть шнека; 6 – рабочий канал; 7 – коническая втулка; 8 – матрица-фильера; 9 – нагревательные элементы; 10 – термопара

Сырье поступает в приемный бункер, проходит загрузочное окно 1 через ворошитель 2 и сыпается в камеру 3, где расположен вращающийся подающий шнек 4. К нему соосно примыкает прессующая часть шнека 5, свободный конец которого входит в рабочий канал 6, состоящий из конической втулки 7, переходящей в цилиндрическую формующую часть матрицы-фильеры 8 на выходе.

По мере заполнения камеры 3 шнек 4 подает сырье в коническую часть канала втулки, где происходит его прессование, выдавливание в цилиндрическую часть канала. Усилия от прессующего шнека 5 действуют в осевом направлении и в вертикальной плоскости. Коническое исполнение хвостовика прессующего шнека способствует повышению плотности брикета.

В конической части канала втулки происходит формирование брикета при давлении 15–20 МПа. На коническую поверхность втулки 7 действуют большие усилия, вследствие чего возникает сопротивление в виде сил трения. Усилия от прессующего шнека уплотняют смесь по всему сечению.

Под действием сил сжатия и подвода теплоты к смеси от нагревательных элементов 9 выделяется из клеток древесины естественное связующее (лигнин). При последующем охлаждении брикета связующее пластифицируется. Температура нагрева прессующего канала контролируется термопарой 10, которая подключена к блоку регулирования температуры от 240 до 280 °С.

При такой температуре на внешней и внутренней поверхностях брикета образуется науглероженный слой, выполняющий функции защитной гидрофобной оболочки при хранении и транспортировке брикета, а также смазки, что способствует непрерывному прохождению брикета в конической втулке 7 и матрице-фильере 8 пресса. Коническое исполнение хвостовика прессующего шнека также способствует повышению плотности брикета.

Для решения ряда принципиальных вопросов, в первую очередь вопроса возможности использования ОСВ с высокой влажностью и значительным содержанием золы при брикетировании, в общепринятую технологическую систему брикетирования внесены изменения и усовершенствована технологическая схема процесса производства твердого топлива с использованием ОСВ методом брикетирования. Описанный ранее процесс брикетирования в упрощенном варианте состоит из последовательности следующих операций, представленных на рисунке 2.

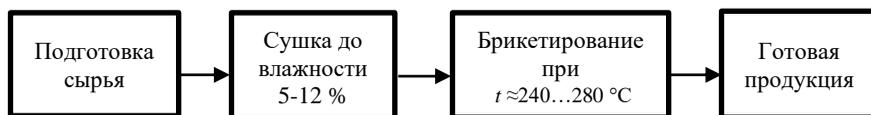


Рисунок 2 – Последовательность операций при традиционном способе брикетирования твердого топлива

Недостатком данной схемы, ограничивающей ее применение при переработке ОСВ, является необходимость предварительной сушки брикетируемого сырья до 7–12 % и в дальнейшем нагрева формируемой массы до температуры 220–260 °С для спекания при брикетировании под создаваемым прессом давлением.

С целью брикетирования ОСВ и смеси ОСВ и древесных отходов при производстве твердого топлива использована схема последовательности операций, представленная на рисунке 3. Преимуществом такой схемы является исключение первичных затрат на подготовку, включающую основные операции, представленные на рисунке 2 (нет необходимости предварительно измельчать, высушивать брикетируемое сырьё, в основном по необходимости на вибросите происходит просеивание опилок с отделением крупных древесных и минеральных включений), и возможность выполнять основную сушку сформованного топлива как в сушильной камере или, например, в предтопнике, а в теплое время года – при температурах атмосферного воздуха (например, под навесом).

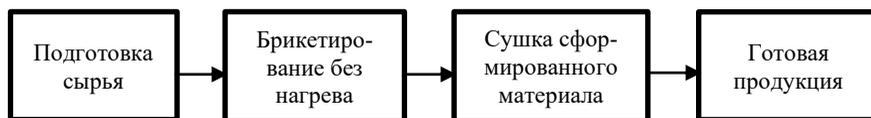


Рисунок 3 – Последовательность операций при предложенном способе брикетирования двухкомпонентного твердого топлива

Выводы. Для оценки энергоэффективности и определения основных характеристик и элементного состава различных образцов твердого топлива, была использована матрица с типоразмером применённой фильеры 93×93 мм. Подобранный типоразмер применённой фильеры позволяет в первую очередь подвергать минимальному износу матрицу и шнековую часть брикетирующей установки ввиду большого содержания минеральных примесей (до 39%) в составе ОСВ. Также данная установка способна обезвоживать брикетируемую смесь при сжатии на входе в формующую матрицу с удалением излишков влаги непосредственно при брикетировании.

Список литературы

1 Хрусталеv, Б. М. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике. / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4 – С. 340–348.

SCREW PRESSING OF SEWAGE SLUDGE (OSV) IN THE MANUFACTURE OF FUEL BRIQUETTES

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², P. A. MATVEEVA²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 662.818:628.38

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², V. A. MALOFEY²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru

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

Актуальность. Определение теплоты сгорания топлива на основе осадков сточных вод (ОСВ) с целью возможности установления оптимальных по соотношению компонентных параметров является актуальной задачей в сфере создания альтернативного топлива.

Цель работы – определение теплоты сгорания топливных брикетов на основе ОСВ.

Основные результаты. С учетом накопленного опыта создания многокомпонентных видов топлива с использованием лигнина и нефтесодержащих отходов и разработанных ранее ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное» при разработке компонентных составов топлива с ис-

пользованием ОСВ учтены требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам и торфу. Возможность использования твердых видов топлива при сжигании в теплотехнических установках определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами [1].

Основным свойством топлива и обязательным параметром оценки его эффективности является теплота сгорания, которая зависит от элементного состава твердого топлива [2].

С учетом оптимального компонентного состава топливных брикетов разработаны составы четырёх образцов брикетов для определения диапазонов и соотношений химического состава соответствующего качества, пригодного для сжигания в котлах имеющейся промышленной котельной.

В таблице 1 представлено сравнение топливного эквивалента с различными составами и при различной влажности.

Показатели зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы определены в процессе проведения испытаний в лабораториях на образцах, а также моделировались с использованием идентичных методов и методик определения показателей с применением программно-аппаратного комплекса калориметра модели В-08МА-К (таблица 2).

Таблица 1 – Сравнение топливного эквивалента с различными составами при различной влажности топлива

Марка брикета	Состав брикета (ОСВ/опилки), %	Влажность W, %	Теплота сгорания Q, ккал/кг	Калорийный эквивалент
1	(50 / 50)	10,4	3889	0,556
2	(75 / 25)	10,4	3800	0,543
3	(100 / 0)	10,4	3986	0,569
4	(33 / 67)	10,4	3719	0,531
1	(50 / 50)	30	2911	0,416
2	(75 / 25)	30	2842	0,406
3	(100 / 0)	30	2986	0,427
4	(33 / 67)	30	2778	0,397
1	(50 / 50)	40	2412	0,345
2	(75 / 25)	40	2352	0,336
3	(100 / 0)	40	2476	0,358
4	(33 / 67)	40	2297	0,328

Таблица 2 – Полученные значения основных элементов топлива

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

Выводы. Результаты исследования теплоты сгорания брикетов показывают, что при влажности 10,4 % теплота сгорания образца с составом ОСВ 100 % составляет 3986 ккал/кг, при том, что при смешивании ОСВ и древесных опилок в пропорции 50×50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 ккал/кг.

Существенные изменения наблюдаются в зольности, которая является не менее важным показателем качества топлива. Показатель зольности снижается в пределах действующих нормативов при добавлении в состав брикетов древесных отходов.

Список литературы

1 Хрусталеv, Б. М. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике. / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова. // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – 2022. – С. 340–348.

2 Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник БГТУ. Сер: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 41–43.

DETERMINATION OF THE CALORIFIC VALUE OF BRIQUETTES BASED ON SEWAGE SLUDGE

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², V. A. MALOFEY²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ, А. В. СИНЯВСКАЯ

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
d.propolsky@gmail.com*

Актуальность. Важным аспектом жизнедеятельности человека является использование чистой питьевой воды. Документом, нормирующим показатели качества питьевого водоснабжения в Республике Беларусь, является постановление Совета Министров от 25 января 2021 г. № 37. Для большинства стран подземные воды являются основным источником питьевого водоснабжения. Это вызвано стабильностью состава и микробиологической безопасностью анаэробных подземных вод.

Каждый источник водоснабжения характеризуется рядом загрязнений [1]. Например, загрязнение подземных вод тяжёлыми металлами может быть вызвано антропогенным воздействием на почву. Для Республики Беларусь актуальным является вопрос повышенной концентрации железа Fe (II) и марганца Mn (II) в подземных водах. Предельно допустимая концентрация (ПДК) Fe (II) и Mn (II) в питьевой воде составляет 0,3 мг/л и 0,1 мг/л соответственно. Эффективность водоподготовки в соответствии с требованиями стандарта будет зависеть от выбора надлежащего метода обезжелезивания и деманганации.

Цель работы – описать существующие методы обезжелезивания и деманганации, провести их сравнительный анализ и рассмотреть перспективные направления удаления железа и марганца.

Основные результаты. Железо и марганец в подземных водах обычно встречаются в паре. Повышенная концентрация данных металлов обусловлена растворением природных минералов и Fe-, Mn-содержащих пород в анаэробных условиях в процессе фильтрации осадков. Соотношение Fe/Mn в подземных водах будет зависеть от поступления нитратов в неглубокие водоносные горизонты. Обычно концентрация железа Fe в 20–60 раз выше, чем марганца Mn. Между тем окисление Mn²⁺ более проблематично, чем Fe²⁺ из-за более высокого окислительно-восстановительного потенциала марганца. Источниками железа в подземных водах являются минеральные оксиды (гематит, магнетит и лимонит), сульфиды FeS₂ (пирит), сульфаты Fe₂(SO₄)₃, силикаты (пироксин, амфиболы), карбонаты FeCO₃ (сидерит) и бикарбонаты Fe(HCO₃)₂. Марганец в подземных водах встречается преимущественно в форме бикарбоната Mn(HCO₃).

Для улучшения процессов удаления железа и марганца обязательно проведение исследования источника водоснабжения на пилотных установках.

Разнообразие реакций, которые могут возникать с этими металлами, обширно. Поэтому выбор метода будет зависеть от параметров качества питьевой воды, влияющих на процессы удаления железа и марганца. Сюда относятся концентрации и формы Fe(II) и Mn(II) в исходной воде, pH, щелочность, жёсткость, температура, мутность, наличие контакта железа и марганца с органическими веществами и кислотами, содержание углекислого газа (CO₂) и растворенного кислорода и т. д. Например, высокое значение pH, окислительно-восстановительного потенциала и наличие растворённого кислорода в обрабатываемой воде способствует увеличению эффективности удаления железа до 70 %. Кроме того, высокое значение pH может указывать на более низкую концентрацию растворенных форм Fe(II) и Mn(II) в подземных водах.

Обработка подземных вод может осуществляться физическими, химическими, биологическими методами. Обезжелезивание и деманганация осуществляется при сочетании химических и биологических процессов. Наиболее распространёнными методами удаления Fe и Mn из подземных вод являются метод упрощённой аэрации с последующим фильтрованием [2], метод «сухого» фильтрования [2], вакуумно-эжекционный метод, обезжелезивание на каркасных фильтрах, добавление реагентов-коагулянтов, окислителей (хлор и гипохлоритом натрия, перманганат калия), озонирование, подщелачивание воды путём добавления извести, а также окисление на основе каталитической загрузки. К нетрадиционным методам удаления железа и марганца относятся ионообменный метод, обезжелезивание в пласте (метод «Vyredox»), мембранная или биологическая фильтрация.

Применение нетрадиционных методов рационально при необходимости комплексной очистки подземных вод от нескольких загрязняющих веществ. Кроме того, для увеличения эффективности удаления железа и марганца возможно использование комплексных методов. Например, технологическая схема, состоящая из последовательных этапов аэрации, марганцево-песчаного фильтра и ультрафильтрации. Это позволяет увеличить эффективность удаления ионов Fe²⁺ и Mn²⁺ из подземных вод после марганцево-песчаного фильтра до 100 % и 90 % соответственно. Окисление железа в основном происходило в процессе аэрации, тогда как окисление марганца в основном происходило на марганцево-песчаном фильтре.

Важным замечанием проведенного анализа является то, что все представленные методы либо включают в себя, либо предполагают этап последующей фильтрации. Это связано с необходимостью полного удаления образованных после окисления нерастворимых форм железа и марганца (Fe³⁺, Mn³⁺), хлопьев после этапа коагуляции и т.д. Несмотря на эффективность представленных методов удаления железа и марганца, они имеют ряд ограничений. К ним можно отнести:

– сложность эксплуатации установки и чрезмерно высокие эксплуатационные затраты метода (вакуумно-эжекционный метод и озонирование).

Также применение таких методов потребует высокой квалификации рабочего персонала;

- добавление вторичных химических соединений в воду (коагуляция, флотация, добавление извести, введение реагентов-окислителей) приводит к увеличению производительности. В то же время возникает необходимость регулярного подбора оптимальной дозы реагента, площадей для хранения реагентов, утилизации образованного химического осадка. Использование хлора также является повышено опасным. Всё это влечёт за собой увеличение эксплуатационных расходов станции водоподготовки;

- малые исходные концентрации Fe и Mn (мембранный метод и фильтрация через каркасные фильтры). Нарушение этих ограничений приводит к быстрой закупорке фильтрующего элемента и к его частой замене;

- применение биологических методов (биологическая фильтрация) является экологически чистым и менее дорогостоящим, но для жизнедеятельности бактерий требуется создание особых благоприятных условий. Это также затрудняет эксплуатацию установки;

- упрощённая азрация с последующим фильтрованием и метод сухого фильтрования просты в применении. Сложности возникают при наличии в обрабатываемой воде органических соединений. Контакт железа и марганца с такими соединениями приводит к образованию форм Fe- и Mn-бактерий. Это затрудняет образование адсорбционно-каталитической оксидной плёнки и для очистки обрабатываемой воды потребуются этап обеззараживания;

- фильтрация через каталитическую загрузку также неэффективно в отношении органического Fe и Mn. При этом наличие на поверхности каталитического материала слоя, способствующего инактивации микроорганизмов, позволит избежать недостатков метода. В качестве каталитической загрузки также могут применяться полифункциональные модифицированные фильтрующие материалы [3, 4].

Модификация материала позволяет изменять и улучшать характеристики исходного материала, использовать для модификации дешёвые исходные материалы либо переработанные отходы производства. Это позволит снизить затраты станции водоподготовки и стоимость очищенной подземной воды.

Выводы. Обезжелезивание и деманганация являются актуальными вопросами водоподготовки. Применение эффективных и доступных методов позволит упростить процесс водоподготовки, но существует ряд ограничений. Рассмотренные методы удаления железа и марганца либо включают, либо требуют этапа последующей фильтрации. Наиболее перспективным и доступным является применение фильтрации через каталитическую загрузку. Нанесение на поверхность фильтрующего материала сразу нескольких окислителей во время модификации позволит устранить существующие недостатки метода. Перспективным направлением является разработка полифункциональных каталитических фильтрующих материалов [5].

Список литературы

1 **Yushchenko, V.** Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – № 22. – P. 100943. – DOI : 10.1016/j.gsd.2023.100943.

2 **Yushchenko, V.** Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Environmental Technology. – 2023. – P. 1–8. – DOI : 10.1080/09593330.2023.2185820.

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 **Пропольский, Д. Э.** Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – № 4. – С. 103–111. – DOI : 10.35567/1999-4508-2020-4-7.

5 Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, [et. al.] // Environmental Research. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. – DOI : 10.1016/j.envres.2019.108996.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DE-IRONING AND DEMANGANATION METHODS OF UNDERGROUND WATER

D. E. PRAPOLSKI, A. V. SINYAVSKAYA

Belarusian National Technical University, Minsk

УДК 628.196

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ДЕМАНГАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Д. Э. ПРОПОЛЬСКИЙ, К. С. ЮРКЕВИЧ

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
d.propolsky@gmail.com*

Актуальность. В ряде стран основным источником питьевого водоснабжения являются подземные воды. Для безопасного водопользования необходимо, чтобы очищенная вода соответствовала требованиям стандартов. Для Республики Беларусь документом, нормирующим показатели качества питьевого воды, является постановление Совета Министров от 25 января 2021 г. № 37.

Важным ограничением использования того или иного метода водоподготовки являются особенности конкретно взятого источника водоснабжения. Для Республики Беларусь актуальным вопросом является удаление железа Fe (II) и марганца Mn (II) в подземных водах. Для надлежащей очистки воды

до требований стандарта необходим выбор эффективного метода обезжелезивания и деманганации. При этом существующие методы удаления железа и марганца включают в себя либо требуют этапа последующей фильтрации. С этой точки зрения наиболее перспективным методом обезжелезивания и деманганации является применение фильтрации через каталитическую загрузку.

Цель работы – описать критерии подбора фильтрующих материалов, провести их сравнительный анализ, а также рассмотреть перспективные разновидности фильтрующих материалов для удаления железа и марганца.

Основные результаты. Эффективность процесса удаления Fe и Mn будет зависеть от физико-химических характеристик исходной воды и фильтрующей загрузки, а также их химического и биологического взаимодействия. Например, наличие в обрабатываемой воде органических соединений приводит к образованию форм Fe- и Mn-бактерий. Это затрудняет образование адсорбционно-каталитической оксидной плёнки и значительно ухудшает процессы обезжелезивания и деманганации.

Для эффективного удаления Fe и Mn методом фильтрации необходимо обосновать выбор фильтрующего материала.

Основные требования к фильтрующим материалам включают в себя химическую стойкость по отношению к компонентам, находящимся в подземной воде, механическую прочность, высокую удельную поверхность и соответствующую удельную массу. Кроме того, фильтрующие материалы должны обеспечивать полное и быстрое отделение твердых частиц от жидкой фазы. Гранулометрический состав загрузок и технологические параметры фильтрации необходимо подбирать таким образом, чтобы фильтр выводился на промывку не из-за ухудшения качества фильтрата, а по достижении предельных потерь напора.

Среди наиболее часто используемых материалов, применяемых на станциях обезжелезивания подземных вод, выделяют кварцевый песок, активированный уголь, пиролюзит (диоксид марганца), антрацит, керамзит, шунгизит, цеолит. Было установлено, что наиболее высокая адсорбционная способность Fe и Mn наблюдалась у базальтов, антрацита, магнетита, песка, пемзы и известняка.

Кварцевый песок (диоксид кремния) наиболее часто используется в качестве задерживающего слоя при очистке питьевой воды. Кварцевый песок имеет наименьшую удельную площадь поверхности ($0,64 \text{ м}^2/\text{г}$) по сравнению с другими минеральными фильтрующими средами. Материал устойчив к различным химическим веществам, обладает низкой стоимостью и удовлетворительной эффективностью удаления тяжёлых металлов.

Антрацит обладает низкой удельной площадью поверхности ($0,38\text{--}1,8 \text{ м}^2/\text{г}$), плотностью ($1,4\text{--}1,8 \text{ г}/\text{см}^3$) и удельным весом ($1,65 \text{ г}/\text{см}^3$). Материал может комбинироваться с другими фильтрующими материалами в многослойных фильтрах. По сравнению с эквивалентным фильтром с загрузкой из

песка обладает более длительным фильтроциклом и меньшими потерями напора. Скорость обратной промывки также снижается.

Активированный уголь получают из природных материалов (кокоса, орехов, различных пород древесины и угля). Такой материал обладает повышенными адсорбционными свойствами, пористостью (55%) и удельной площадью поверхности (1,47 м²/г). Адсорбция ионов Fe и Mn на поверхность АС затрудняется в присутствии аммиака в обрабатываемой воде. Эффективность удаления зависит от концентрации этих соединений, а также от pH и скорости фильтрации.

Цеолит – кристаллический алюмосиликат Na, K, Mg и Ca пористой структуры. Материал обладает меньшей твердостью и механической прочностью, чем кварцевый песок. Цеолит – эффективный каталитический материал, так как является природным источником оксида марганца MnO_x. Между тем материал добывается только в отдельных странах.

Существующие на рынке современные каталитические фильтрующие загрузки (МТМ, Manganese Greensand, Birn) представляют собой модифицированные с помощью диоксида марганца MnO_x инертные материалы. Регенерации слоя MnO₂ осуществляется с помощью раствора гипохлорита натрия (NaOCl) или раствора перманганата калия (KMnO₄). Производительность таких материалов снижается, так как поглощенные ионы металлов окисляются на поверхности материала. Когда Fe(II) удаляется, окисленный Fe(III) блокирует активные участки поверхности загрузки. Было также обнаружено, что некоторые виды Fe(II) вымывают значительное количество Mn(II) путём редуктивного растворения, которое существенно снижает удаление Mn(II) при одновременном взаимодействии с Fe(II) и Mn(II). Кроме того, в случае с Birn наличие в воде сероводорода, полифосфатов и органических веществ приводит к разрушению каталитического покрытия. Поэтому такой материал предназначен только для удаления растворенного железа и марганца. Таким образом даже при существующих достоинствах таких каталитических материалов чаще всего они являются дорогостоящими и не приводят к комплексной очистке воды.

По этой причине перспективным является использование полифункциональных модифицированных фильтрующих материалов [1–5]. Нанесения на поверхность материала нескольких оксидов металлов позволит решить сразу несколько задач водоподготовки (удаление тяжёлых металлов, нитратов, фосфатов, инактивация микроорганизмов). В качестве основы для модификации могут использоваться дешёвые материалы либо переработанные отходы производства. Это позволит снизить затраты станции водоподготовки. Существующие методы модификации можно разделить между собой в зависимости от температуры и времени обработки и используемых реагентов. Химический метод модификации применим при необходимости изменения химического состава поверхности. Физико-химический метод позволяет

изменять морфологические характеристики исходного материала (текстура, шероховатость, механическая прочность, химическая стойкость). В качестве перспективного метода модификации инертных зернистых материалов может рассматриваться метод экзотермического горения в растворах (SCS). Метод характеризуется низкими затратами реагентов, малым временем синтеза (минуты), низкими энергозатратами (в основе лежит экзотермическая самораспространяющаяся реакция горения), низким воздействием на окружающую среду. В статье [5] описано исследование, которое посвящено использованию антрацита в качестве каталитического материала для удаления железа из природной воды. Гранулы антрацита были покрыты оксидом железа (Fe_2O_3) методом экзотермического горения в растворах.

Выводы. Для эффективного удаления Fe и Mn методом фильтрации необходимо обосновать выбор фильтрующего материала. Большинство природных материалов, используемых в водоподготовке, не обладают исходными каталитическими свойствами. Материалы с природным источником оксида марганца добываются только в некоторых странах. Это создаёт проблему их повсеместного использования. Каталитические материалы (МТМ, Manganese Greensand, Birm), обработанные каталитическим слоем, требуют этапа регенерации дорогостоящим KMnO_4 . Кроме того, Fe(III) блокирует активные участки поверхности такой загрузки.

По этой причине наиболее перспективным и доступным является применение полифункциональных каталитических фильтрующих материалов.

Список литературы

1 **Yushchenko, V.** Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2023. – № 22. – P. 100943. – DOI : 10.1016/j.gsd.2023.100943.

2 **Yushchenko, V.** Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // *Environmental Technology*. – 2023. – P. 1–8. – DOI : 10.1080/09593330.2023.2185820.

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 **Пропольский, Д. Э.** Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // *Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление*. – 2020. – № 4. – С. 103–111. – DOI : 10.35567/1999-4508-2020-4-7.

5 **Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky [et. al.]** // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 182. – P. 108996. – DOI : 10.1016/j.envres.2019.108996.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FILTER MATERIALS FOR DE-IRONING AND DEMANGANATION OF UNDERGROUND WATER

D. E. PRAPOLSKI, K. S. YURKEVICH

Belarusian National Technical University, Minsk

УДК 551.4 (476.13)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. КАШИНА

А. А. РОДЕНКО

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

Актуальность. Современные очистные сооружения – это сложный и дорогостоящий комплекс инженерных сооружений и коммуникаций. Необходимость в реконструкции очистных сооружений возникает при невысокой эффективности работы одного или нескольких узлов в технологии очистки воды, учитывая высокие требования к очищенным стокам.

Потребность в реконструкции очистных сооружений сточных вод возникает довольно часто. Это связано с тем, что многие сооружения были построены давно, и сегодня их технические возможности не отвечают современным требованиям. Это в равной степени относится к качеству очистки сточных вод и к рентабельности работы этого объекта.

Цель работы – обследование очистных сооружений города Кашина, производительностью 17 тыс. м³/сут, с разработкой рекомендаций по реконструкции для обеспечения требуемых концентраций загрязняющих веществ на выпуске в ручей Петровик.

Основные результаты. На основании проведенного визуального осмотра выявлены дефекты и повреждения конструктивных элементов очистных сооружений канализации г. Кашина: множественные продольные и поперечные трещины защитного слоя бетона, сколы и отслоения бетона, разрушение бетонного слоя с оголением арматуры, в местах оголения арматура имеет признаки глубокой коррозии (подводящий канал с решётками, решётки-дробилки, распределительная камера, первичный вертикальный отстойник, аэротенк-вытеснитель, вторичный вертикальный отстойник, старые и новые контактные резервуары); сплошная коррозия металлоконструкций и технологического оборудования (воздуховодов, трубопроводов, ограждений, площадок обслуживания, щитовых затворов, решетки). Дефекты и повреждения возникли в результате воздействия эксплуатационных и климатических факторов. Средние значения концентраций загрязняющих веществ в составе поступающих сточных водах приведены в таблице 1.

Очистные сооружения физически и морально устарели. Требуется ремонт зданий и сооружений.

Комплекс сооружений и технологического оборудования не отвечает современным требованиям по очистке сточных вод. Без реконструкции станции очистки получить нормативные концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах невозможно.

Таблица 1 – Средние значения концентраций загрязняющих веществ в составе поступающих сточных водах

Показатель	Концентрация, мг/дм ³
Взвешенные вещества	151,82
БПК ₅	97,1
Азот аммонийный	14,26
Фосфор фосфатный	0,83
Нефтепродукты	0,404
Железо	1,056
Медь	0,0173
Цинк	0,054
Хром	0,16
Хлориды	226,9
Сульфаты	104,95

Согласно данным [1] сточные воды по содержанию в них органических веществ можно классифицировать как низкоконцентрированные, средне неконцентрированные, высококонцентрированные. Сточные воды можно отнести к низкоконцентрированным по органическим загрязнениям (так как БПК₅ менее 150 мг/дм³), по содержанию в них азота аммонийного и фосфора (диапазон по азоту аммонийному менее 25 мг/дм³, по фосфору менее 2,2 мг/дм³).

Ввиду наличия в городском округе предприятий тяжелой промышленности на очистные сооружения часто поступают сточные воды с повышенным содержанием нефтепродуктов и железа, которые оказывают дополнительную нагрузку на очистные сооружения.

На основании проведенного комплексного обследования и оценки эффективности работы очистных сооружений г. Кашина разработаны рекомендации по реконструкции очистных сооружений, обеспечивающие качество очистки сточных вод на уровне до требований в сбросе в ручей Петровик:

1) в первичных вертикальных отстойниках ввиду физического износа рекомендуется: ремонт железобетонных конструкций; нанесение гидроизоляционного покрытия; установка нержавеющей лотка с зубчатым водосливом; установка нержавеющей полупогружной доски и новых эрлифтов; ревизия состояния трубопроводов; установка новых технологических мостиков по периметру с ограждениями и лестницами – на всех отстойниках;

2) ремонт железобетонных конструкций, с последующей гидроизоляцией бетонных поверхностей; замена системы аэрации во всех секциях аэротенка и распределительные лотки;

3) установка нержавеющей перегородки и устройства удаления осадка (эрлифт), а также новых технологических мостиков по периметру с ограждениями и лестницами и кассет с полимерной загрузкой, и новой системы аэрации.

Выводы. В результате проведенного обследования очистных сооружений г. Кашина были предложены рекомендации по реконструкции, обеспечивающие качество очистки сточных вод на выпуске до требований сброса в ручей Петровик.

Список литературы

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

2 Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения : материалы Междунар. конф., посвящ. 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февраля 2019 г. : в 2 ч. Ч. 2. – Минск : БГТУ, 2019. – 324 с.

RECONSTRUCTION OF KASHIN SEWAGE TREATMENT PLANTS

A. A. RODENKO

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ТРЕТЬЕГО ПОДЪЕМА

Н. П. СЕРЕДА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
kolya.sereda.2015@mail.ru*

Актуальность. Большое количество насосных станций 3-го подъема в Республике Беларусь находятся в неудовлетворительном состоянии, что приносит неудобства жителям, проживающим в многоэтажных домах. Разработка рекомендаций по повышению эффективности работы насосных станций (НС) 3-го подъема позволит улучшить качество жизни населения.

Насосные станции третьего подъема выполняют важную функцию транспортировки питьевой воды жителям многоэтажных жилых домов. Поэтому необходимо повысить эффективность работы насосных станций третьего подъема с целью улучшения качества жизни населения и интенсификации работы.

Цель работы – разработка рекомендаций по повышению эффективности 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 – бесперебойного и устойчивого снабжения водой требуемых гидравлических параметров и требуемого качества. Основные виды затрат при повышении эффективности работы систем водоснабжения:

- стоимость оборудования;
- стоимость работ по монтажу и пусконаладке;
- потребляемая электроэнергия, определяемая удельным расходом электроэнергии на перекачку одной единицы воды;
- организация системы диспетчеризации;
- потери воды из-за избыточных напоров;
- техническое обслуживание и ремонт;
- простой при ремонте;
- замена и ремонт трубопроводов из-за последствий гидроударов;
- обучение персонала.

Для повышения эффективности работы насосной станции необходимо решить следующие задачи:

- правильно выбрать насосы (их характеристики должны согласовываться с характеристиками сети);
- определить необходимое количество насосов, основываясь на режимах водопотребления, а также необходимости наличия резерва;
- определить структуру системы регулирования исходя из требований.

Решение для первых двух задач приведено в проектной и технической документации на объекты водопотребления и насосное оборудование. Не решив первые две задачи, приступать к решению третьей бессмысленно. Завышенная мощность насосов, несоответствие их характеристик характеристикам сети приводит к завышению стоимости насосов и систем управления.

На базе различных нормативных документов можно выделить пять основных схем построения систем управления:

1 Электродвигатели насосов в станции подключаются напрямую к сети через пускатели. При мощности двигателей более 4 кВт запуск осуществляется по схеме звезда/треугольник. Контур регулирования выполнен на внешнем контроллере. К нему же подключается датчик давления напорного и всасывающего коллектора, а также катушки пускателей.

2 Один из насосов в станции имеет встроенный децентрализованный преобразователь частоты. Контур регулирования выполнен на базе внешнего контроллера с ПИ-регулятором, который изменяет производительность главного насоса по шине связи. При увеличении требуемого расхода системы

регулятор с помощью встроенных реле контроллера коммутирует катушки пускателей дополнительных насосов. При мощности электродвигателей более 4 кВт запуск производится по схеме звезда/треугольник.

3 Все насосы станции имеют встроенные преобразователи частоты. Контур регулирования выполнен на базе ПИИ-регулятора одного из преобразователей частоты. Регулятор по единой шине осуществляет подключение и отключение подчинённых преобразователей частоты, а также формирует для них задание скорости вращения.

4 В системе управления присутствует внешний преобразователь частоты, который имеет дополнительную возможность переключения на любой из электродвигателей насосов станции с помощью коммутации пускателей силовых выходных цепей. Контур регулирования также выполнен на его программном ПИИ-регуляторе. Катушки пускателей дополнительных насосов коммутируются от нескольких реле преобразователя частоты. При мощности электродвигателей свыше 4 кВт подключение и отключение дополнительных двигателей осуществляется по схеме звезда/треугольник.

5 Все электродвигатели насосов управляются от внешних преобразователей частоты. Контур регулирования выполнен на базе ПИИ-регулятора одного из преобразователей частоты. Регулятор осуществляет подключение и отключение подчинённых преобразователей частоты, а также по единой шине формирует для них задание скорости вращения.

Выбор того или иного типа системы управления связан с множеством требований со стороны технологического процесса. С позиции производителя станций при перепадах давления во всасывающем трубопроводе не менее 100 кПа рекомендуется установка систем с насосами, управляемыми только от преобразователей частоты. Этому условию соответствуют конфигурации 3 и 5. Схемы 1 и 2, обеспечивающие прямые запуски насосов, создают значительные скачки давления, гидроудары в системе. Следовательно, их применение возможно только при наличии гидропневматических баков повышенного потребного объёма в напорной стороне станции. Это в свою очередь возможно в небольших системах, где объёмы баков не превышают 1 м³.

В системах с требуемым большим объёмом баков уровень затрат превышает первоначальные инвестиции от выбора более функциональных конфигураций станций 3 или 5.

Конфигурация 4 схемы системы управления рекомендуется при использовании пяти или шести насосов в станции. Такое количество увеличивает вероятность длительного простоя некоторых из них. Чаще всего это резервные насосы. В их проточной части при наличии растворённого воздуха в жидкости активно идут процессы коррозии. Они затрагивают контактные зоны рабочего колеса, уплотнений и улитки. Щелевая коррозия со временем приводит к тому, что при выходе из строя основных насосов происходит запуск резервных с заклиненным валом.

Система по аварии останавливается полностью. Похожий результат наблюдается при длительном простое электродвигателя. Так как в помещениях станций трубопроводы зачастую не изолированы, температура сезонно меняется, в электродвигателе скапливается влага. Со временем это ведёт к снижению прочности изоляции и коррозии подвижных частей машины. При запуске насоса в таком двигателе возможны заклинивание ротора либо выход из строя обмотки статора. Чтобы равномерно загрузить все насосы во времени, включая резервные, конфигурация схемы управления станции 4 позволяет переключать выходные цепи преобразователя частоты на разные электродвигатели. Проблемы длительного простоя наблюдаются в системах станций пожаротушения, где насосы длительное время находятся в режиме ожидания. При их запуске по указанным выше причинам происходит отключение автоматического выключателя. Во избежание этого, помимо коротких запусков по таймеру для данных систем существует специальная конфигурация. Она позволяет плавно запустить насос и снизить пусковые токи, уменьшая вероятность отключения автоматических выключателей.

Автоматизация процессов имеет особое значение в системе водоотведения и канализации, так как это связано не только с процессами эффективного управления, но и, что не менее важно, с экологическими вопросами. Несмотря на высокий уровень требований к водоканалам по непрерывности подачи воды в наши квартиры и отведения сточных вод, уровень автоматизации на этих предприятиях не всегда соответствует современным требованиям. Однако автоматизация на водоканалах необходима для более эффективного управления технологическим процессом добычи и транспортировки воды, так как это позволяет снизить затраты энергии и более эффективно распорядиться имеющимися ресурсами.

При выборе насосной станции важно учитывать объем и потребности системы водоснабжения, чтобы выбрать оптимальный вариант, который будет соответствовать требованиям потребителя.

Выводы. Автоматизация насосных станций – процесс модернизации насосного оборудования, направленный на повышение эффективности работы устройств, снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций, уменьшение трудоемкости и эксплуатационных затрат, а также на создание единого блока управления и контроля. Внедрение систем автоматического управления технологическим процессом водоснабжения и, в частности, управления насосными станциями является одним из важнейших направлений технического прогресса в области создания энергосберегающих и экологически безопасных технологий.

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 февраля 2020 г. – Минск : БГТУ, 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 [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 123 с.

3 СН 4.01.012-2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 78 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PUMPING STATIONS OF THE THIRD LIFT

N. P. SEREDA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 551.4

ОЧИСТКА 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. Таким образом в водоемы поступают поверхностные сточные воды, загрязненные взвешенными веществами, нефтепродуктами и другими примесями, что оказывает неблагоприятное воздействие на экосистему водоемов [1] и поэтому требует организации отведения и очистки поверхностных сточных вод.

Цель работы – обследование систем очистки поверхностных сточных вод предприятий машиностроения.

Основные результаты. Объектом исследования являются очистные сооружения поверхностных сточных вод предприятий машиностроения.

Поверхностные сточные воды с территории промышленных предприятий и большинстве случаев имеют более сложный состав и определяются характером основных технологических процессов, а концентрация примесей зависит 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 [1].

На крупных предприятиях, включающих в себя различные производства, поверхностный сток с отдельных территорий по составу примесей может заметно отличаться от стока с других участков и общего стока, что должно учитываться при разработке технологии очистки и схемы его отведения [2].

В зависимости от принципа регулирования сточных вод, подаваемых на очистку, очистные сооружения разделяются на два типа:

- накопительные, с регулированием стока по объёму и расходу;
- проточные, с регулированием стока по расходу.

При проектировании очистных сооружений накопительного типа регулирование расхода и усреднение состава подаваемых на очистку сточных вод необходимо производить в аккумулирующих резервуарах.

При отведении на очистку поверхностных сточных вод с территорий промышленных предприятий машиностроения требуется очистка всего среднегодового объёма сточных вод. В этом случае в очистных сооружениях накопительного типа предусматривается устройство аккумулирующих резервуаров, рассчитанных на приём 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].

При проектировании очистных сооружений проточного типа регулирование расхода сточных вод, подаваемых на очистку, производится с помощью установленной на подводящем коллекторе разделительной камеры (ливне-сброса). Применение очистных сооружений проточного типа для территории промышленных предприятий машиностроения не допускается.

Очистные сооружения для поверхностных сточных вод должны разрабатываться с учетом качественных и количественных характеристик поступающего стока, степени его загрязненности и наличия в нем примесей, а также требований к очистке, принятой схеме регулирования отведения и очистки.

Помимо сооружений, которые обеспечивают удаление приоритетных загрязняющих примесей, в схемах очистки поверхностных сточных вод с территорий предприятий машиностроения должны быть предусмотрены методы для удаления биогенных элементов, СПАВ и других органических и минеральных примесей. В случае необходимости доочистки от фенолов, формальдегида и других органических соединений могут быть использованы установки озонирования, биосорбции и биоочистки.

При необходимости глубокого удаления из поверхностных сточных вод ионов тяжелых металлов, аммонийного азота и других минеральных растворенных веществ используются ионообменные установки и установки обратного осмоса с применением синтетических ионообменных смол или природных ионообменных материалов.

В качестве сооружений и установок для механической очистки применяются решетки, сетки различных конструктивных решений, песколовки, безнапорные и напорные гидроциклоны, напорные и безнапорные фильтры. Решетки оснащаются узлами сбора и удаления мусора для их очистки после каждого дождя. Проектирование и расчет решеток выполняется согласно рекомендациям действующего СН [3]. Очистка поверхностных сточных вод от песка гидравлической крупностью более 15 мм/с, содержание которого в

дождевых сточных водах колеблется от 10 до 15 %, в талых – до 20 % массы взвешенных веществ, может осуществляться:

- в проточных песколовках на очистных сооружениях накопительного и проточного типа;
- в аккумулирующем резервуаре на очистных сооружениях накопительного типа.

В очистных сооружениях накопительного типа регулирование расхода и усреднение состава сточных вод, подаваемых на глубокую очистку, производится в аккумулирующих резервуарах. Для систем очистки поверхностных сточных вод небольшой производительности и/или с относительно малозагрязнённых территорий допускается совмещение стадий аккумулирования и предварительной очистки (осветления) сточных вод от механических примесей и нефтепродуктов методом статического отстаивания.

Для глубокой очистки сточных вод следует использовать реагентную обработку с применением коагулянтов и флокулянтов.

В качестве реагентов могут использоваться минеральные коагулянты на основе солей алюминия или железа, а также слабокатионные, слабоанионные или неионогенные высокомолекулярные флокулянты.

Отделение большинства органических и минеральных загрязнений из поверхностных сточных вод, обработанных реагентами, осуществляется в отстойниках. В зависимости от производительности очистных сооружений принимаются различные конструкции отстойников, в том числе горизонтальные, вертикальные, радиальные, объёмно-тонкослойные.

Наиболее эффективными конструкциями являются объёмно-тонкослойные отстойники комбинированного типа. Они обеспечивают наиболее подходящий гидродинамический режим течения очищаемых сточных вод, позволяя достичь максимальной эффективности очистки. Для поверхностных сточных вод с территории предприятий машиностроения эффективность реагентного отстаивания и параметры образующихся осадков необходимо определять на основании технологических экспериментов и испытаний.

Метод реагентной флотации может применяться для очистки поверхностных сточных вод с территорий промышленных предприятий и производств (преимущественно, предприятий машиностроения), характеризующихся повышенным содержанием нефтепродуктов (более 100 мг/дм³), ПАВ, жиров, масел и других эмульгированных жидкостей. Для очистки сточных вод могут применяться напорная (компрессионная) флотация, импеллерная и электрофлотация. Наиболее эффективными конструкциями являются напорные флотационные установки комбинированного типа, включающие в себя в едином корпусе камеры смешения и хлопьеобразования, секции объёмной и тонкослойной флотации, бункеры для накопления осадка. В таких аппаратах обеспечивается наиболее благоприятный гидродинамический режим течения

очищаемого стока, позволяющий достигнуть максимальной эффективности очистки.

Биологическую очистку (или доочистку) целесообразно применять для удаления из поверхностных сточных вод растворенных органических соединений, суммарно характеризующихся показателями ХПК и БПК₅, а также для снижения содержания СПАВ и других специфических загрязняющих компонентов техногенного происхождения (фенолов, формальдегида, этиленгликоля и т. д.), соединений азота (аммонийного, нитритного, нитратного) и фосфора.

В технологической схеме очистных сооружений дождевой канализации стадия биологической очистки применяется после механической очистки [3].

Содержание взвешенных веществ при этом не должно превышать 25–50 мг/дм³, нефтепродуктов – 5 мг/дм³, других специфических загрязнений – в концентрациях, не превышающих максимально допустимые для биологической очистки.

В зависимости от типа и концентрации загрязняющих веществ биологическая очистка (или доочистка) поверхностных сточных вод может осуществляться на специальных сооружениях с использованием микрофлоры, прикрепленной к различным подвижным или неподвижным носителям.

Для удаления из поверхностных сточных вод специфических примесей: фенолов, формальдегида, СПАВ и других органических веществ может применяться озонирование. Озонированию должны подвергаться сточные воды после предварительной механической и реагентной обработки.

Доочистка поверхностных сточных вод от соединений тяжёлых металлов и аммонийного азота может осуществляться ионным обменом с использованием природных минеральных или синтетических ионообменных материалов. На ионообменную установку должны подаваться сточные воды после глубокой доочистки от механических примесей и органических загрязнений с содержанием взвешенных веществ не более 5 мг/дм³, величиной ХПК не более 8–10 мг/дм³ и общей жёсткостью не более 4 мг-экв/дм³.

Выводы. Разработаны рекомендации по отведению и очистке поверхностных сточных вод с площадок предприятий машиностроения, согласно которым для очистки сточных вод рекомендуется строительство очистных сооружений накопительного типа с регулированием стока по объёму и расходу. Рекомендуется применение методов очистки сточных вод с помощью решеток и проточных песколовков, также возможно применение метода статического отстаивания. Рекомендуется применение напорных флотационных установок комбинированного типа, так как данный метод позволяет достигнуть максимальной эффективности очистки.

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 сельтебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М. : НИИ ВОДГЕО, 2014. – 88 с.
- 3 СН 4.01.02–2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

SURFACE WASTEWATER TREATMENT OF MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISES

K. A. SLEPTSOVA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 624.012.35

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

М. И. ТКАЧЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ritko4ka@gmail.com, alex.vas.62@mail.ru*

Актуальность. В настоящее время существует проблема частичного или полного износа структурных составляющих комплекса очистных сооружений [3]. Это связано с тем, что железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК), входящие в систему процесса очистки бытовых и промышленных стоков, подвержены быстрому разрушению. Окружающая среда вызывает интенсивное протекание коррозионных процессов, способствуя снижению несущей способности и возникновению аварий.

Согласно данным исследования [4], железобетонные резервуары очистных сооружений канализации являются одними из наиболее уязвимых, так как они подвержены ускоренному износу под действием агрессивности среды: климатическое воздействие снаружи и реагенты, ил, сточные воды – изнутри. Для предотвращения появления аварийных ситуаций, влекущих за собой повышение риска возникновения жертв, а также значительные траты на проведение ремонтных работ или замену сегментов, существует необходимость совершенствования методов прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций очистных сооружений, а также изучения процесса развития коррозионных повреждений в условиях открытой атмосферы.

Цель работы – получение математической зависимости развития коррозии стальной арматуры во времени в условиях открытой атмосферы.

Основные результаты. В условиях открытой атмосферы карбонизация является основным видом коррозии бетона ЖБЭ и ЖБК. При совместном воздействии изменчивой агрессивной среды (условия открытой атмосферы) и карбонизации бетона развивается коррозия стальной арматуры, которая является основной причиной снижения несущей способности ЖБЭ и ЖБК, уменьшения срока их эксплуатации.

В процессе проектирования величина защитного слоя устанавливается для обеспечения защиты стальной арматуры от воздействия окружающей среды [1]. Однако если защитный слой в процессе эксплуатации ЖБЭ (ЖБК) не подвергался мероприятиям по увеличению толщины, то происходит непрерывное изменение химических свойств цементного камня, влекущее за собой уменьшение щелочности поверхности вглубь бетона.

Первоначальные изменения происходят без видимых признаков, коррозионные повреждения на поверхности стальной арматуры начинаются внутри бетона. Коррозия стальной арматуры сопровождается образованием ее продуктов, объем которых в 2–2,5 раза превышает величину прокорродированного металла. Таким образом, объем продуктов коррозии и металла, еще не подвергшегося коррозионным процессам, значительно меньше того объема, который занимает стержень стальной арматуры сразу после изготовления ЖБЭ (ЖБК). Разница этих объемов и ее увеличение способствуют развитию растягивающих напряжений в бетоне, пока они не превысят его прочность, затем происходит образование трещин в защитном слое бетона, расположенных вдоль арматурных стержней, подвергшихся коррозии.

Основываясь на влиянии карбонизации бетона на развитие коррозии стальной арматуры появилась возможность получения зависимости глубины и скорости коррозионного повреждения.

Многолетние исследования карбонизации бетона позволили предложить регрессионную зависимость скорости повреждения стальной арматуры для фиксированных значений толщины защитного слоя бетона [2]:

$$h(t) = \alpha_0 (1 - \exp(-\alpha_1 t)), \quad (1)$$

где h – глубина коррозии стальной арматуры, мм; t – срок эксплуатации, лет; α_0 , α_1 – коэффициенты, определяющие максимальную скорость коррозии при $t = \infty$ и скорость развития процесса коррозии, соответственно.

Анализируя диаграммы рассеяния $\alpha_0(s)$ и $\alpha_1(s)$ методами регрессионного анализа, получены аппроксимирующие уравнения гипербол [2]:

$$\alpha_0(s) = b_0 + b_1 / s; \quad (2)$$

$$\alpha_1(s) = c_0 + c_1 / s, \quad (3)$$

где s – толщина защитного слоя бетона, мм; b_0, b_1, c_0, c_1 – коэффициенты.

Таким образом регрессионная зависимость (1) будет иметь вид:

$$h(t) = \left(b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left(1 - \exp \left(- \left(c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right) \right). \quad (4)$$

Используя зависимости (1)–(4), получены значения коэффициентов b_0, b_1, c_0, c_1 , основываясь на данных исследований [2] (таблица 1).

Коэффициенты (таблица 1), полученные на основе практических данных [2], дают возможность получить зависимость между ними для дальнейшего прогнозирования показателей b_0, b_1, c_0, c_1 для бетонов классов по прочности на сжатие выше $C^{12/15} - C^{40/50}$. Путем математической обработки полученных коэффициентов от гарантированной прочности на сжатие бетона $f_{c,cube}^G$.

Таким образом, коэффициент b_0 описывается полиномом второй степени:

$$b_0 = 0,0007283 \left(f_{c,cube}^G \right)^2 - 0,02366008 f_{c,cube}^G - 0,65573736, \quad (5)$$

где $f_{c,cube}^G$ – гарантированная прочность на сжатие бетона.

Коэффициент b_1 имеет вид экспоненциальной зависимости:

$$b_1 = 53,7008579784 \cdot \exp(-0,0354776425 f_{c,cube}^G). \quad (6)$$

Коэффициент c_0 описывается полиномом второй степени, зависящий от прочности бетона:

$$c_0 = 0,00000208163 \left(f_{c,cube}^G \right)^2 - 0,0004942373 f_{c,cube}^G + 0,010872. \quad (7)$$

Коэффициент c_1 имеет вид логарифмической зависимости:

$$c_1 = -0,098656692 \cdot \ln(f_{c,cube}^G) + 0,5768134416. \quad (8)$$

Таблица 1 – Коэффициенты b_0, b_1, c_0, c_1

Класс бетона по прочности на сжатие	Коэффициент			
	b_0	b_1	c_0	c_1
$C^{12/15}$	-0,8467711	31,5402447	0,0039268	0,3096462
$C^{16/20}$	-0,8376190	26,4135234	0,0018199	0,2812644
$C^{18/22,5}$	-0,8193873	24,1716878	0,0008055	0,2696443
$C^{20/25}$	-0,7920519	22,1201270	-0,0001829	0,2592498
$C^{22/27,5}$	-0,7556127	20,2426914	-0,0011453	0,2498468
$C^{25/30}$	-0,7100698	18,5246023	-0,0020817	0,2412626
$C^{28/35}$	-0,5916727	15,5135136	-0,0038763	0,2260546

Окончание таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Коэффициент			
	b_0	b_1	c_0	c_1
C ³⁰ / ₃₇	-0,5341176	14,4508929	-0,0045650	0,2205722
C ³² / ₄₀	-0,4368606	12,9918635	-0,0055669	0,2128808
C ³⁵ / ₄₅	-0,2456335	10,8800960	-0,0071534	0,2012607
C ⁴⁰ / ₅₀	-0,0179914	9,1115866	-0,0086358	0,1908662

Зависимости (5)–(8) дают возможность получить коэффициенты b_0 , b_1 , c_0 , c_1 для бетонов классов по прочности на сжатие C¹²/₁₅ – C⁴⁰/₅₀, затем, используя формулу (4), вычислить глубину коррозионного повреждения стальной арматуры и заданной толщины защитного слоя.

В качестве примера на рисунке 1 приведены регрессионные зависимости глубины коррозии стальной арматуры с течением времени для толщины защитного слоя $s = 10$ мм для бетонов классов по прочности на сжатие C¹²/₁₅ – C⁴⁰/₅₀.

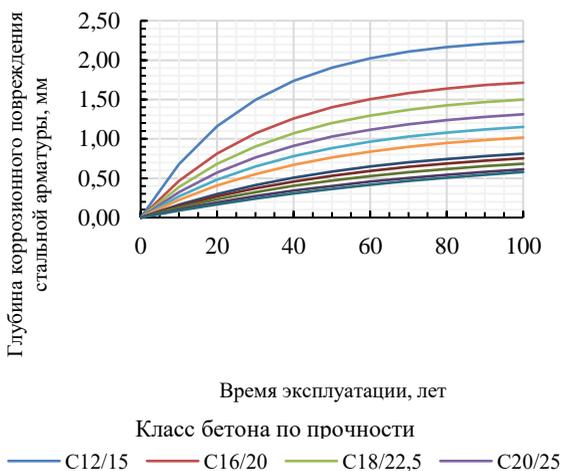


Рисунок 1 – Регрессионные зависимости глубины коррозии стальной арматуры с течением времени для толщины защитного слоя $s = 10$ мм для бетонов классов по прочности на сжатие C¹²/₁₅ – C³⁰/₃₇

Выводы. Использование полученных зависимостей (4)–(8) дает возможность повысить объективность оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК) очистных сооружений, в которых с учетом агрессивности эксплуатационных условий именно коррозия стальной арматуры определяет их долговечность.

Список литературы

1 СП 5.03.01–2020. Бетонные и железобетонные конструкции. – Введ. 16.09.2020 (с отменой СНиП 2.03.01–84 и СНБ 5.03.01–02). – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 245 с.

2 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

3 Ремонтно-защитные покрытия для бетонных и железобетонных элементов очистных сооружений / М. М. Косухин [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9-9. – С. 1942–1945.

4 Об эксплуатационной надежности железобетона в системах водоснабжения и водоотведения селитебных территорий / Т. В. Латыпова [и др.] // *Строительные материалы*. – 2016. – № 10. – С. 50–54.

FORECASTING OF CORROSION DAMAGE TO STEEL REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF SEWAGE TREATMENT PLANTS

M. I. TKACHEVA, A. A. VASILIEV

Belarusian State University of Transport, Gomel

ХИМИЯ ВОДЫ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 658.567.1

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

И. И. ВЕРЕМЕЙЧУК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ilyaveremychuk2003@bk.ru*

Актуальность. Промышленное воспроизводство сырья с помощью эволюции процесса ресурсосбережения выступает как историческое явление, как оригинальное положение среди остальных природных процессов. Переход от естественного, природного к промышленно воспроизводимому сырью – исторически неизбежная стадия развития человечества. Она необходима, чтобы не довести человечество до самоистребления из-за нехватки сырьевых ресурсов. Будущее промышленно развитых стран, в том числе и Республики Беларусь, будет зависеть от того, насколько быстро, дешево и экологически чисто они смогут возвращать отходы производства и потребления в промышленный оборот. Выиграет та страна, которая раньше других пройдет этот путь.

Цель. Главной целью полной утилизации мусора является быстрое, своевременное и максимально безопасное уничтожение отходов. Переработка в свою очередь ставит несколько основных задач:

1 Создание новой продукции из вторичного сырья. К примеру, непригодные для использования пластмассовые или резиновые изделия применяются при изготовлении новых пластиковых деталей, обувной подошвы, различных покрытий и даже брусчатки.

2 Регенерация. Это процесс, который позволяет восстановить отходы до уровня вторичного сырья или материала для повторного использования по прямому или иному назначению.

3 Рекуперация. Это процесс, при котором из отходов извлекают ценные вещества для дальнейшего использования. К примеру, при рекуперации пластика получают исходные низкомолекулярные продукты, чтобы изготовить его заново.

4 Рециклинг. Это повторное использование отходов по их прямому назначению – из макулатуры делают бумагу, металлолом переплавляют и делают новые металлические изделия. К другим материалам, подлежащим рециклингу, относятся стекло, полимеры, текстиль, бетон и др.

В данной статье рассмотрен процесс рециклинга отходов в Республике Беларусь.

Специфика эволюционного преобразования природного, естественного источника сырья в новую сырьевую базу заключается в том, что в кругооборот вступают вторичные ресурсы. А вторичные ресурсы чаще всего в чистом виде в природе не встречаются. Известны обороты воды, энергии, элементов природы через их распад и синтез (растительный мир), но вторичное сырье и его оборот потенциально отличны от первичного сырья. Это уже новый искусственный оборот, новый вид сырья, качественно измененный человеческой деятельностью, имеющий другие характеристики, постоянно меняющиеся их при каждом последующем кругообороте.

В условиях дефицита сырья проявляется закон опережающих темпов роста использования вторичных ресурсов по сравнению с первичными. Неиспользуемые образующиеся отходы промышленного производства огромны по масштабам. Кроме этих отходов повторной переработке подлежат морально и физически устаревшие орудия труда и предметы потребления. Уже в настоящее время в экономическом развитии нашей страны, так же, как и всех промышленно развитых стран мира, проявляется тенденция к усилению использования всей совокупности вторичных ресурсов. Это заметно скажется на формировании сырьевого баланса страны и выразится в более быстрых темпах получения сырья из вторичных ресурсов по сравнению с первичными. Возникает принципиально новое соотношение элементов сырьевого баланса, что, в свою очередь, будет связано с другими качественными и количественными последствиями в хозяйственной деятельности.

Дефицит сырья усиливает зависимость между ростом производства, выпуском продукции и вторичным использованием ресурсов. Вовлечение вторичных ресурсов в процесс производства приобретает все более важное значение из-за ограниченных запасов природного сырья, трудностей его добычи, невозпроизводимого характера многих видов ресурсов, высокой эффективности их применения из-за возрастания воздействия их использования на ход воспроизводственного процесса в целом.

Для нормального функционирования экономики Беларусь вынуждена импортировать около 80 % всех потребляемых топливно-энергетических и материально-сырьевых ресурсов. Поэтому проблема рационального использования как импортируемых, так и накопленных материальных ресурсов весьма актуальна и для нашей страны.

В Республике Беларусь ежегодно образуется значительное количество (порядка 4 млн т) ТКО (твердые коммунальные отходы). Часть из них после переработки на мусороперерабатывающих заводах используется в качестве ВМР (отходы, возникающие в результате деятельности предприятий, которая связана с воздействием на окружающую среду. ВМР относятся к классу опасных отходов и требуют особого внимания и контроля), а оставшаяся часть

вывозится на захоронение (в лучшем случае на полигоны, а в худшем – на несанкционированные свалки). Складирование ТКО наносит ущерб окружающей среде и приводит к безвозвратным потерям вторичных материальных ресурсов: исходя из состава коммунальных отходов и процентного содержания в них ВМР потребность нашей страны в отдельных видах сырья может быть полностью удовлетворена. По данным морфологических исследований в составе ТКО содержится:

- 1) до 25 % ВМР, включая отходы бумаги и картона, отходы стекла, отходы полимерных материалов, отходы шин и резинотехнических изделий;
- 2) около 35 % – смешанные и трудно классифицируемые отходы, обладающие средней теплотворной способностью;
- 3) около 40 % – отходы органического происхождения (пищевые отходы, зеленая биомасса).

Как отходы производства, так и ТКО во многих развитых странах вовлекаются в повторное использование, т. е. становятся ВМР. В условиях перехода экономики на интенсивный путь развития экономия материальных ресурсов превращается в важнейший источник обеспечения роста производства. Сбор и рациональное использование вторичных сырьевых ресурсов на современном этапе необходимо рассматривать как добывающую отрасль особого рода. Специалистами установлено, что затраты на организацию производства по переработке вторичного сырья в 2–3 раза ниже, чем на строительство предприятий по добыче первичного сырья. По своей экономической и технологической сущности утилизация отходов тесно связана с мероприятиями по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, что предполагает значительную экономию капитальных, материальных и трудовых затрат и снижает загрязнение атмосферы.

Положительное влияние на повышение эффективности извлечения ВМР из ТКО оказало внедрение в нашей стране раздельного сбора мусора.

В настоящее время раздельным сбором мусора обеспечено порядка 94 % населения [1]. Также предполагалось внедрение депозитно-залоговой системы (ДЗС). Осуществление этого проекта позволило бы снизить отрицательные внешние эффекты. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» провело большую подготовительную работу, которая, к сожалению, не увенчалась успехом в связи с ухудшением международной обстановки в последние годы.

Методы использования коммунальных отходов можно условно разделить на три группы:

- 1) переработка (рециклинг) – возврат отдельных компонентов ТКО в хозяйственный оборот путем их выделения из общей массы и передачи на использование в качестве сырья и материалов для производства продукции;
- 2) компостирование – использование органической части ТКО после ее биологической обработки (разложение органических субстанций) при помощи различных микроорганизмов;

3) сжигание – использование смешанных ТКО или выделенных из них теплотворных фракций для получения тепловой и/или электрической энергии.

Из трех способов использования ТКО наиболее приемлемым является рециклинг. Компостирование негативно влияет на окружающую среду. Сжигание не оказывает негативного влияния лишь в том случае, если используются передовые технологии, как, например, в Германии или Швейцарии. Кроме того, сжигание ТКО приводит к тому, что потенциальные ВМР «уходят в дым» и не могут быть использованы в процессе дальнейшего производства.

Первоначально в Национальную стратегию по обращению с ТКО и ВМР был включен модуль по строительству в Минске мусоросжигательного завода. Однако по результатам проработки возможности реализации этого проекта принято решение от него отказаться. Вместо него идет проектирование объекта по сортировке и использованию отходов вблизи полигона Тростенецкий. Предприятие с проектируемой мощностью в 600 тыс. т отходов в год должно быть введено в действие к 2025 г. Планируется, что здесь будет осуществляться сортировка всех коммунальных отходов, образующихся в городе, отбор ВМР, компостирование органической части и производство РДФ-топлива, которое впоследствии будет направляться на цементные заводы [2]. Таким образом, в нашей стране делается выбор в пользу рециклинга.

В настоящее время отрасль рециклинга отходов в промышленно развитых странах развивается высокими темпами и является высокоприбыльной в тех государствах, где правительство и транснациональные корпорации осуществляют бюджетные и корпоративные инвестиции в НИОКР и во внедрение новых технологий, автоматизацию и оцифровку технологических, технических, производственных, логистических и управленческих процессов. Проблема в том, что на мусороперерабатывающих заводах Беларуси объем извлечения ВМР, пригодных к повторному использованию, из смешанных ТКО, в зависимости от сезона, составляет не более 20–25 % от общего объема поступающих отходов. Это свидетельствует о низком уровне применяемых в нашей стране технологий. Анализ показывает, что при имеющихся технологиях невозможно существенным образом увеличить уровень извлечения ВМР из ТКО и направить их в дальнейший производственный процесс. Требуется создание нетрадиционных сверхновых инновационных технологий по широкому спектру направлений, нацеленных на промышленное воспроизводство сырья. Учитывая крупномасштабность предстоящих мероприятий, можно сказать, что потребуются проведение высокотехнологичной «второй индустриализации» страны.

Инновации должны иметь реальные задачи. Разработка инновационных технологий имеет большую востребованность и большую отдачу, если они целенаправленно ориентированы, т. е. «приложены» к решению конкретных задач. Однако инновации невозможны без проведения фундаментальных и прикладных научных исследований. В развитых странах с рыночной

экономикой сложилось своеобразное разделение труда. Фундаментальные исследования, как правило, финансируются за счет бюджета. Прикладные исследования обычно проводят корпорации, заинтересованные в повышении конкурентоспособности своей продукции и получении монопольной прибыли. В Республике Беларусь основная роль в финансировании НИОКР принадлежит государству. С одной стороны, это объясняется важной ролью технологического прогресса в обеспечении экономического роста, традициями, сохранившимися со времен СССР, а с другой стороны, тем, что частный бизнес не только не готов, но и не может финансировать для поддержания конкурентоспособности НИОКР в полном объеме. Низкий уровень рентабельности, а иногда и убыточность многих флагманов нашей промышленности делают такую постановку вопроса неадекватной. К тому же существует большая неопределенность и риск при проведении исследований и разработок, особенно поискового характера. Выгода общества от проведения таких НИОКР часто оказывается более очевидной, чем потенциальная прибыль частной компании, вкладывающей средства в инновации.

Вместе с тем в Беларуси наукоемкость ВВП в последние годы колеблется от 0,5 до 0,6 % [3]. Для сравнения: в Южной Корее данный показатель составляет 4,2 %, в Израиле – 5,4, в Швеции, США – 3,5, в Германии – 3,1, во Франции – 2,4, в Эстонии – 1,8, в России – 1,1 % [4].

В Беларуси проводится определенная работа по повышению уровня извлечения ВМР из ТКО. С 2012 по 2022 г. уровень использования ТКО увеличился с 10 до 32 %, т. е. более чем в 3 раза.

По информации ГО «Белресурсы», в республике функционирует 1033 приемно-заготовительных пункта (738 стационарных и 295 передвижных), 13 сортировочно-перегрузочных станций и 86 пунктов (линий) сортировки раздельно собранных коммунальных отходов. И если в начале года насчитывалось около 30 тысяч контейнеров для раздельного сбора, то в течение 2010 г. организациями жилищно-коммунального хозяйства было установлено дополнительно еще почти 6 тысяч. Безусловно, во многом эффективность развития этой сферы зависит от финансирования.

Так, например, в 2006–2009 гг. заготовительные организации получили на укрепление материально-технической базы 67,3 млрд рублей из государственного целевого бюджетного фонда. Как результат – объемы заготовки выросли почти в 2,5 раза, со 115,3 тыс. тонн вторичных материальных ресурсов в 2006 году до 288,2 тыс. тонн в 2009. Ориентир на достижения развитых стран обозначен в Государственной программе сбора (заготовки) и переработки вторичного сырья в Республике Беларусь на 2009–2020 годы. Согласно документу за этот период планируется приобрести 182 приемных пункта [5].

В Беларуси проводится определенная работа по повышению уровня извлечения ВМР из ТКО. С 2012 по 2022 г. уровень использования ТКО увеличился с 10 до 32 %, т. е. более чем в 3 раза [6]. Внедрена система раздельного сбора ТКО, которой к настоящему времени охвачено 94 % населения. Планировалось внедрение депозитно-залоговой системы, которая позволила бы

сократить объемы захоронения ТКО на 10 % и дополнительно собрать и переработать не менее 85 тыс. т отходов стекла, 23 тыс. т отходов ПЭТ и 360 т отходов алюминия на сумму 11,2 млн рублей. Однако по ряду объективных и субъективных причин снизилась инвестиционная привлекательность проекта.

Вывод. Дальнейшее повышение уровня извлечения ВМР из ТКО и в целом повышение уровня рециклинга невозможно без новых инновационных технологий. Новые технологии являются результатом длительных и дорогостоящих НИОКР. Низкий уровень расходов на науку в Беларуси не позволяет решить эту проблему. Решение проблемы видится не только в росте расходов на науку, но и в расширении международного сотрудничества, особенно с такими странами, как РФ и КНР.

Список литературы

1 По данным ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vtoroperator.by>. – Дата доступа : 12.03.2024.

2 Минск-Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://minsknews.by/musoroszhigayushhij-zavod-v-minske-resheno-ne-stroit-proektiruyut-drugoj-obekt-po-ispolzovaniyu-othodov/>. – Дата доступа : 30.03.2023.

3 Сайт Национального статистического комитета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/graficheskiy-materialgrafiki-diagrammy/vnutrennie-zatraty-na-nauchnye-issledovaniya-i-razrabotki>. – Дата доступа : 12.03.2024.

4 Сайт Европейской экономической комиссии ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://w3.unecsc.org/SDG/ru/Indicatorid=123>. – Дата доступа : 12.03.2024

5 Cleandex [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.cleandex.ru/articles/2011/01/19/recycling_in_belarus_the_need_to_create_economic_incentives_promoting. – Дата доступа : 12.03.2024.

6 Отчет ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» Об объемах сбора вторичных материальных ресурсов и отходов товаров и упаковки, размерах расходования денежных средств, полученных от производителей и поставщиков за 2022 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://vtoroperator.by/sites/default/files/otchet_2022.pdf. – Дата доступа : 12.03.2024.

WASTE RECYCLING IN THE REPUBLIC OF BELARUS

I. I. VEREMEYCHUK

Belarusian State University of Transport, Gomel

ВЛИЯНИЕ ГОРОДА ВИТЕБСКА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

П. А. ГАЛКИН

*Витебский государственный медицинский университет,
Республика Беларусь
galkin-pasha@ya.ru*

Актуальность. Городские поселения издавна возникали по берегам рек и озер, служивших источником водоснабжения, а зачастую и удобным транспортным путем. Одновременно реки использовались для удаления жидких и твердых отходов жизнедеятельности людей и домашнего скота, что приводило к их загрязнению. Реки становились разносчиками возбудителей инфекционных заболеваний. Понадобилось не одно тысячелетие, пока люди научились предотвращать загрязнение водных объектов, очищать и обеззараживать сточные воды.

Более 1000 лет назад г. Витебск занимал мыс на месте слияния рек Западная Двина и Витьба и от остальной территории был отрезан руслом глубокого ручья и буерака, образуя площадку округлой формы. Внутри города существовало, по меньшей мере, две возвышенности, доминирующие над окружающей местностью: Замковая гора и отделенная от нее одним из рукавов Витьбы – Двинская возвышенность. Удачное топографическое положение Замковой горы превратило ее в градообразующий центр Витебска, на низменных участках вокруг которого и на Двинской возвышенности происходил процесс развития окольного города. С ростом благоустройства города расположенные в городской черте водоемы и водотоки стали приобретать все более важное архитектурно-планировочное, рекреационное и эстетическое значение. Основной частью пространственной организации современного Витебска являются промышленная и селитебная зоны. В них прослеживаются наиболее тесные взаимодействия между хозяйством, населением и природной средой. Промышленные и гражданские объекты, сконцентрированные в этих зонах, обуславливают разнообразные изменения компонентов природной среды, которые часто оказываются неблагоприятными не только для функционирования самих объектов инфраструктуры, но и для здоровья человека и его жизнедеятельности в целом. Воздействие этих объектов на природную составляющую городской среды стало причиной возникновения физического, химического и биологического загрязнений ее компонентов. Однако следует заметить, что вносимый ими вклад в геоэкологическое состояние исследуемой территории имеет различный характер. При этом химическое загрязнение является одним из основных факторов, определяющих геоэкологические условия на территории города в целом.

Цель работы – рассмотреть влияние города Витебска на изменения химического состава поверхностных и подземных вод.

Основные результаты. Как было отмечено выше, основная река в Витебске – Западная Двина. На всем своем протяжении в городе она потенциально подвержена техногенной химической нагрузке. Именно в Двину отводятся воды с очистных сооружений города и предприятий. Все ливневые стоки тоже, в конечном счете, принимает Западная Двина.

Контроль за состоянием водных объектов города осуществляется лабораторией Витебского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Витебскоблгидромет) по 27 гидрохимическим показателям [1, 2]. Вода в водотоках и водоемах города и его окрестностей по химическому составу относится к классу гидрокарбонатных кальциевых вод с минерализацией от 144,5 до 501,9 мг/дм³. В анионном составе поверхностных вод преобладает гидрокарбонат-ион, по нашим данным и данным Витебскоблгидромета его содержание в разные годы (с 2006 по 2018 г.) изменялось от 79 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина, 2015 г.) до 336 мг/дм³ (р. Витьба, 2009 г.). Количество хлорид-иона колебалось в диапазоне от 4,0 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина, 2006 г.) до 58,5 мг/дм³ (р. Витьба, 2009 г.), концентрация сульфат-иона не превышала 23 мг/дм³. В составе катионов доминировал кальций-ион: от 27,7 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина, 2006 г.) до 87,8 мг/дм³ (р. Витьба, 2008 г.); содержание магний-иона варьировало в диапазоне от 9,1 мг/дм³ (верхний створ р. Западная Двина, 2006 г.) до 25,8 мг/дм³ (нижний створ р. Западная Двина, 2009 г.). Низкое содержание Са²⁺ и Mg²⁺ определяет мягкий и умеренно жесткий характер воды (по классификации О. А. Алекина) в реке – среднегодовые значения общей жесткости изменялись от 1,5 до 5,1 мг-экв/дм³. Согласно проводимой лабораторией Витебскоблгидромета оценке качества воды с использованием индекса ее загрязненности (ИЗВ) состояние водных объектов в Витебске за период с 2006 по 2018 г. оценивалось как относительно благополучное – ИЗВ не превышал 1 [1, 2]. Сравнительный анализ среднегодовых концентраций компонентов химического состава воды р. Западная Двина за указанный период свидетельствует об отсутствии существенных изменений гидрохимической ситуации в отношении содержания основных загрязняющих веществ. При этом наиболее характерными веществами-загрязнителями поверхностных вод являются железо общее, соединения марганца, меди и цинка, содержание которых в речной воде часто превышает установленные нормативы качества.

Основной поставщик данных загрязняющих веществ в водотоки Витебска – сточные воды предприятий и жилищно-коммунального хозяйства города. Так, например, в 2004–2005 гг. в Западную Двину КУП «Витебскоблводоканал» было сброшено 36–37 млн м³ сточных вод, которые содержали около 1 т нефтепродуктов, 102 т азота аммонийного и 7,3 т железа, цинка, меди и других металлов [3].

В общем, для Западной Двины загрязнение соединениями металлов имеет устойчивый характер (повторяемость превышений ПДК более 50 %), повышенное содержание в воде азота аммонийного выглядит как неслучайное (повторяемость более 30 %), в отношении же других веществ загрязнение может квалифицироваться как случайное [4].

Особого внимания заслуживает качество подземных вод, являющихся основным источником централизованного водоснабжения населения города, которым пользуются 99,2 % жителей, и лишь 0,8 % населения Витебска (или около 3 тыс. человек) используют воду из шахтных колодцев [5]. Водоснабжение города и его окрестностей осуществляется четырьмя основными групповыми водозаборами: Песковатик, Марковщина, Витьба и Лучоса, а также семнадцатью миниводозаборами, имеющими 1–5 артезианских скважин.

По данным мониторинговых наблюдений, осуществляемых Витебским зональным центром гигиены и эпидемиологии и лабораторией КУП «Витебскоблводоканал», качество отбираемых подземных вод, в основном, удовлетворяет требованиям СанПиН 10-124 РБ 99, за исключением повышенных концентраций железа и марганца, низкого содержания фтора, иногда повышенной жесткости. Вместе с тем, по ряду скважин отмечаются признаки загрязнения подземных вод [4]. Так, например, на водозаборе Марковщина минерализация воды в некоторых скважинах достигает 652 мг/дм^3 , общая жесткость $10,5 \text{ ммоль/дм}^3$. Содержание азота аммонийного на водозаборе Витьба превышает $2,0 \text{ мг/дм}^3$. По отдельным скважинам на водозаборах Марковщина, Витьба и Лучоса отмечается повышенное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и азота аммонийного относительно фоновых значений. Ухудшение качества подземных вод на этих водозаборах связано преимущественно с поверхностным загрязнением по причине расположения эксплуатируемых скважин в черте города. Помимо этого, потенциальную опасность для качества подземных вод на водозаборах Витебска представляет полигон твердых коммунальных отходов, расположенный в 1,5 км от городской черты. Наибольшую опасность представляет образующийся в основании свалки фильтрат с высоким содержанием хлоридов, аммонийного азота, натрия, калия, кадмия, никеля, хрома и свинца.

Выводы. Анализ сформировавшихся на территории г. Витебска условий современного эколого-геохимического состояния поверхности и подземных вод позволил предложить комплекс рекомендаций, направленных на его улучшение. Он предполагает реализацию ряда природоохранных, планировочных и инженерных мероприятий, включая: а) соблюдение природоохранных режимов водоохраных зон и прибрежных полос рек Западная Двина, Витьба и Лучоса, сохранение части природных экосистем водных объектов в естественном состоянии, организацию и проведение благоустройства прибрежных территорий и долин рек с целью обеспечения природоохранной и защитной функции; б) соблюдение оптимального соотношения площадей различных угодий на водосборных территориях речных бассейнов с целью нормального функционирования экосистем водных объектов и улучшения их самоочищающей

способности; в) организацию на прилегающих к городу территориях системы локализации поверхностных стоков с сельскохозяйственных угодий в долинах рек, устройство стоконеперехватывающих лесных полос вдоль речных водотоков по склонам коренных берегов и у границы пойм; г) обеспечение очистки поверхностного стока с городских территорий перед сбросом его в реки на очистных сооружениях путем реконструкции сети закрытой дождевой канализации с очистными сооружениями на выпусках (на левобережье Западной Двины и Витьбы) и централизации существующих ливневыпусков с организацией последующей очистки (на правобережье Западной Двины); д) модернизацию и развитие систем отведения и очистки стоков с целью обеспечения санитарно-эпидемиологической защиты населения и водных экосистем от загрязнения; е) улучшение качества питьевой воды в результате проведения инженерно-технических мероприятий, направленных на совершенствование системы хозяйственно-питьевого водоснабжения; ж) охрану от загрязнения подземных источников централизованного питьевого водоснабжения города посредством обеспечения режима хозяйственного использования территории и размещения конкретных объектов в границах 2 и 3-го пояса зон санитарной охраны основных водозаборов города в соответствии с разработанными проектами; з) обеспечение качества питьевой воды на прилегающих к городу территориях путем подключения населенных пунктов, в перспективе входящих в городскую черту, к централизованной системе хозяйственно-питьевого водоснабжения Витебска.

Их реализация позволит не только сократить уровни негативного техногенного воздействия на водные объекты городской среды, но и повысить качество условий проживания населения.

Список литературы

- 1 Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результ. наблюд., 2012 год [Электронный ресурс] / ГИАЦ НСМОС, БелНИЦ «Экология»; под общ. ред. С. И. Кузьмина. – Минск, 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
- 2 Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результ. наблюд., 2018 год / под общ. ред. Е. П. Богодяж. – Минск : Респ. центр по гидромет., контр. радиоакт. загряз. и мониторин. окруж. среды, 2019. – 476 с.
- 3 Состояние природной среды Беларуси : эколог. бюл. 2005 г. / М-во природ. ресур. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь ; Ин-т природопольз. НАН Беларуси ; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2006. – 322 с.
- 4 Особенности техногенных воздействий на геоэкологическую обстановку Витебска (Ч. 2. Химическое воздействие) / П. А. Галкин [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2021. – № 2. – С. 60–69.
- 5 Техногенные факторы экологических изменений на территории г. Витебска / А. Б. Торбенко [и др.] // Природные ресурсы. – 2007. – № 2. – С. 53–60.

INFLUENCE OF VITEBSK CITY ON QUALITY SURFACE AND GROUNDWATER

P. A. GALKIN

Vitebsk State Medical University, Republic of Belarus

НАНОСОРБЕНТЫ ИЗ ОТХОДОВ СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

О. Н. ГОРЕЛАЯ

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

Актуальность. В течение последних десятилетий мероприятия по оценке и снижению нагрузки на водные ресурсы нашей планеты вышли практически на первый план. В Докладе о состоянии водных ресурсах мира неоднократно подчеркивается, что проблема стоит остро и на сегодняшний день отмечается только усугубление ситуации в мире. Выходом из такого положения может быть только эффективное и разумное управление водными ресурсами. Одним из направлений управления водными ресурсами является поиск эффективных и внедрение доступных технологий по вовлечению в хозяйственный оборот однажды использованных ресурсов [1].

Цель. Как известно, подземные источники, используемые в Республике Беларусь для питьевого водоснабжения, имеют значительные показатели по железу общему. В процессе очистки на местах образования накапливается большое количество практически неиспользуемых в дальнейшем железосодержащих отходов. Основные направления использования, кроме повсеместного складирования на территориях организаций, эксплуатирующих станции обезжелезивания, – перенаправление на производство строительных материалов, а также производство минеральных удобрений, получение вяжущего и др. Авторами предложено использовать отходы станций обезжелезивания для получения сорбционных магнитных материалов [2–4]. Как правило, образовавшиеся шламы водоподготовки используются либо без обработки, либо с обработкой в различных вариациях: методом экструзии, гранулированием в жидкой среде и методом окатывания на тарельчатом грануляторе, таблетированием с добавлением различных связующих жидкостей и т. д.

Основные результаты. Актуальность вовлечение в хозяйственный оборот отработанного сырья либо отходов натолкнуло на идею использования железосодержащих отходов для извлечения из водных сред нефтепродуктов. Причем наиболее перспективным решением было использовать сорбционные способности данных отходов после соответствующей обработки [1].

Динамично развивающиеся направления исследований – усовершенствованные процессы окисления (*advanced oxidation processes* – AOPs). Данные процессы перспективны для деструкции загрязняющих веществ в составе сточных вод. В качестве каталитических материалов в них в последнее время широкое распространение находят наноразмерные оксиды некоторых

металлов. В результате проведенных исследований и опытов получены наноразмерные оксиды железа – наносорбционные материалы.

Для получения наноразмерных материалов различного назначения перспективным в последние годы считается метод экзотермического горения в растворах согласно реакциям и методике, представленным в литературе [8–12]. Преимуществами данного метода являются малое время подготовительных процедур и синтеза, низкие энергозатраты, легкая масштабируемость.

Для синтеза использовались четыре различных восстановителя (глицин, мочевины, лимонная кислота и гексаметиленetetрамин) при различных температурах синтеза (от 300 до 700 °С с шагом 100 °С). Такой температурный диапазон был выбран для более глубокого исследования влияния температуры на состав получаемых продуктов [2–5]. Полученные данные свидетельствуют о том, что наилучшие значения получены для образцов, где для синтеза использовалось стехиометрическое количество восстановителя ($f = 1$) в сравнении с результатами для образцов, где количество восстановителя было в 3 раза больше стехиометрического ($f = 3$). При этом температурный оптимум колеблется в зависимости от исследуемого параметра.

Выводы. Исследования полученных образцов по различным характеристикам (фазовый состав синтезированных образцов, площадь удельной поверхности, полная статическая обменная емкость, нефтеемкость) позволяют сделать выводы о перспективности данного вида сорбентов, так как отмечены следующие показатели [2–5]:

- развитая удельная поверхность сорбента – до 180 м²/г;
- высокая нефтеемкость сорбента – до 8 г/г;
- простота подготовительных процедур и синтеза наноматериалов;
- наличие магнитных свойств по сравнению с обыкновенными сорбентами позволит извлекать сорбент из водных сред посредством наведенного магнитного поля;
- сокращение негативного антропогенного влияния на окружающую среду за счет использования отходов для получения сорбентов и очистки водных сред, загрязненных нефтепродуктами;
- низкие энергозатраты – реакция синтеза экзотермическая, самоподдерживающаяся;
- легкая масштабируемость процесса.

Список литературы

1 Горелая, О. Н. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, В. И. Романовский, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 215–216.

2 Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский //

Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 52–57.

3 **Горелая, О. Н.** Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

4 **Горелая, О. Н.** Влияние дозы гексаметилентетрамина на свойства сорбента для очистки водных сред от нефтепродуктов / О. Н. Горелая // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 22 марта 2021 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 24–26.

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

NANOSORBENTS FROM WASTE FROM AN IRON REVIEW STATION

O. N. GORELAYA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 504.5:502.3:616-00

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

А. Н. ЕРМАК, Г. Л. ОСИПЕНКО

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

osipenko.galina@mail.ru

Актуальность. Автотранспорт – один из главных источников загрязнения атмосферного воздуха. Большую опасность представляет собой продукт выхлопа двигателей – угарный газ. Соединяясь в крови с гемоглобином, окись углерода препятствует усвоению кислорода, ослабляя организм и его сопротивление различным заболеваниям. Опасны также неорганические соединения свинца, которые образуются при сгорании бензина. При расходе топлива 10 л на 100 км, при интенсивности движения до 25 тыс. автомобилей в сутки, выделяется более 500 кг соединений свинца на каждый километр пути. Такое синергическое воздействие неблагоприятных факторов представляет собой серьезную экологическую опасность для здоровья людей и других живых организмов [1, 2].

Цель работы – анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и оценка количества случаев заболеваний населения в период 2005–2019 гг. в Гомельской области.

При анализе нами установлено, что в 2019 г. уровень первичной заболеваемости населения Гомельской области составил 78251 случай на 100000 населения и снизился в сравнении с 2015 г. на 1,8 %. По отношению к 2010 г. наблюдается значительное уменьшение на 10 %, т. е. 8606 случаев. В свою очередь заболеваемость за весь анализируемый период (2005–2019 гг.) снизилась на 2,6 %. В центре внимания пик заболеваемости в 2010 г., когда в сравнении с 2005 г. произошло увеличение заболеваний: органов дыхания на 9,5 %, травм, отравлений и других воздействий внешних причин на 11,4 %, болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани на 3,8 %, новообразований на 8,7 %. Следует отметить тот факт, что в регионе с 2005 по 2019 г. отмечается устойчивый рост новообразований и болезней с деформациями и хромосомными нарушениями. Общий рост – 454 случая и 38 % соответственно. В 2015 г. на болезни органов дыхания приходится 40 % случаев, и они по-прежнему занимают ведущее значение в структуре общей заболеваемости региона (в сравнении 2005 г. – 39078,4 тыс. человек, а уже в 2019 г. – 40085,9 тыс. человек). Если сравнить показатель заболеваемости органов дыхания в период с 2010 до 2019 г., то можно отметить снижение данных (42808,3 и 40085,9 соответственно).

Динамика валовых выбросов в атмосферу и заболеваемости населения по Гомельской области представлена на графике (рисунок 1).

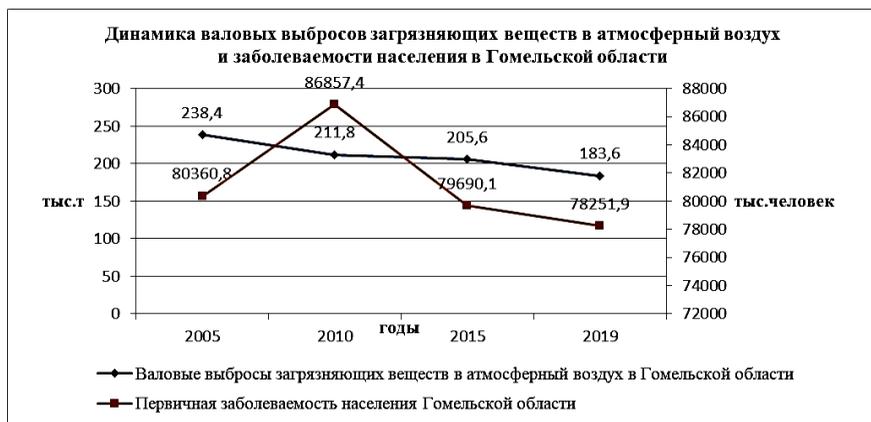


Рисунок 1 – Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и заболеваемости населения в Гомельской области

Выводы. Перечисленные особенности и характеристика мобильных источников, структура, характеристика и токсичность выбросов, приведенные медицинские данные по заболеваемости населения приводят к выводу, что автотранспорт создает в городах обширные зоны с устойчивым повышением санитарно-гигиенических нормативов загрязнения воздуха. Поэтому загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом является одной из основных

причин, затрудняющих создание условий для нормального развития людей и улучшения их здоровья.

Список литературы

1 **Осипенко, Г. Л.** Мобильные источники как фактор влияния на состояние растительных организмов / Г. Л. Осипенко // Среда, окружающая человека : природная, техногенная, социальная : материалы XII Междунар. науч-практ. конф. (Брянск 28 апр. 2023 г.) / Брянский государственный инженерно-технологический университет ; отв. ред. Г. В. Левкина. – Брянск, 2023. – С. 80–81.

2 **Беднягин, А. М.** Окружающая среда и здоровье населения Гомельской области / А. М. Беднягин // Молодые исследователи – регионам : материалы Междунар. науч. конф. (Вологда, 19 апр. 2022 г.) : в 3 т. Т. 1 / М-во науки и высшего образования Российской Федерации и др. ; гл. ред. М. М. Караганова. – Вологда : ВоГУ, 2022. – С. 338–340.

ATMOSPHERIC AIR POLLUTANTS AS A FACTOR OF INFLUENCE ON THE INCIDENCE OF THE POPULATION

A. N. ERMAK, G. L. OSIPENKO

Gomel State University named after F. Skorina, Republic of Belarus

УДК 628.35

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А. Ф. КАРПЕНКО

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

kaf51@list.ru

Актуальность. В результате мониторинга радиоактивного загрязнения, проводимого после катастрофы на ЧАЭС, установлено, что радиоактивные осадки выпали на территории Беларуси, России и Украины площадью более 125 тыс. км². Из них 46 тыс. км² (22 % от общей площади), в том числе 19 тыс. км² сельскохозяйственных земель, 20 тыс. км² земель лесного фонда, радиоактивно загрязненных ¹³⁷Cs с содержанием в почве более 1 Ки/км² на территории Беларуси [1]. Радиоактивные осадки были обнаружены на землях 59 районов Беларуси. В осадках наиболее распространенным радионуклидом установлен ¹³⁷Cs с периодом полураспада 30 лет.

На загрязненной ¹³⁷Cs выше 37 кБк/м² (1,0 Ки/км²) территории земли сельскохозяйственного назначения составили 1866 тыс. га (около 20 % их общей площади), в том числе 1725 тыс. га имели плотность загрязнения 37–555 кБк/м² (1–15 Ки/км²), 141,0 тыс. га – 555–1480 кБк/м² (15–40 Ки/км²) и выше [2].

Плотность выпадений ^{90}Sr выше $5,55 \text{ кБк/м}^2$ ($0,15 \text{ Ки/км}^2$) определена на площади $21,1 \text{ тыс. км}^2$ Гомельской и Могилевской областей, что составило более 10% территории республики. Прежде чем данные радионуклиды перейдут в положение неопасных для человека и животных требуется, чтобы для этого прошло не менее $6\text{--}10$ периодов полураспада [1].

Загрязнение территории изотопами $^{238}, ^{240}, ^{241}\text{Pu}$ и ^{241}Am произошло на площади около $4,0 \text{ тыс. км}^2$, или 2% . Это в основном земли Гомельской области (6 районов) и существенно меньшая территория Могилевской области (1 район) [3].

В настоящее время радиологическая обстановка обусловлена наличием и действием в окружающей среде таких долгоживущих изотопов как ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238}, ^{240}, ^{241}\text{Pu}$, ^{241}Am .

Чернобыльское техногенное загрязнение в Беларуси повлекло за собой целый ряд экологических, экономических и социальных проблем. Решение данных проблем во многом планируется и осуществляется на основании данных изучения радиационной обстановки, складывающейся в экосистемах на территории республики.

Цель работы – оценить данные мониторинга радиоактивного загрязнения экологических систем в Беларуси.

Основные результаты. В утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 159 от 22 марта 2021 г. шестой Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы (Госпрограмма) определены ее такие основные цели: социальная защита населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС; обеспечение требований радиационной безопасности и ускоренное социально-экономическое развитие и возрождение загрязненных радионуклидами территорий [4].

На осуществление 76 мероприятий Госпрограммы в 2021 г. было направлено $551,4 \text{ млн рублей}$ и в полном объеме выполнено 65 мероприятий, или 85% , от утвержденных [5]. Средства направлялись на предоставление льгот и выплат компенсаций пострадавшим от катастрофы гражданам, бесплатное питание учащихся, получающих общее базовое и общее среднее образование и проживающих на загрязненных радионуклидами территориях, пострадавших от чернобыльской катастрофы за счет средств Госпрограммы прошли санаторно-курортное лечение и оздоровление ($84,1 \text{ тыс. человек}$).

В сельскохозяйственном производстве радиационному обследованию было подвергнуто $341,4 \text{ тыс. га}$ используемых земель, направлено на выполнение защитных агрохимических мер $69,0 \text{ млн рублей}$. Благодаря выделенным средствам в агросектор было поставлено $21,0 \text{ тыс. т}$ фосфорных и $63,5 \text{ тыс. т}$ действующего вещества калийных удобрений, которые были внесены соответственно на площади $535,3 \text{ тыс. га}$ и $589,4 \text{ тыс. га}$ на загрязненных радионуклидами землях. Кроме этого, в течение года произвесткованы кислые

почвы на площади 21,5 тыс. га. Для аграриев были выполнены ремонтно-эксплуатационные работы на внутривозделанных мелиоративных сетях протяженностью 1,3 тыс. км. Для молочного скота личных подсобных хозяйств в загрязненных районах создано 100,7 га и проведены уходные работы, включающие приобретение и внесение азотных удобрений, на 535,5 га ранее созданных улучшенных луговых земель.

В лесном хозяйстве обеспечивалось функционирование подразделений радиационного контроля: ремонт, обслуживание, поверка приборов и оборудования, аккредитация 2 подразделений радиационного контроля.

С целью выполнения радиоэкологического законодательства в Гомельской и Могилевской областях произведено захоронение 884 подворий и капитальных строений, а также обслуживание 86 пунктов захоронения отходов дезактивации. В рамках научного обеспечения Госпрограммы выполнялись работы по 17 темам 8 организациями-исполнителями, заказчиками которых выступали МЧС, Минздрав и НАН Беларуси.

Сотрудниками ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» для специалистов сельскохозяйственных организаций в пострадавших районах Гомельской, Могилевской и Брестской областей организованы и проведены обучающие радиоэкологические семинары.

Одновременно с тем, что приведено выше и выполняется, в Госпрограмме большое внимание уделяется организации и проведению мониторинга радиоактивного загрязнения территории страны. Ответственность за его организацию и проведение возложена на Белгидромет. Службами Белгидромета проводится ежегодный радиационный мониторинг атмосферного воздуха, ненарушенных участков почвы, поверхностных и подземных вод в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС. В настоящее время из 120 пунктов наблюдений радиационного мониторинга на территории Республики Беларусь функционирует 41 пункт наблюдений атмосферного воздуха. Среди показателей данного мониторинга для выявления аварийных ситуаций суточные пробы атмосферного воздуха, отобранные в районах воздействия работающих АЭС, расположенных на территории сопредельных государств, подвергаются анализу на содержание короткоживущих продуктов распада, и в первую очередь йода-131.

Так, в 2022 г. самые высокие уровни мощности дозы зарегистрированы в городах Брагине и Славгороде, находящихся в зоне радиоактивного загрязнения. Здесь мощность дозы соответственно колебалась в диапазоне от 0,39 до 0,54 мкЗв/ч и от 0,16 до 0,21 мкЗв/ч. В остальных точках наблюдений мощность дозы не превышала 0,20 мкЗв/ч или уровень естественного гамма-фона [6]. В динамике наблюдений отмечается, что мощность дозы гамма-излучения в послеаварийные годы постепенно снижается за счет естественного распада цезия-137 и его заглубления в почвах. Случаев обнаружения йода-131 в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений из атмосферы

на территории республики в течение года не установлено. Запуск в работу двух блоков Белорусской АЭС также не оказал негативного влияния на радиационную обстановку окружающей среды.

Радиационный мониторинг поверхностных вод проводится в 16 местах, из которых 6 находятся на крупных и средних реках Беларуси, водосборы которых подверглись радиоактивному загрязнению, 6 – на трансграничных участках водных объектов и 1 на оз. Дрисвяты, которое являлось водоемом-охладителем Игналинской АЭС, и 3 вокруг размещения Белорусской АЭС.

Наблюдения за радиоактивным загрязнением донных отложений организованы на 9 точках. В отобранных пробах воды и донных отложений определяется содержание цезия-137 и стронция-90. Так, в 2022 г. содержание цезия-137 в р. Припять (г. Мозырь) находилось в пределах от 2 до 4 Бк/м³; в р. Днепр (г. Речица) – от 2 до 56 Бк/м³; в р. Сож (г. Гомель) – от 2 до 22 Бк/м³; в р. Ипать (г. Добруш) – от 9 до 32 Бк/м³; в р. Беседь (д. Светиловичи) – от 6 до 13 Бк/м³.

Содержание стронция-90 в 2022 г. в р. Припять (г. Мозырь) колебалось от 6 до 11 Бк/м³; в р. Днепр (г. Речица) – от 3 до 42 Бк/м³; в р. Сож (г. Гомель) – от 3 до 31 Бк/м³; в р. Ипать (г. Добруш) – от 11 до 32 Бк/м³; в р. Беседь (д. Светиловичи) – от 8 до 31 Бк/м³ [6].

Радиационный мониторинг почв с периодичностью 1 раз в 5 лет проводится на специальной сети реперных площадей и ландшафтно-геохимических полигонов. Мониторинг включает определение: мощности дозы на поверхности почвы и на высоте 1 м, содержание цезия-137 и стронция-90 в почве и их распределение по вертикальному профилю почв. Например, в 2022 г. наблюдения были проведены на 8 реперных площадях и 6 ландшафтно-геохимических полигонах [6].

Мониторинг радиоактивного загрязнения территории республики свидетельствует, что за прошедшие почти тридцать восемь лет после аварии из-за естественного распада радионуклидов плотности их концентрации в почве существенным образом уменьшились. Это один из важнейших положительных процессов, благодаря которому радиоактивная напряженность будет уменьшаться и дальше. В послеварийное время количество загрязненных земель ежегодно сокращается. За период времени с 1991 по 2021 г. (30 лет) количество таких сельскохозяйственных земель в республике сократилось на 525,8 тыс. га, или на 38,9% [1]. Среднегодовое снижение площадей составило 17,5,0 тыс. га, или по 1,3% от загрязненной площади в 1991 г. За данный отрезок времени в Гомельской области из 781,6 тыс. га в разряд не загрязненных переведено 285,9 тыс. га, в Могилёвской области – соответственно 360,6 тыс. га и 116,1 тыс. га. При сохранении таких темпов сокращения числа загрязненных земель и в будущем для полного их перевода в чистые ещё потребуется в Гомельской области 52 года, в Могилёвской области 63,2 года. Пока же, на начало 2021 г., самые большие массивы сельскохозяйственных

земель в количестве 495,7 тыс. га (60 %) в Гомельской и 244,5 тыс. га (29,6 %) в Могилевской областях продолжали оставаться в разряде радиационно-опасных.

В отношении лесных земель показано, что за шестилетний период, с 2015 по 2021 г., количество загрязненных площадей сократилось на 162,4 тыс. га или происходило ежегодное их уменьшение на 16,8 тыс. га, или на 1,7 %. В лесном хозяйстве Гомельской области количество загрязненных земель снизилось с 1119,8 тыс. га до 1039,3 тыс. га, в Могилевской – с 419,7 до 376,1 тыс. га. Расчёты свидетельствуют, что для полного избавления лесов от радиоактивного загрязнения в Гомельской области необходимо около 78 лет, Могилевской области – около 52.

Выводы. В настоящее время в Беларуси выполняется шестая Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы. В рамках данной программы выделяются средства для проведения радиационного мониторинга. Как свидетельствуют результаты мониторинга, радиационная обстановка в основных экосистемах на территории Беларуси сохраняется постоянной. В атмосферном воздухе не отмечается случаев превышения показателей мощности дозы над установившимися многолетними значениями, а также объемной активности цезия-137 и стронция-90 в поверхностных водах рек, в почвах наблюдается постепенное снижение мощности дозы, преимущественно за счет естественного распада цезия-137.

Список литературы

1 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. [Электронный ресурс]. – Минск, 2021. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа : 28.02.2024.

2 **Богдевич, И. М.** Влияние радиоактивного загрязнения земель Беларуси на производство и качество сельскохозяйственной продукции / И. М. Богдевич, В. А. Щербаков // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1997. – № 1. – С. 30–34.

3 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь; под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. – Минск, 2006. – 112 с.

4 О Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь № 159 от 22 марта 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100159>. – Дата доступа : 28.02.2024.

5 Отчет о выполнении в 2021 году мероприятий Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/e61/otchet-o-gosprogramme-za-2021-god.pdf>. – Дата доступа : 28.02.2024.

6 Радиационный мониторинг. ГИАЦ НСМОС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/radiacionnyy-monitoring>. – Дата доступа : 28.02.2024.

MONITORING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A. F. KARPENKO

Francisk Skorina Gomel State University, Republic of Belarus

УДК 648.6

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

П. А. КЛЕБЕКО

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного
использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь
pavkle@mail.ru*

Актуальность. Ранее нами были представлены исследования по синтезу каталитического покрытия на инертных гранулированных материалах для использования в фильтрах обезжелезивания подземных вод [1–3]. В качестве источника железа использовались осадки очистки промывных вод фильтров обезжелезивания [4, 5].

Цель работы – разработать технологическую схему получения каталитических материалов для повышения эффективности очистки подземных вод от железа.

Основные результаты Технологическая схема получения модифицированной каталитической загрузки представлена на рисунке 1. Исходя из времени проведения основных процессов и подготовительных работ, было принято проводить 2 цикла в день, т. е. время от подготовки реагентов и до выгрузки готового продукта. Первая стадия технологии включает при-готовление раствора прекурсора железа. Данная стадия включает процессы выщелачивания и фильтрации. Выщелачивание железа из осадков обезжелезивания проходит в емкостном аппарате 7, куда из бункера 2 дозируется воздушно сухой осадок и из емкости 1 разбавленная азотная кислота с концентрацией 20 %. С учетом влажности поступающего осадка можно предусмотреть корректировку концентрации азотной кислоты.

Рекомендуемое время контакта осадка с кислотой при постоянном перемешивании составляет 1 час. После окончания процесса выщелачивания смесь поступает на фильтрацию на нутч-фильтр периодического действия 8. Фильтрат (прекурсор железа) направляется в емкость 7. Вторая стадия – модификация загрузки за счет синтеза на ее поверхности железосодержащего каталитического слоя. Для этого готовится раствор прекурсоров: раствор выщелачивания, содержащий преимущественно нитрат железа и восстановитель (7), в качестве которого предлагается использовать лимонную кислоту. Соотношение окислителя (нитрат железа) к восстановителю (лимонная кислота) равно 1 : 1 (стехиометрические). Данная смесь перемешивается в смесителе 7 до полного

растворения восстановителя. После этого в нее добавляется каталитический материал, подлежащий модификации в соотношении $0,05 \text{ г Fe(NO}_3)_3 / \text{г носителя}$ в емкости 9. Материал вымачивается в растворе прекурсоров в течение 15–20 минут и направляется в печь синтеза 10, разогретую до $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура инициации экзотермической реакции составляет около $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Время синтеза составляет около 1 минуты. После этого материал промывается окуном и направляется на сушку.

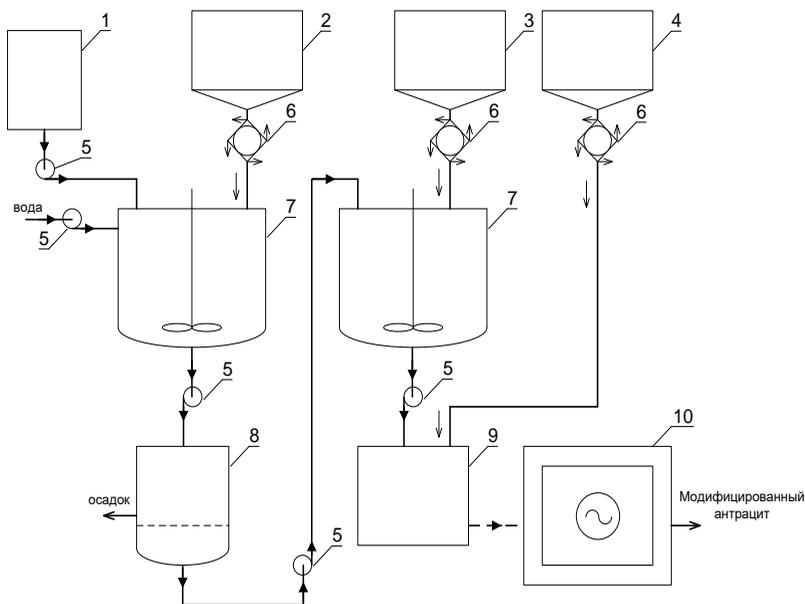


Рисунок 1 – Технологическая схема получения гранулированных каталитических материалов:

1 – емкости хранения азотной кислоты; 2 – бункер хранения осадка; 3 – бункер хранения лимонной кислоты; 4 – бункер хранения антрацита; 5 – насос; 6 – дозатор; 7 – емкостной аппарат с мешалкой; 8 – фильтр; 9 – емкость; 10 – печь

Из экологических аспектов технологии модификации каталитической загрузки можно выделить следующие: на стадии выщелачивания происходит выброс диоксида углерода за счет разложения карбонатов; на стадии фильтрации – образование нерастворенного осадка в количестве 10–45 % от исходного, содержащего преимущественно оксид кремния, а также незначительные количества алюминия, кальция, марганца, железа; на стадии синтеза образуются выбросы азота, оксидов углерода, пары воды и незначительные выбросы невосстановившихся оксидов азота. Сточные воды образуются при промывке оборудования. В составе сточных вод могут присутствовать азотная кислота, взвешенные вещества, ионы железа.

Выводы. Получаемые по данной технологии модифицированные каталитические гранулированные материалы обеспечивают увеличение эффективности обезжелезивания в первых порциях воды до 3,5 раз в сравнении с инертными исходными.

Список литературы

1 **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.

2 **Клебеко, П. А.** Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 65–67.

3 **Клебеко, П. А.** Обезжелезивание подземных вод модифицированным огнеупорным шамотом / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 4. – С. 103–111.

4 Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

5 **Куличик, Д. М.** Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

TECHNOLOGY FOR PRODUCING CATALYTIC GRANULATED MATERIALS FOR DEIRONIZATION OF GROUNDWATER

P. A. KLEBEKO

Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources, Minsk, Republic of Belarus

УДК 648.6

СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

П. А. КЛЕБЕКО

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь
pavkle@mail.ru*

Актуальность. Ранее авторами были представлены исследования по получению коагуляционного комплекса из отработанных ионообменных смол [1–4].

Был предложен способ очистки промывных вод фильтров обезжелезивания с помощью данного коагуляционного комплекса [5].

Цель работы – представить схему очистки промывных вод фильтров обезжелезивания с использованием коагуляционного коагуляционного комплекса на основе отработанных ионообменных смол с возможностью возврата очищенной промывной воды.

Основные результаты. По результатам проведенных исследований было выявлено, что наиболее приемлемый результат осветления промывных вод можно достичь, используя смесь предварительно измельченных анионита АВ-17-8 и катионита КУ-2-8 в соотношении 1 : 1 и дозе не менее 1,0 г/л. Схема узла осветления промывных вод представлена на рисунке 1 и включает стадию получения коагулянтов из отработанных ионообменных смол и непосредственно стадию осветления.

Получение коагуляционного комплекса производится согласно одному из вариантов. Например, при применении суперкавитирующей установки отработанные ионообменные смолы, использованные в процессе водоподготовки, собирают в бункер 12. Использование валцов и последующее диспергирование отработанных ионообменных смол с использованием валцов и суперкавитирующей установки значительно снижают затраты на получение материала требуемой дисперсности, в отличие от использования планетарной мельницы и ультразвуковой установки.

Из бункера 12 отработанные ионообменные смолы в соотношении катионит: анионит равном 1 : 4 через дозатор 13 поступают на валцы 14 для первичного разрушения гранул и далее в емкость 16. В емкости 16 готовится водная суспензия отработанного ионита концентрацией 10–20 %, вода на приготовление суспензии поступает из резервуара очищенной воды 3. Далее включается насос, который многократно перемещает суспензию через суперкавитатор 15, в котором происходит диспергирование частиц отработанного ионита до содержания частиц с медианным диаметром 10 мкм не менее 60 %.

Промывная вода после регенерации фильтра направляется в отстойник промывных вод 4, в это же время в трубопровод подачи промывной воды вводится готовая суспензия коагуляционного комплекса из емкости 16. Трубопровод подачи промывной воды 7 оборудован сужающим устройством 17 для перемешивания растворов реагентов с промывной водой. Рекомендуемое время отстаивания промывных вод в отстойнике 4 составляет 60 мин. После отстаивания в отстойнике 4 осветленная вода с содержанием железа общего около 1 мг/л насосом подается по трубопроводу отвода осветленной воды 8 на фильтры обезжелезивания. При использовании отдельного фильтра для доочистки осветленных промывных вод после отстойника 4 остаточная концентрация железа общего составляет до 0,1 мг/л, что позволяет направлять очищенную воду на повторное использование в резервуар чистой воды 3. Отвод осадка по трубопроводу перекачки осадка 9 на сооружения по обезвоживанию осадка 10 осуществляется насосом.

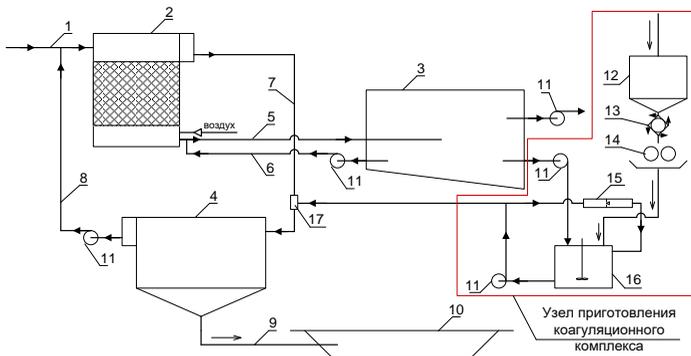


Рисунок 1 – Принципиальная схема станции обезжелезивания со стадий осветления промывных вод:

1 – трубопровод подачи подземных вод на фильтр обезжелезивания; 2 – фильтр обезжелезивания; 3 – резервуар чистой воды; 4 – отстойник промывных вод; 5 – трубопровод подачи фильтрата в резервуар чистой воды; 6 – трубопровод подачи воды для промывки фильтра; 7 – трубопровод отвода промывной воды в отстойник; 8 – трубопровод подачи осветленной промывной воды в «голову» сооружений; 9 – отвод осадка из отстойников на хранение; 10 – шламовые площадки; 11 – насос; 12 – бункер; 13 – дозатор; 14 – вальцы; 15 – суперкавитатор; 16 – емкость приготовления коагулянта; 17 – устройство для смешения коагуляционного комплекса с промывными водами

Из экологических аспектов можно выделить образование осадка в количестве около 125 т/год, содержащего железо и агрегаты измельченных ионообменных смол, а также образование сточных вод при промывке оборудования приготовления коагулянта. В составе сточных вод могут присутствовать взвешенные вещества (частицы ионообменных смол).

Выводы. Очищенная вода по предложенному способу содержит около 0,1 мг/л железа общего и может быть возвращена в процесс.

Список литературы

1 Романовский, В. И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.

2 Романовский, В. И. Механохимическая переработка отходов ионообменных смол / В. И. Романовский, В. Н. Марцупль // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология орган. в-в. – 2006. – № 14. – С. 89–91.

3 Романовский, В. И. Влияние механохимической активации отходов ионитов на дисперсный состав и свойства получаемых продуктов / В. И. Романовский, В. Н. Марцупль // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2008. – № 2. – С. 111–117.

4 Петров, О. А. Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О. А. Петров, В. И. Романовский // Новейшие достижения в области

импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : материалы междунар. науч.-техн. конф., БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.

5 **Романовский, В. И.** Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2 (104). – С. 90–92.

METHOD FOR INTENSIFICATION OF CLEANING WASH WATER OF IRON REMOVAL FILTERS

P. A. KLEBEKO

Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources, Minsk, Republic of Belarus

УДК 628.35

ОХРАНА И КАДАСТРОВЫЙ УЧЁТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. КОВАЛЁВА, А. Ф. КАРПЕНКО

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

sanakovaleva@mail.ru, kaf51@list.ru

Актуальность. В настоящее время организация водоохранной деятельности в Беларуси является обязательным условием обеспечения ее экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития республики. На страже водоохранной деятельности находятся водоохранное законодательство и, прежде всего, Водный кодекс (ВК) Республики Беларусь [1], а также ведение Государственного водного кадастра (ГВК), обеспечивающего учёт и мониторинг использования водных ресурсов [2].

Цель работы – рассмотреть основные положения охраны и кадастрового учёта водных ресурсов республики.

Основные результаты. Действующий в настоящее время ВК Беларуси принят для регулирования отношений владения, пользования и распоряжения водами и водными объектами, и направлен на охрану, рациональное использование водных ресурсов, на защиту прав и интересов водопользователей. Водный кодекс Беларуси состоит из следующих глав: 1. Общие положения (ст. 1–8); 2. Государственное управление в области охраны и использования вод (ст. 9–16); 3. Права и обязанности граждан и общественных объединений в области охраны и использования вод. Бассейновые советы (ст. 17–19); 4. Нормирование в области охраны и использования вод (ст. 20–24); 5. Проектирование, возведение, ликвидация, приемка

в эксплуатацию поверхностных водных объектов и объектов, оказывающих воздействие на водные объекты (ст. 25–27); 6. Водопользование (ст. 28–35); 7. Права и обязанности водопользователей (36–37); 8. Пользование водными объектами. Эксплуатация водохозяйственных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений и устройств (ст. 38–45); 9. Виды сточных вод, требования к сбросу сточных вод, пользование водными объектами для сброса сточных, карьерных (шахтных, рудничных), дренажных вод. Закачка (нагнетание) вод в недра (ст. 46–49); 10. Охрана вод (ст. 50–51); 11. Водоохранные зоны и прибрежные полосы. Режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в водоохраных зонах и прибрежных полосах (ст. 52–54); 12. Мониторинг поверхностных вод и мониторинг подземных вод. Локальный мониторинг. Учет добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду. Государственный водный кадастр. Контроль за использованием и охраной вод (ст. 55–59); 13. Самовольное водопользование. Самовольное выполнение работ на водных объектах.

Ответственность за нарушение законодательства об охране и использовании вод (ст. 60–61); 14. Заключительные положения (ст. 61–65). В главах кодекса отражена государственная система мер охраны вод, направленной на предотвращение загрязнения, засорения вод, а также на их сохранение и восстановление (ст. 25).

Все воды в пределах территории Республики Беларусь находятся в исключительной собственности государства и составляют государственный водный фонд. Государственный контроль в области использования и охраны вод в соответствии со ст. 86 ВК осуществляют местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы, а также специально уполномоченные органы государственного управления:

- по природным ресурсам и охране окружающей среды;
- государственного санитарного надзора;
- по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике.

В соответствии с требованиями ВК экологическое состояние вод определяется на основании гидробиологических, гидрохимических и гидроморфологических показателей при проведении мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Благодаря ежегодно проводимому мониторингу вод обеспечивается сбор информации в целях прогнозирования развития и предотвращения вредных последствий и определения степени эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану вод.

Экологическое состояние водных объектов принято классифицировать как отличное, хорошее, удовлетворительное, плохое и очень плохое.

Информация о присвоенном классе экологического состояния водным объектам отражается в ГВК и размещается на официальном сайте Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Минприроды).

Следует подчеркнуть, что за нарушение водного законодательства в республике установлена административная, уголовная и гражданско-правовая ответственность, основанием которой является водное правонарушение, т. е. виновное противоправное деяние, посягающее на установленный порядок использования и охраны вод и нарушающее водное законодательство.

В целях получения данных о количестве и качестве вод, а также данных об их использовании ведется государственный учет вод. Государственный учет вод и их использования осуществляется органами государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды, по гидрометеорологии и органами государственного санитарного надзора. Первичный учет использования вод проводится водопользователями за счет собственных средств с последующим представлением необходимой отчетности в Минприроды Республики Беларусь и его территориальные органы. Первичный учет использования вод представляет собой измерение, обработку и регистрацию по установленным формам количественных и качественных характеристик забора и сброса воды и является основой государственного водного кадастра.

ГВК содержит уже систематизированные данные о количестве и качестве вод, а также об их использовании. ГВК основывается на данных государственного учета вод и мониторинга вод и ведется Минприроды совместно с Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 152 от 02.03.2015 года утверждено Положение о порядке ведения и структуре ГВК, включающее порядок и технологическую схему ведения ГВК и использования его данных. Так, например, ГВК за 2021 год в главе «Общая характеристика водных ресурсов, их использования и качества вод» приводятся данные о водных ресурсах и их использовании, а также отражено качество поверхностных вод и их загрязнение сточными водами. В главе «Поверхностные воды» приведены пункты наблюдений государственной сети наблюдений за состоянием поверхностных вод, гидрометеорологические условия и речной сток, качество поверхностных вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям и состояние водных объектов в местах водопользования. В разделе «Подземные воды» показаны наблюдательная сеть режимных гидрогеологических наблюдений, эксплуатация подземных вод и их состояние в районах действующих водозаборов, а также режим и качество подземных вод в естественных и слаборазрушенных условиях. В главе «Использование водных ресурсов» раскрываются водопотребление, водоотведение и загрязнение поверхностных водных объектов сточными водами. Пятая глава называется «Сведения о гидротехнических сооружениях» и шестая – «Сводные данные по количеству поверхностных водных объектов, предоставленных в аренду

для рыбоводства и о поверхностных водных объектах, используемых для рекреации, спорта и туризма». По данным Национального статистического комитета добыча воды из природных источников в РБ в 2022 г. составила 1414 млн м³, что на 11 млн м³ меньше предыдущего года, соответственно сброс вод в окружающую среду – 1245 млн м³ и 8 млн м³. Доля безопасно очищаемых хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод в 2021 г. – 99,8 % [3].

В результате проводимой государственной политики в области охраны и использования вод, а также в связи с переходом на применение наилучших доступных технологических методов в Беларуси снизилось водопотребление на душу населения и в период 2021–2022 годов находилось на уровне 137–138 м³. Сокращению объемов использования воды на производственные нужды способствовало внедрение приборного учета вод. В настоящее время приборным учетом по добыче вод охвачено 100 % объектов промышленности и 96 % сельскохозяйственных организаций [4]. В последние годы более широко водопользователи стали применять воды в системах оборотного и повторного водоснабжения, что также позволяет в целом по республике достигать большей экономии воды от общего объема ее использования.

Выводы. Благодаря налаженной государственной политике рационального использования вод, включающей их правовую охрану, кадастровый учет и проводимую Минприроды водную стратегию, в республике сложилась действующая система водопользования, позволяющая решать основные проблемы и задачи в данной области с учетом особенностей предстоящего этапа социально-экономического развития страны.

Список литературы

1 Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/docu ment/?regnum=hk1400149>. – Дата доступа : 05.03.2024.

2 Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2021 год). – Минск, 2022. – 149 с.

3 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический буклет. 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by /uplo ad/iblock/ 8a8/ t0s4z8s3dzp1g3j51v8t0bpcq5qm3aес.pdf>. – Дата доступа : 05.03.2024.

4 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа : 28.02.2024.

PROTECTION AND CADASTRAL REGISTRATION OF WATER RESOURCES

O. V. KOVALEVA, A. F. KARPENKO

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

АГРЕГАЦИЯ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА ГИПСА ИЗ ОСАДКА КОАГУЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

М. А. КОМАРОВ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
makkom1995@gmail.com*

Актуальность. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что на увеличение размера кристаллов [1, 2] оказывают влияние такие технологические операции, как длительность выдержки полученной суспензии синтетического гипса, а также качество воды, используемой для приготовления меловой суспензии, порядок сливания реагентов, скорости перемешивания, температура синтеза в реакторе [3]. Оптимальные параметры синтеза синтетического гипса из отработанной серной кислоты и карбонатного сырья позволяют получить именно кристаллы призматической формы [4, 5], а не игольчатой. Максимальные свойства гипсового вяжущего достигаются на срезках кристаллов, а не на единичных, и для этого необходимо их укрупнять.

Цель работы – установить оптимальное количество агрегирующего компонента, позволяющее укрупнять основную массу частиц синтетического гипса свыше 100 мкм.

Основные результаты. Форма и размер кристаллов дигидрата сульфата кальция оказывают максимальное воздействие на прочностные показатели вяжущего, получаемого на его основе. При бесконтрольном синтезе получаются кристаллы игольчатой формы, которые осложняют процесс разделения суспензии на твердую и жидкую фазы.

Однако эти факторы оказывают влияние лишь на рост отдельных кристаллов дигидрата сульфата кальция. Для обеспечения лучшей фильтрации материала и в дальнейшем повышение прочностных показателей проводились исследования по сращиванию отдельных кристаллов для образования частиц дигидрата сульфата кальция. Такую возможность открыло использование флокулянта Praestol 2515. В ходе проведения исследований брались различные дозировки по отношению к получаемой суспензии от 0,02 мас. % до 0,4 мас. %. Результаты исследований по установлению оптимальной дозировки представлены на рисунке 1.

Дальнейшее увеличение количества вводимого Praestol 2515 не целесообразно, так как более 90 мас. % синтезируемых частиц имеют размер более 20 мкм, что позволяет проводить процесс фильтрации без особых усилий, а частицы, имеющие размер менее 20 мкм, будут являться затравочными кристаллами для последующих синтезов.

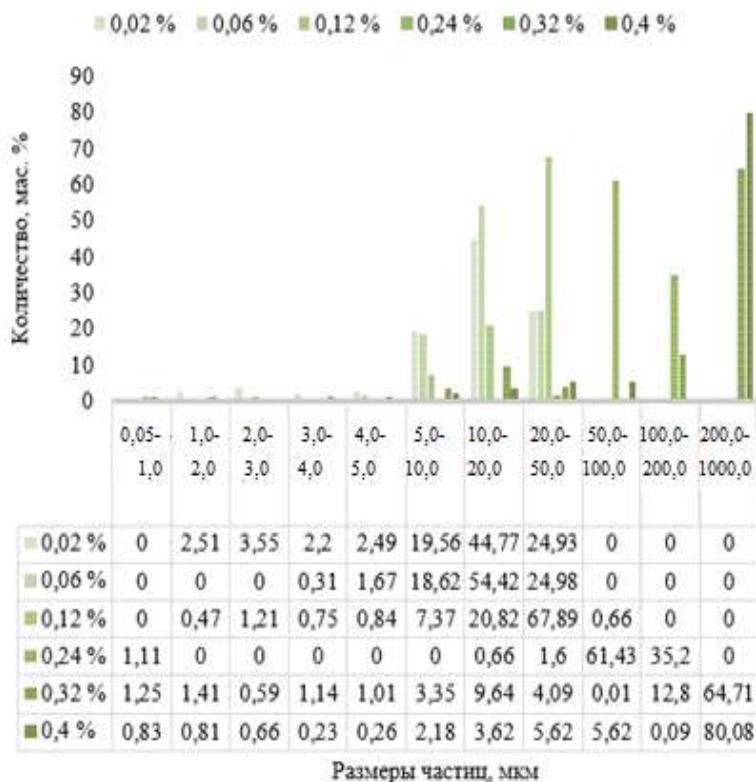


Рисунок 1 – Влияние дозировки флокулирующего агента на размеры получаемых частиц гипса

Полученные результаты по использованию Praestol 2515 с целью сращения отдельных кристаллов позволяют сделать вывод о том, что оптимальной дозировкой является 0,4 мас. % от количества суспензии, доказательство чего приведено на микрофотографии, представленной на рисунке 2.

Из полученных данных гранулометрического анализа можно сделать однозначный вывод, что выдержка синтетического гипса после реактора и ввода флокулирующего агента в сгустителе ведет к агрегации отдельных кристаллов и образованию сростков дигидрата сульфата кальция, что видно из рисунка 2. Образование частиц безусловно окажет положительное влияние на фильтруемость материала. Так как более крупные частицы обуславливают наилучшую фильтрацию получаемой суспензии, а затем и более высокие прочностные показатели гипсовых вяжущих, получаемых на основе синтетического дигидрата сульфата кальция.

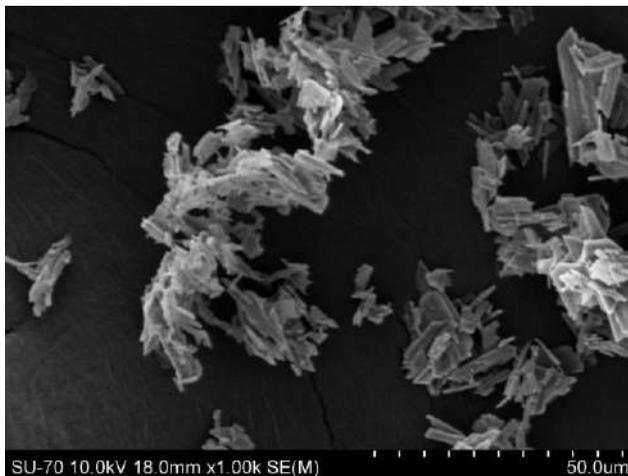


Рисунок 2 – Микрофотография частиц синтетического гипса с использованием Praestol 2515

Список литературы

1 Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue / C. Wang [et al.] // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2024. – Vol. 26, no 3. – P. 1588–1595. – DOI : 10.1007/s 10163-024-01914- w.

2 The production of environmentally friendly building materials out of recycling walnut shell waste: A brief review / M. Y. Abdulwahid [et al.] // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2023. – P. 1–10. – DOI :10.1007/s13399-023-04760-2.

3 **Комаров, М. А.** Получение синтетического гипса из отхода водоподготовки - недопала извести / М. А. Комаров, В. И. Романовский // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2022. – № 5. – С. 57–60. – DOI :10.35776/VST.2022.05.07.

4 **Комаров, М. А.** Синтетический гипс из осадков коагуляции природных вод / М. А. Комаров, Т. В. Камлюк // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2022. – № 1. – С. 38–43. – DOI : 10.35776/VST.2022.01.06.

5 **Комаров, М. А.** Синтез дигидрата сульфата кальция из техногенного сырья / М. А. Комаров, Н. Г. Короб, В. И. Романовский // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки*. – 2020. – №. 16. – С. 76–82.

AGGREGATION OF PARTICLES IN THE PROCESS OF SYNTHESIS OF GYPSUM FROM SURFACE WATER COAGULATION SEDIMENT

M. A. KAMAROU

Belarusian State Technological University, Minsk

**ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОБРАЗОВАНИЯ
СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИПСА В СИСТЕМЕ $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$
ИЗ КАРБОНАТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ
И РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОДЫ**

М. А. КОМАРОВ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
makkom1995@gmail.com*

Актуальность. Ранее нами был получен гипс первого сорта из техногенного сырья [1], в том числе из карбонатсодержащих отходов водоподготовки [2, 3]. Процесс переработки кальцийсодержащих отходов водоподготовки на синтетический гипс проводится в водной среде. Исходя из этого необходимо установить, какое влияние оказывают на процесс кристаллизации различные типы воды.

Цель работы – установить влияние растворенных примесей в различных типах воды на процесс кристаллообразования синтетического гипса из кальцийсодержащих отходов промышленной водоподготовки в системе $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Основные результаты. В процессе синтеза установлено, что в процесс кристаллообразования [4, 5] существенный вклад вносит вид воды, а именно наличие разных примесных ионов. В процессе исследования изучены 3 типа воды: очищенная речная, дистиллированная и водопроводная. В процессе химического анализа воды установлено, что в разной воде присутствует различное количество примесных ионов. Результаты химического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический анализ воды

Элемент	Содержание элемента в воде, мг/л		
	очищенная речная	водопроводная	дистиллированная
Al	0,0188	0,0404	–
B	0,0117	0,0355	–
Ba	0,0497	0,2192	0,0021
Ca	50,78	77,95	1,216
Fe	0,0112	0,0117	0,0067
K	17,49	33,51	17,93
Li	0,0022	0,0053	–
Mg	11,74	20,61	0,2919

Окончание таблицы 1

Элемент	Содержание элемента в воде, мг/л		
	очищенная речная	водопроводная	дистиллированная
Mn	0,0123	0,0127	0,0044
Na	6,947	5,178	1,127
S	3,866	0,5501	0,0121
Si	2,248	6,523	0,4589
Sr	0,1075	0,1416	0,0046
Zn	0,0207	–	0,0043

Результаты гранулометрического анализа синтетических гипсов в зависимости от источника воды (очищенная речная, дистиллированная, водопроводная вода) представлены на рисунке 1.

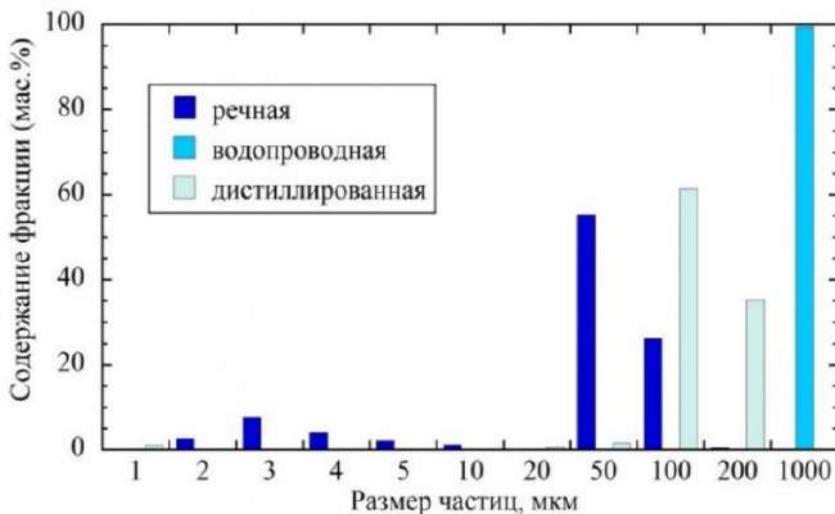


Рисунок 1 – Распределение частиц синтетического гипса по размеру в зависимости от источника воды

Системные исследования, проведенные на лазерном гранулометре, позволили установить, что в очищенной речной воде размер получаемых частиц синтетического $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ лежит в диапазоне 20–100 мкм; в водопроводной воде – 95 % получаемых частиц лежит в диапазоне 100–500 мкм; на дистиллированной воде – 25 % в диапазоне 10–100 мкм и 75 % в диапазоне 100–200 мкм.

Полученные данные химического анализа свидетельствуют о том, что содержащиеся в воде, используемой для приготовления суспензии карбоната кальция, в разных количествах ионы влияют на формирование кристаллов и

частиц синтетического дигидрата сульфата кальция. Кристаллы и частицы дигидрата сульфата кальция больших размеров образуются при использовании водопроводной воды, в которой в сравнении с другими типами воды повышенное содержание элементов Ba, K, Mg, Si, Al и пониженное содержание S. Из этого можно сделать вывод о том, что соединения на основе данных элементов оказывают существенный вклад в изменения кристаллической решетки образующихся кристаллов синтетического гипса.

Более крупные частицы обуславливают наилучшую фильтрацию получаемой суспензии и более высокие прочностные показатели гипсовых вяжущих, получаемых на основе синтетического дигидрата сульфата кальция.

Поскольку дисперсность синтетического гипса полученного на речной воде выше, чем дисперсность синтетического гипса полученного на водопроводной воде, можно сделать вывод о том, что растворенные в речной воде примеси, сорбируясь на поверхности синтетического гипса, препятствуют их агрегированию.

Список литературы

1 **Комаров, М. А.** Получение синтетического гипса из отхода водоподготовки – недопада извести / М. А. Комаров, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 5. – С. 57–60. – DOI : 10.35776/VST.2022.05.07.

2 **Комаров, М. А.** Синтетический гипс из осадков коагуляции природных вод / М. А. Комаров, Т. В. Камлюк // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 38–43. – DOI : 10.35776/VST.2022.01.06.

3 **Комаров, М. А.** Синтез дигидрата сульфата кальция из техногенного сырья / М. А. Комаров, Н. Г. Короб, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – №. 16. – С. 76–82.

4 Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue / C. Wang [et al.] // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2024. – Vol. 26, no 3. – P. 1588–1595. – DOI :10.1007/s10163-024-01914-w.

5 The production of environmentally friendly building materials out of recycling walnut shell waste: A brief review / M. Y. Abdulwahid [et al.] // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2023. – P. 1–10. – DOI : 10.1007/s13399-023-047602.

FEATURES OF CRYSTAL FORMATION OF SYNTHETIC GYPSUM IN THE SYSTEM $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ FROM CARBONATE-CONTAINING WASTES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT AND DIFFERENT TYPES OF WATER

M. A. KAMAROU

Belarusian State Technological University, Minsk

БАКТЕРИИ И ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

К. М. КОМИССАРОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
k375445843632@gmail.com*

Актуальность. Сооружениям биологической очистки отводится главенствующая роль в общем комплексе сооружений очистной станции водоподготовки. Сточные воды, прошедшие механическую и физико-химическую очистку, содержат достаточно большое количество растворенных и тонко диспергированных других органических загрязнений и не могут быть выпущены в водоем без дальнейшей очистки или водоподготовки ее для питья [1].

Наиболее универсален для очистки сточных вод от органических загрязнений биологический метод. Он основан на способности микроорганизмов использовать в качестве источника питания в процессе их жизнедеятельности разнообразные органические вещества, содержащиеся в сточных водах. Процесс биологического разрушения органических загрязнений в очистных сооружениях происходит под воздействием комплекса бактерий и простейших микроорганизмов, развивающихся в данном сооружении.

Огромные объемы сточных вод ежедневно образуются из различных источников, таких как домашние хозяйства, промышленность и сельскохозяйственная деятельность. Они содержат токсичные материалы и различные формы загрязняющих веществ, которые могут разрушать окружающую среду, вызывать у человека заболевания, передающиеся через воду, и наносить вред флоре и фауне вокруг него. В связи с этим бактерии играют основную роль в расщеплении и очистке органического материала, присутствующего в сточных водах. Питательные вещества, такие как азот и фосфор, а также такие соединения, как жиры, белки и сахар, используются бактериями в качестве источника пищи. Исходя из вводимых закладываемых при проектировании очистных сооружений могут быть использованы несколько видов бактерий. В зависимости от наличия кислорода существует два типа бактерий, которые обычно используются на очистных сооружениях.

Цель работы – обобщение опыта использования высших бактерий при очистке сточных вод при различных водных условиях размещения инфраструктурных объектов.

Основные результаты. В технологии очистки городских сточных вод анаэробное окисление применяют в основном к концентрированным субстратам. На станции биологической очистки к их числу относятся сырой осадок, образующийся при предварительном (перед биологической очисткой) отстаивании сточной воды, и избыточный активный ил, или биопленка. Осадок и

активный ил относятся к группе гидрофильных органических субстратов, легко гнивающих и потому подлежащих обработке [2, 3].

Анаэробные бактерии расщепляют органические отходы в отсутствие кислорода. Такой процесс принято называть брожением или гниением. Для их жизнедеятельности необходимы сульфаты, нитраты, также есть возможность использования углерода.

Бактерии поглощают кислород, получаемый из источника пищи и, таким образом, не нуждаются в кислороде. Обладая высокой способностью уменьшать объемы осадка, анаэробные бактерии дают побочные продукты, такие как углекислый газ и вода.

Выделяющийся при этом газ – метан – также может быть использован в качестве источника энергии. Кроме того, анаэробные бактерии расщепляют нитраты до нитритов и далее до газообразных оксидов и азота в процессе денитрификации.

При анаэробном сбраживании образуется неприятный запах, времени на очистку требуется больше, чем при работе аэробных бактерий, а также образуется твердый осадок, который необходимо время от времени удалять. Сточные воды, которые прошли очистку с помощью анаэробных бактерий, перед сбросом необходимо доочистить.

В отличие от предыдущих аэробные бактерии нуждаются в постоянном снабжении достаточным кислородом, чтобы воздействовать на отходы. Метод эффективен для удаления органических соединений, таких как масла, жиры и смазки, которые часто встречаются в сточных водах домашних хозяйств и промышленных предприятий. Кислород с помощью механических устройств, таких как насосы и воздуходувки, или за счет естественного движения воды подается в резервуар для очистки. Процесс аэрации помогает бактериям развиваться в этой среде и эффективно расщеплять отходы. Он преобразует загрязняющие вещества в энергию и использует ее для роста и размножения.

Аэробные бактерии образуют большое количество активного ила, соприкасаясь с которым биологическая составляющая стоков разлагается. При аэробном способе очистки осадок практически не образуется и отсутствует неприятный запах во время процесса. Содержимое стоков при аэробном способе очистки не нуждается в дополнительной очистке.

Из недостатков можно отметить чувствительность бактерий к хлору, фенолам, щелочам, кислотам и альдегидам. Работа бактерий происходит в диапазоне температур от +4 до +30 °С, что исключает их использование в холодное время года.

Фиторемедиация – это процесс, в котором для очистки загрязненной воды используются растения. Растения поглощают загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды и органические соединения, через свои корни, а затем расщепляют их или накапливают в своих тканях. Этот метод эффективен для очистки водоемов с низким и средним содержанием загрязняющих веществ.

Технология фиторемедиации имеет множество преимуществ перед другими методами очистки воды. Во-первых, она более экологически безопасна, так как не требует использования химических веществ для очистки воды. Во-вторых, она экономически эффективна, так как процесс фиторемедиации требует меньше энергии и затрат на обслуживание и техническое обслуживание, чем другие методы очистки воды.

Доочистка сточных вод с помощью высшей водной растительности, как правило, осуществляется с использованием земноводных растений, растущих в воде, но значительная часть вегетативных органов которых выступает над ее поверхностью. Например, рогоз узколистный и широколистный, тростник озерный, череда, стрелолист обычный, сусак, камыш. Характерной особенностью этих растений является мощная корневая система, составляющая значительную часть общей биомассы.

С поверхностными стоками в водоем поступает большое количество органических и минеральных веществ, удобрения, соединения тяжелых металлов, моющие средства, нефтяные загрязнения. Густые заросли водных и прибрежных растений являются своеобразным фильтром, механически задерживают минеральные и органические взвеси, коллоиды. Оседанию взвеси способствует замедленное течение в зоне зарослей и слизь на поверхности погруженных растений. Водная растительность способна поглощать и использовать в процессе метаболизма многие органические и минеральные вещества, в том числе удобрения и моющие средства.

Водные растения в водоемах выполняют следующие основные функции:

- фильтрационную (способствуют оседанию взвешенных веществ);
- погложительную (поглощение биогенных элементов и некоторых органических веществ);
- накопительную (способность накапливать некоторые металлы и органические вещества, которые трудно разлагаются);
- окислительную (в процессе фотосинтеза вода обогащается кислородом);
- детоксикационную (растения способны накапливать токсичные вещества и преобразовывать их в нетоксичные).

Выводы. Высшие водные растения, используемые при биологической очистке вод, имеют небольшую стоимость и быстро размножаются, если за ними хорошо ухаживать, что делает данный способ очистки водоемов экономически выгодным.

Таким образом, в зависимости от типа и конфигурации станции очистки сточных вод необходимо применять один из трех необходимых способов разложения органического материала.

Список литературы

- 1 **Воронов, Ю. В.** Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Изд. Ассоц. строительных вузов, 2006. – 704 с.

2 **Галяс, А. В.** Высшие водные растения в системах биологической очистки сточных вод / А. В. Галяс, Е. П. Проценко // Молодежь. Наука. Производство : материалы междуз. науч. конф. студентов и аспирантов, 2–4 марта 2009 г. – Курск, 2009. – 77 с.

3 **Тимофеева, С. С.** Биотехнология обезвреживания сточных вод // С. С. Тимофеева // Химия и технология воды. – 1995. – Т. 17, № 5. – С. 525–532.

4 **Янкевич, М. И.** Формирование ремедиационных биоценозов для снижения антропогенной нагрузки на водные и почвенные микрорекосистемы : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / М. И. Янкевич. – Щелково, 2002. – 48 с.

5 **Cohen, Y.** Oil degradation by cyanobacterial mats / Y. Cohen // 10-th International Symposium on Phototrophic Procarriotes, Barselona, 26–31 august, 2000. – Barselona, 2000. – 85 p.

BACTERIA AND HIGHER PLANTS FOR WASTEWATER TREATMENT

K. M. KOMISSAROVA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 691.175.5/8

УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАКТОПЛАСТОВ ВВЕДЕНИЕМ СТЕКЛОВОЛОКНА

С. Ю. КОНОВАЛОВ, Е. Ф. КУДИНА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
viktornevsky8448039@gmail.com*

Актуальность. Реактопласты широко используются в различных отраслях промышленности благодаря своим превосходным механическим свойствам, таким как прочность, жесткость и устойчивость к износу. Однако современный уровень развития промышленности выдвигает повышенные свойства к физико-механическим свойствам новых материалов для удовлетворения конкретных требований.

Введение стекловолокна в реактопласты является эффективным способом улучшения их механических свойств. Стекловолокно обладает высокой прочностью на растяжение и жесткостью, что приводит к значительному повышению этих характеристик в композитном материале. Кроме этого, стекловолокно повышает устойчивость реактопластов к износу, обеспечивая им долговечность в условиях эксплуатации с высокими нагрузками.

Таким образом, наполнение реактопластов стекловолокном позволит разрабатывать и использовать материалы на основе реактопластов более эффективно улучшит производительность и долговечность различных изделий и конструкций [1].

Цель работы – исследование влияния введения стекловолокна на механические свойства реактопластов, такие как прочность, жесткость и устойчивость к износу, с целью повышения их качества и эффективности в промышленных и инженерных приложениях.

Основные результаты. Количество вводимого стекловолокна может варьироваться в зависимости от требуемой прочности и жесткости материала. Обычно диапазон содержания наполнителя варьируется от 20 до 70 % по объему материала [2].

Свойства композитного материала существенно зависят от содержания стекловолокна. Сравнение полученного композита со сталью показало, что он обладает более высокими механическими характеристиками и меньшим весом. Это позволяет рекомендовать использовать данный композиционный материал для изготовления строительных балок.

Механические характеристики материала на основе полиэстера, содержащего стекловолокно в соотношении 1/1, лучше, чем у стали (кроме прочности на разрыв) (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение результатов механических испытаний стальных образцов и образцов из композиционного материала с содержанием стекловолокна 50 %

Механические испытания	Образцы стали марки А36	Образцы из композиционных материалов
Прочность на разрыв, МПа	400	175,4
Ударопрочность, Дж/мм ²	0,61	1,56
Упругая деформация, %	0,11	2,71
Твердость HV	135,5	38

Таким образом:

- изучение свойств композитного материала с различным содержанием стекловолокна позволит определить оптимальный состав для достижения наиболее высоких характеристик;
- использование композитного материала для изготовления строительных балок позволит снизить вес конструкции без ущерба для прочности;
- проведение дополнительных тестов на длительную стойкость и устойчивость к внешним воздействиям может подтвердить надежность и долговечность композитных материалов;
- дальнейшие исследования по оптимизации процесса производства композитных материалов позволят снизить затраты и улучшить качество конечного изделия.

Выводы. В процессе исследования выявлено, что введение стекловолокна в композитный материал улучшает механические свойства.

Оптимальный состав с различным содержанием стекловолокна позволяет повысить прочность, жесткость и устойчивость к износу [5–7].

Применение композитного материала для изготовления строительных балок демонстрирует снижение веса конструкции без ущерба для прочности, что является важным фактором для различных промышленных и строительных приложений.

Дополнительные тесты на стойкость и устойчивость к внешним воздействиям позволяют подтвердить надежность и долговечность композитных материалов, что повышает их эффективность в различных условиях эксплуатации [3]. Важно продолжить исследования по оптимизации процесса производства композитных материалов, чтобы снизить затраты и улучшить качество получаемых изделий [4].

Список литературы

- 1 Гутников, С. И. Стекланные волокна : учеб. пособие / С. И. Гутников, Б. И. Лазорьяк, А. Н. Селезнев. – М. : МГУ, 2010. – С. 27–39.
- 2 Каблов, Е. Н. Композиты: сегодня и завтра / Е. Н. Каблов // *Металлы Евразии*. – 2015. – № 1. – С. 36–39.
- 3 Первушин, Ю. С. Проектирование и прогнозирование механических свойств однонаправленного слоя из композиционного материала : учеб. пособие / Ю. С. Первушин, В. С. Жернаков. – Уфа : Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2002. – 127 с.
- 4 Голубенкова, Л. И. Армированные полимерные материалы / Л. И. Голубенкова ; под ред. З. А. Роговина, П. М. Валецкого, М. Л. Карбера. – М. : Мир, 1968. – 244 с.
- 5 Михайлин, Ю. А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2015. – 102 с.
- 6 Кудина, Е. Ф. Защита газонефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // *Нефтяник Полесья*. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.
- 7 Акустические композиты и шумопоглощающие конструкции. Ч. 1. Экологически безопасные компоненты и нанонаполнители / С. Н. Бухаров [и др.] // *Полимерные материалы и технологии*. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 6–22.

IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF REACTOPLASTICS BY ADDING FIBERGLASS

S. YU. KONOVALOV, E. F. KUDINA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 648.6

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА

Н. Г. КОРОБ, М. А. КОМАРОВ, А. В. ПОСПЕЛОВ

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
korob@belstu.by*

Актуальность. Большинство источников водоснабжения являются естественной средой обитания для микроорганизмов. Значительная их часть уничтожается в процессе водоподготовки, однако небольшое количество может уцелеть. В настоящее время большинство дезинфицирующих средств вклю-

чают в себя хлорсодержащие растворы [1, 2]. Выявлено, что недостатками методов хлорирования являются недостаточная эффективность дезинфекции, необходимость удаления и обезвреживания использованного раствора после процедуры, высокие дозы активного хлора, высокая токсичность самого хлора и других хлорсодержащих агентов, а также высокая коррозионная активность раствора. Эти недостатки также включают продолжительность времени обработки и, следовательно, простоя сооружений, а также необходимость дехлорирования использованных растворов. Для устранения указанных недостатков предлагается применять водный раствор озона в качестве дезинфицирующего средства. Это позволит упростить процесс, повысить эффективность дезинфекции, сократить время обработки и, соответственно, время простоя скважины. Кроме того, использование озона более экологически безопасно, оказывает меньшее коррозионное воздействие на металлические части сооружений и сетей [3–5].

Цель работы – разработать экологичные и высокоэффективные способы дезинфекции сооружений водоснабжения.

Основные результаты. Разработка технологических подходов к использованию озона для дезинфекции включает в себя несколько ключевых этапов, которые необходимо учитывать при разработке таких технологий.

В работах [4, 5] показано, что озон может быть использован в качестве дезинфицирующего вещества для инактивации патогенной микрофлоры с различных поверхностей. Кроме этого, за счет меньшего времени обработки с использованием озона (15–20 мин) по сравнению с хлорсодержащими растворами (8–24 часов), использование растворенного озона будет вызывать меньшую коррозию стальных поверхностей. Таким образом, при оптимально подобранном оборудовании для генерации и подачи озона в воду, времени обработки и концентрации озона, можно достичь эффективной дезинфекции. Озон имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал, равный 2,07 В (для сравнения у Cl_2 – 1,36 В, у O_2 – 1,23 В), что является главной причиной его активности по отношению к различного рода загрязнениям воды, включая широкий спектр вирусов: (SARS-CoV-1, MCoV, HSV-1 and BoHV1, HAV, Poliovirus Type 1), bacteria (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Aerococcus* et al.), fungi (*Microsporium canis*, *Microsporium gypseum*, *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton interdigitale*, *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*). В связи с этим он является сильным окислительным и дезинфицирующим средством, применяемым при подготовке питьевой воды [1–3].

Безусловно, недостатком озонирования является отсутствие консервирующего эффекта и, следовательно, опасность последующего инфицирования объема воды. Однако для быстрой и эффективной дезинфекции поверхности озон представляет прекрасную перспективу.

Перед проектированием установки дезинфекции с использованием озона необходимо определить целевые микроорганизмы, которые требуется инак-

тивировать на поверхностях, оценить их чувствительность к озону, чтобы определить необходимые концентрации и время обработки. Проведенные исследования показывают высокую эффективность озона в сравнении с хлорсодержащими дезинфицирующими веществами.

Необходимо выбирать генератор озона, который может создавать достаточное количество озона для эффективной дезинфекции. В связи с этим генераторы, работающие на кислороде, дают большую концентрацию озона в газовой смеси на выходе. Нами установлено, что концентрации озона в воде 0,5 мг/л достаточно для проведения эффективной дезинфекции. При этом в зависимости от объемов, насыщаемой озоном воды, могут использоваться как промышленные, так и небольшие генераторы. При этом могут использоваться как стационарные системы, так и мобильные генераторы, например, для дезинфекции водозаборных скважин и т. п.

Озон относится к веществам первого класса опасности, поэтому при проектировании установок по насыщению воды озоном необходимо обеспечить максимальное его поглощение или повторное использование озоновоздушной смеси с целью максимально эффективного использования озона.

Как видно на рисунке 1, пузырьки имеют разные свойства в зависимости от их размера. В частности, крупные пузырьки, известные как макропузырьки, быстро поднимаются прямо к поверхности жидкости, где они лопаются. По сравнению с обычными большими пузырьками, микропузырьки обладают несколькими интересными особенностями, такими, как более долгое нахождение в водных растворах из-за низкой скорости подъема и большей площади границы раздела газ – жидкость и, что наиболее важно, образование гидроксильных радикалов при их коллапсе, что обеспечивает окислительную способность, и что делает растворение проще. С уменьшением размера пузырьков увеличивается массоперенос, уменьшается скорость подъема пузырьков, увеличиваются устойчивость и энергия схлопывания пузырька.

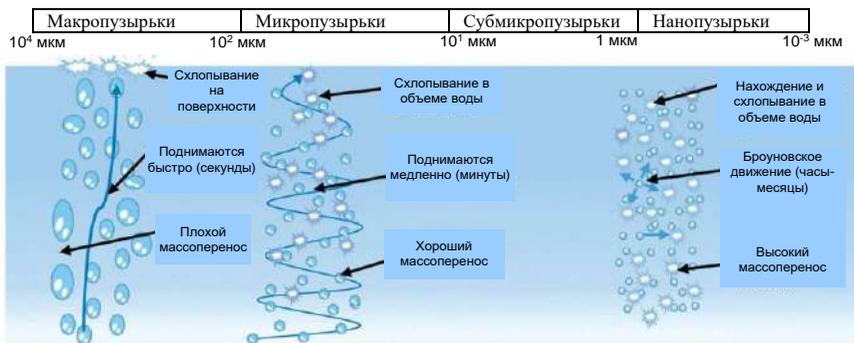


Рисунок 1 – Влияние размеров газовых пузырьков на их свойства в жидкости

Размеры пузырьков газа, образующиеся при использовании керамических аэраторов, составляют до 5 мм, и в случае поднятия роя пузырьков при размерах до 3 мм скорость всплытия составляет до 20 см/с, и при размерах 3–5 мм остается 20 см/с. В связи этим можно представить график зависимости времени поднятия пузырьков газа от высоты столба жидкости (рисунок 2). Как видно из графика, при обработке воды в скважине лимитирующим по времени процессом является время поднятия пузырьков газовой смеси диаметром менее 2,5 мм. Для пузырьков данного интервала диаметров и высоте слоя жидкости (в скважине) более 150 м будет наблюдаться полное разложение озона прежде, чем газовые пузырьки достигнут поверхности.

В таких случаях можно предложить проводить обработку в два этапа, разбив высоту столба жидкости на 2 и начиная с обработки с нижней отметки перейти на обработку на отметке выше. Например, при высоте слоя жидкости 200 м обработать скважину в фильтровой зоне, а затем на глубине 100 м от статического уровня. Таким образом, для скважин глубиной менее 150 м обработку следует производить в одну стадию. И в том, и в другом случае после прекращения подачи озона в скважину ее следует выдержать закрытой в течение не менее 20 минут для обеспечения полной деструкции озона, а также обеспечения дезинфекции скважины от статического уровня до оголовка.

Также важным аспектом является тот, что деструкция озона в воде происходит достаточно быстро. Период его полураспада зависит от температуры и составляет около 20 мин при температуре воды 20 °С.

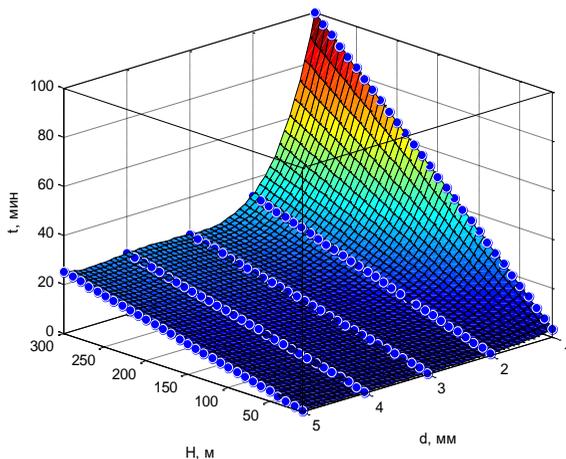


Рисунок 2 – Расчетное время поднятия пузырьков газа от их размера и высоты слоя жидкости

С точки зрения работы с веществом первого класса опасности это является положительным фактором, так как достаточно продержат его в системе около 30–40 мин, чтобы обеспечить полную деструкцию. С другой стороны, это значительно ограничивает границы его использования, например в случае дезинфекции трубопроводов. Однако известно, что подкисляя воду, на-пример углекислым газом, можно продлить период полураспада до 1–2 часов. Кроме этого, следует учитывать, что разложение газообразного озона в растворенной форме зависит от нескольких факторов – наличия неорганических ионов, природы обрабатываемой среды/поверхности, температуры и pH воды, и характеризуется сложными реакциями, возникающими спонтанно, что может значительно затруднять оценку механизма деструкции растворенного в воде озона.

Выводы. Дезинфекция поверхностей сооружений водоснабжения с использованием озона позволяет повысить эффективность дезинфекции, снизить время обработки и, соответственно, время простоя сооружений, а также значительно снизить негативное воздействие 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 [et al.] // *Water*. – 2024. – Vol. 16, no. 5. – P. 793.

2 **Рымовская, М. В.** Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву / М. В. Рымовская, В. И. Романовский // *Труды БГТУ. Химия и технология органических веществ*. – 2016. – № 4 (186). – С. 214–219.

3 Коррозия нержавеющей сталей в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2021. – № 2 (125). – С. 63–65.

4 Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. – 2022. – Т. 14. – С. 89–93.

5 Коррозия нержавеющей сталей в дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. – 2023. – Т. 1 (33). – С. 90–93.

PRACTICAL ASPECTS OF DISINFECTION OF WATER SUPPLY FACILITIES USING OZONE

N. G. KOROB., M. A. KAMAROU, A. V. PASPELAU

Belarusian State Technological University, Minsk

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК

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

Актуальность. В настоящее время в каждой стране значительное внимание уделяется решению экологических проблем, а также энерго- и ресурсосбережению. Решение данных проблем выдвигает задачу разработки новых материалов, не оказывающих негативного воздействия на окружающую среду [1].

В соответствии с отчетом государственного учреждения «Оператор вторичных материальных ресурсов» за 2023 год объем сбора вторичных материальных ресурсов (ВМР) за последние 10 лет в Республике Беларусь увеличился в 2 раза, а уровень использования коммунальных отходов возрос почти в 3 раза [2]. В связи с широким применением полимерных композиционных материалов (ПКМ), составляющих основную часть вторичного сырья, а также с учетом их специфических свойств, в частности, высокой стойкости к воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации актуальна и носит как экономический, так и экологический характер.

Цель работы – разработка ПКМ на основе полипропиленовой матрицы и диспергированного шунгита, не оказывающих негативное влияние на окружающую среду в ходе их разработки и последующего рециклинга.

Основные результаты. В качестве полимерного связующего при разработке ПКМ использовали гранулы полипропилена марки PP 8300G (EPYS30RE), в качестве наполнителя – шунгит. Шунгит – природный материал, содержащий углерод в виде фрагментов фуллереноподобных структур.

Интерес применения шунгита вызван особенностями его химического строения и структуры, природным происхождением, экологической безопасностью, а также невысокой стоимостью.

Композиции получали путем смешивания компонентов в расплаве на лабораторном одношнековом смесителе. Температура смешивания составляла 180 °С, скорость вращения ротора 70 об/мин, время смешивания 20 мин. Массовое содержание шунгита в композициях варьировали от 0,5 до 10 мас. %. При содержании шунгита более 10 мас. % в смесителе происходит агломерация дисперсных частиц шунгита.

Испытание образцов на сжатие проводилось в соответствии с ГОСТ 4651–2014 в лаборатории «Электрические и электронные системы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» на универсальной разрывной машине ТС244.31А.

Номинальную относительную деформацию при сжатии определяли по формуле

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L}{L}, \quad (1)$$

где ΔL – уменьшение расстояния между опорными площадками; L – начальное расстояние между опорными площадками.

Напряжение при сжатии определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

где F – нагрузка при сжатии; A – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

После проведения испытаний разрушенные образцы ПКМ подвергли вторичной переработке. Исследованные образцы загружали в одношнековый смеситель. Температура смешивания составляла 180 °С, скорость вращения ротора 70 об/мин, время смешивания 15 мин. Затем изготавливали образцы по вышеописанной методике.

Анализ проведенных исследований показал, что введение в качестве наполнителя диспергированного шунгита в количестве от 0,5 до 4 мас. % нецелесообразно, так как прочность композиции уменьшается. При введении дисперсного шунгита в количестве от 5 до 7 мас. %, прочность композиции увеличивается практически на 23 %. Введение наполнителя более 8 мас. % является нецелесообразным, так как не влияет на прочность формируемого материала.

После исследования влияния состава композиции на механические свойства, разрушенные образцы, наполненные диспергированным шунгитом в количестве от 5 до 7 мас. % были подвергнуты вторичной переработке для оценки изменения их свойств в процессе рециклинга.

Изучение изменения прочности при сжатии полученных образцов показало, что физико-механические характеристики разрабатываемого материала после повторной переработки ухудшились не более чем на 2 %.

Выводы. Таким образом, изготовление изделий на основе модифицированного шунгитом полипропилена позволяет получить экологически безопасный материал с повышенной прочностью, не оказывающий негативного влияния на окружающую среду в процессе жизненного цикла изделия, а также повторного использования его в качестве вторичного сырья.

Список литературы

1 Кудина, Е. Ф. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86. – DOI : 10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86.

2 Отчет ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» за 2023 год // Официальный сайт ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY SAFE COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYPROPYLENE MATRIX

E. F. KUDINA, K. V. YEFIMCHUK

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.544

АЗОТНОКИСЛОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

Д. М. КУЛИЧИК

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
dima.kulichik@gmail.ru*

Актуальность. При очистке промывных вод на станциях обезжелезивания образуются железосодержащие осадки, которые в настоящее время не используются несмотря на то, что разработан ряд направлений их переработки [1]. Данные осадки характеризуются достаточно постоянным качественным составом с преимущественным содержанием железа, что определяет возможность их полезного использования [2–5].

Цель работы – изучение закономерностей процессов выщелачивания железа из осадков станций обезжелезивания азотной кислотой.

Основные результаты. Элементный анализ отходов станций обезжелезивания показал, что содержание железа в них находится в диапазоне 45–60 %. При изменении концентрации кислоты с 30 до 20 % наблюдается увеличение степени выщелачивания с 75,5 до 84,6 %, что может объясняться увеличением объема воды, способствующим растворению большего количества нитрата железа. При концентрации кислоты около 20 % достигается максимальное растворение. Однако дальнейшее снижение концентрации кислоты до 15 % приводит к уменьшению степени выщелачивания до 81,5 %. Это может быть связано с уменьшением реакционной способности кислоты при ее разбавлении.

Построено уравнение регрессии, позволяющее определить потерю массы железосодержащего осадка (Π , %) при выщелачивании в зависимости от времени выщелачивания (T , мин) и концентрации азотной кислоты. Уравнение построено для следующего интервала значений: $T = 0 \dots 30$ мин, $C = 15 \dots 30$ %.

$$\Pi = 97,16 - 3,24C - 2,974T + 0,07457C^2 + 0,4024CT - 0,02729T^2 - 0,0001667C^3 - 0,009371C^2T + 0,0004736CT^2,$$

где C – концентрация азотной кислоты, мас. %; T – время выщелачивания, мин.

Значение коэффициента детерминации модели составляет 0,953, что является показателем высокой степени аппроксимации модели с экспериментальными данными и свидетельствует о сильной положительной связи, которая близка к функциональной.

Максимальная степень выщелачивания достигается при концентрации азотной кислоты 16–21 % и времени обработки 16–30 минут.

Выводы. Полученный прекурсор железа может быть использован для создания наноразмерных соединений железа различного назначения. Например, он может служить основой для разработки железосодержащих фотокатализаторов и каталитических материалов для органического синтеза, магнитных сорбентов, а также железосодержащих покрытий для различных материалов и других целей.

Список литературы

1 Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.

2 Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / В. И. Романовский [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2(98). – С. 80–83.

3 **Моняк, Т. М.** Магнитные сорбенты из гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод / Т. М. Моняк, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 6. – С. 50–55.

4 **Куличик, Д. М.** Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

5. Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

NITRIC ACID LEACHING OF IRON FROM SEDIMENTS OF DEIRONIZATION STATIONS

D. M. KULICHIK

Belarusian State Technological University, Minsk

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Н. Д. ЛАДОРНЫЙ

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

Актуальность. В условиях глобальных изменений климата, влияющего на жизнедеятельность растений и урожайность сельскохозяйственных культур, актуальной является оценка влияния грунтовых вод на урожайность сельскохозяйственных культур с целью дальнейшего планирования сельскохозяйственного производства.

Цель – выяснить факторы влияния качества и количества грунтовых вод на урожайность сельскохозяйственных угодий и обозначить меры по охране и регулированию использования грунтовых вод.

Главная характерная особенность грунтовых вод, отличающая их от более глубоких артезианских вод, – отсутствие напора [1].

Факторы, влияющие на уровень урожайности сельскохозяйственных культур, условно можно разделить на природно-климатические и антропогенные, т. е. связанные с воздействием человека на урожайность сельскохозяйственных культур.

Влияние грунтовых вод на растения может быть как положительным, так и отрицательным. Растения угнетаются и гибнут, если в корнеобитаемом слое накапливаются за счет грунтовых вод повышенные концентрации легкорастворимых солей и происходит заболачивание с развитием бескислородной обстановки и накоплением ядовитых закисных соединений железа и марганца.

Наблюдения за влиянием грунтовых вод на сельскохозяйственные культуры показывают, что при залегании грунтовых вод глубже 3–4 м их режим является нейтральным, индифферентным по отношению к растениям. При глубине грунтовых вод ближе 0,5–1,0 м от поверхности в большинстве случаев режим грунтовых вод оценивается как критический. Если грунтовые воды залегают на глубине от 0,5 (1,0) до 3,0 (4,0) м, то их режим, в зависимости от степени минерализации воды, может характеризоваться или как оптимальный, или как критический. Слабоминерализованные грунтовые воды (менее 0,5 г/л) в пределах этих глубин оказывают разное положительное влияние в зависимости от сельскохозяйственных растений, а воды повышенной минерализации всегда действуют негативно, в зависимости от экологических особенностей растений и степени минерализации воды.

При грунтовых водах повышенной минерализации или слабоминерализованных, но со щелочным составом, действует общее правило для всех растений. В зоне основного обитания корней не должно происходить

десуктивно-выпотное накопление солей, так как это приводит к снижению уровня плодородия.

Уровень грунтовых вод, при котором начинается угнетение и гибель растений, называется критическим. В условиях умеренно сухих и засушливых (при коэффициенте увлажнения менее 1,0) критическая ситуация возникает, главным образом, из-за высокой минерализации грунтовых вод (более 0,5–1,0 г/л). Однако в прирусловых частях пойм и среди песчаных массивов грунтовые воды могут быть пресными и их негативное влияние в этих случаях определяется только возможным фактором заболачивания. Во влажных условиях при климатическом коэффициенте увлажнения более 1,0 повышение минерализации в водах встречается редко, и их влияние на растения зависит от глубины залегания зеркала грунтовых вод [3].

Основные результаты. Таким образом, целесообразнее в местах большого скопления грунтовых вод устраивать лесопосадки с быстрорастущими деревьями (ива, верба, тополь и др.), которые в дальнейшем после вырубki могут быть использованы в виде топливных гранул и брикетов в твердых топливных котлах для получения тепловой и электрической энергии в здании [3].

Охрана и регулирование использования грунтовых вод являются важными задачами для обеспечения устойчивого развития и сохранения экосистем. Меры, которые могут быть приняты, следующие:

1 Контроль загрязнений.

Необходимо предотвращать попадание вредных веществ, таких как химические удобрения, пестициды, нефтепродукты и промышленные отходы, в грунтовые воды.

2 Эффективное использование воды.

Может включать внедрение технологий, которые позволяют сократить потребление воды в промышленности, сельском хозяйстве и бытовых целях.

3 Устойчивое управление водными ресурсами.

Оно включает в себя разработку и реализацию планов управления водными ресурсами, которые учитывают потребности различных секторов, сохраняют экологическое равновесие и обеспечивают устойчивое использование воды.

Выводы. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что качество и количество грунтовых вод играют ключевую роль в формировании урожайности сельскохозяйственных угодий. Поэтому необходимо внимательно изучать их состояние и принимать меры по оптимизации водоснабжения в сельском хозяйстве.

Список литературы

1 Грунтовые воды [Электронный ресурс] // Академик. Большая советская энциклопедия. – Режим доступа : <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/81710/Грунтовые>. – Дата доступа : 08.03.2024.

2 Грунтовые воды [Электронный ресурс] // Осушение. Организация, занимающаяся осушением. – Режим доступа : <https://осушение.pf/articles/proiskhozhdeniepodzemnykh-vod/>. – Дата доступа : 08.03.2024.

3 Экологическая значимость грунтовых вод [Электронный ресурс] // Zlib. Электронная библиотека. – Режим доступа : https://ozlib.com/1043563/agro/gruntovye_vody_ekologicheskaya_znachimost. – Дата доступа : 08.03.2024.

THE INFLUENCE OF GROUNDWATER QUALITY AND QUANTITY ON AGRICULTURAL LAND PRODUCTIVITY

N. D. LADORNY

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 621.357:543.062

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ХРОМА В ЭЛЕКТРОЛИТАХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ВАНН

Е. В. ЛАШКИНА

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

Актуальность. Гальванотехника получила широкое распространение в различных отраслях машино- и приборостроения, предусматривающее наиболее прогрессивные и выгодные составы электролитов и режимы электролиза для получения покрытий наиболее известными металлами и сплавами, а также технические характеристики оборудования и приборов, материалы по нейтрализации и регенерации сточных вод и обработанных электролитов, контролю свойств получаемых гальванопокрытий.

Развитие гальванотехники предполагает автоматизацию и механизацию процессов нанесения покрытий, снижение вредного воздействия гальванического производства на окружающую среду путем создания малоотходных, экологически чистых технологий [1].

Соединения хрома (III) и (VI) губительно действуют на флору и фауну водоемов и тем самым тормозят процессы самоочищения. Например, при концентрации хрома (VI) равной 0,1 мг/л угнетается нитрификация сточных вод; при концентрации 0,3 мг/л – замедляются процессы самоочищения водоемов [2]. Наиболее вредное действие оказывают хроматы и бихроматы калия и натрия, хромовый ангидрид и сульфат хрома. Хром оказывает токсичное действие на микрофлору сооружений биологической очистки сточных вод при 2–5 мг/л, вредно действует на очистные сооружения.

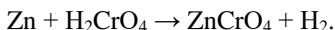
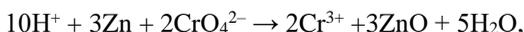
Соединения хрома (VI) в водоемах очень стабильны, в анаэробных условиях хром (VI) переходит в хром (III), соединения которого выпадают в

осадок. При щелочной реакции осаждение происходит быстрее, и эта особенность используется при очистке сточных вод от хрома. При низкой температуре осаждение соединений хрома (III) замедляется, поэтому отстойники должны устраиваться в отапливаемых помещениях, иначе зимой осаждение происходить не будет [3].

Цель работы – количественное определение ионов хрома в гальванических ваннах металлургического предприятия.

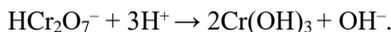
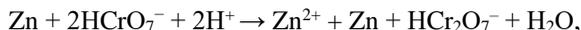
Основные результаты. Исходя из технологической инструкции на приготовление, эксплуатацию, корректирование и проведение химического анализа электролитов процесс электрохимического хромирования осуществлялся на механизированной автооператорной подвесной линии МЛГ-372. Химический состав ванн (№ 1, 2): оксид хрома (VI) – 189–315 кг, серная кислота – 1,89–3,15 кг, хромин – 0,63–2,52 кг, плотность тока – 20–60 А/дм², напряжение – 9–12 В, $t = 45 \dots 55$ °С, скорость осаждения равна 0,2–0,6 мкм/мин.

Хромирование цинковых покрытий происходит по приведенным далее принципам. Механизм образования пассивной пленки сводится к следующему. В кислых хроматных растворах на поверхности цинка протекает две реакции:

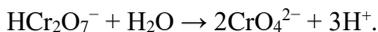


Таким образом, пассивная пленка состоит из хрома и оксида цинка, а хром (III) находится в растворе.

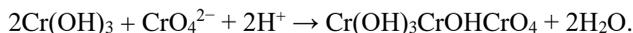
В концентрированных бихроматных растворах (100–300 г/л NaCr_2O_7 и 5–15 г/л H_2SO_4) образуются пленки, в состав которых входит Cr^{3+} . При этом пассивная пленка образуется по реакции



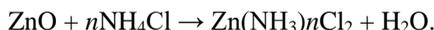
В результате раствор около поверхности детали подщелачивается и в нем образуется хромат:



и осаждается антихроматная пленка:



В таких пленках содержится $ZnCrO_4$ или $ZnCr_2O_7$. Их адгезия к цинку настолько велика, что пленки не разрушаются даже при штамповке оцинкованных заготовок. Компонентом электролита является комплексная соль $[Zn(NH_3)_nCl_2]$, которая образуется при растворении цинка в избытке NH_4Cl ($n = 2$ в кислой среде, $n = 4$ в щелочной среде):



В результате диссоциации образуется катион $[Zn(NH_3)_n]^{2+}$, устойчивый во всех средах:



Для определения содержания хрома в электролитах гальванических ванн пробу электролита брали стеклянной трубкой, которую опускали в четыре места ванны на разные глубины (горизонты). Содержимое трубки переносили в коническую колбу емкостью 1 л, предварительно ополоснув ее исследуемым электролитом, и перемешивали.

Ионы хрома определяли объемным методом в присутствии соли Мора ($FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$) до перехода желтой окраски в изумрудную, что свидетельствует о полном восстановлении Cr^{6+} . Избыток соли Мора титровали 0,1 н раствором $KMnO_4$ до появления нежно-сиреневого раствора.

В норме содержание оксида хрома (VI) составляет 150–250 г/л. В таблице 1 приведено среднее содержание оксида хрома (VI) за июль – сентябрь 2023 г.

Таблица 1 – Среднее содержание оксида хрома (VI) (г/л) в электролитах гальванических ванн

Время проведения анализа	Оксид хрома (VI), г/л	
	Ванна № 1	Ванна № 2
Июль	176,80	182,90
Август	157,75	170,25
Сентябрь	215,03	178,50
Октябрь	201,75	203,01
Ноябрь	206,25	190,62
Декабрь	203,02	187,13

Выводы. Проведено аналитическое определение ионов хрома в растворах электролитов гальванических ванн металлургического предприятия. Изучены процессы хромирования, структура и механизм образования покрытий. Содержание оксида хрома (VI) в электролитах гальванических ванн оставалось в норме. Значение разницы по максимальным данным ванн составило 8,75 г/л. Среднее значение разницы между ваннами составило 0,31 г/л.

Список литературы

- 1 **Жилинский, В. В.** Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка / В. В. Жилинский, О. А. Слесаренко. – Минск : БГТУ, 2014. – 86 с.
- 2 Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / О. А. Давыдова [и др.]; под науч. ред. Е. С. Климова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 168 с.
- 3 Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств / Ю. П. Перельгин [и др.]. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 80 с.

DETERMINATION OF CHROMIUM IONS IN ELECTROLYTES OF GALVANIC BATHS

E. V. LASHKINA

Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 628.544

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Т. М. МОНЯК

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

Актуальность. Проблема переработки отходов гальванических производств объясняется их относительно небольшими объемами образования и разнообразием по составу [1].

Цель работы – проанализировать существующие направления использования отходов гальванических производств и новые перспективные направления.

Основные результаты. В зависимости от состава гальванические шламы относятся к отходам 1–3 классов опасности. В зависимости от основного металлкомпонента гальванические отходы можно разделять на группы: железо-, хром-, цинк-, свинец-, никель-, медьсодержащие гальвано-шламы [1, 2]. В настоящее время проработаны следующие направления применения отходов гальванических производств: использование при получении строительных материалов, добавки в виде порошков к различным смесям, извлечение металлов из отходов [3, 4]. Из анализа литературных источников можно сделать вывод, что для обеспечения использования отходов гальванических производств в качестве вторичного сырья возможно использование новых технологий. Например, растворы кислотного выщелачивания металлов могут быть использованы в качестве прекурсоров для синтеза нано- и микроразмерных материалов различного функционального назначения.

Наличие в составе отходов гальваношламов железа и никеля обеспечит магнитные свойства получаемых материалов, что позволит эффективно выделять их из обрабатываемых сред. Так, предварительные исследования около 60 образцов показали, что наибольшую нефтеемкость имеют образцы, синтезированные при использовании в качестве восстановителя глицина. Нефтеемкость образцов составила от 2 до 7 г/г. Худшие результаты по нефтеемкости характерны для образцов, синтезированных с использованием гекса-метилентетрамина в качестве восстановителя. Наличие в первую очередь цинка обеспечит высокие фотокаталитические свойства синтезируемых материалов. При этом в совокупности с железом (феррит цинка) фотокаталитическая активность только возрастет. Также очень широко распространено применение железосодержащих катализаторов в органическом синтезе, например, в процессе Беруса (гидрирование) используются катализаторы на основе оксида железа, олова и молибдена, а также процесса дегидрирования (оксид железа), синтеза аммиака из водорода и азота (оксид железа), разложение спиртов и др. Установлено, что в некоторых условиях синтеза методом экзотермического горения в растворах возможно образование металлов, а также полиметаллических структур и металл-графеновых структур. Сырьем для графена служит используемый органический восстановитель, а сам металл – катализатором. Таким образом, полученные наноструктурированные материалы на основе отходов гальванических производств могут найти применение в каталитическом органическом синтезе, технологии очистки сточных вод в качестве фотокатализаторов или магнитных сорбентов нефтепродуктов, либо применяться в качестве пигментов. Получаемые по данной технологии материалы характеризуются высокой удельной поверхностью и экологичностью процесса синтеза в сравнении с аналогами.

Выводы. Использование новых, более экологичных методов по переработке отходов гальваношламов позволит значительно расширить спектр направлений их вторичного использования, например, для очистки сточных вод в качестве каталитических материалов и сорбентов.

Список литературы

- 1 **Моняк, Т. М.** Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Моняк, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 96–100.
- 2 Элементный состав и фазовый состав гальванических шламов, осадков очистных сооружений машиностроительных и приборостроительных предприятий Республики Беларусь / В. Н. Марцуль [и др.]. // Природные ресурсы. – 2013. – № 1. – С. 113–118.
- 3 **Куличик, Д. М.** Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий //

Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

4 Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин [и др.]. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

5 Состав гальваношламов и осадков очистных сооружений гальванического производства / В. Н. Марцуль [и др.]. // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления : материалы Междунар. науч.-техн. конф., БГТУ, Минск, 23–24 ноября 2011 г. / Белорус. гос. техн. ун-т ; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2011. – С. 254–260.

PROMISING DIRECTIONS FOR USING GALVANIC PRODUCTION WASTE

T. M. MONAK

Polotsk State University, Novopolotsk, Republic of Belarus

УДК 632.153

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

Е. А. МОРГАЧЕВА, И. Н. ПУГАЧЕВА, С. С. НИКУЛИН,

Л. В. МОЛОКАНОВА

*Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Российская Федерация
eco-inna@yandex.ru*

Актуальность. В настоящее время одной из динамически развивающихся отраслей экономики является химическая промышленность. Во многих промышленных городах присутствуют крупные производства, относящиеся к химической промышленности и являющиеся градообразующими. Однако такое присутствие в черте города сопряжено с возникновением ряда экологических проблем. Так, практически на каждом промышленном производстве образуются выбросы, сбросы или твердые отходы. Но зачастую несмотря на существующие системы очистки, имеющиеся на территориях промышленных предприятий, наблюдается негативное влияние на окружающую среду. Решение этих проблем основано на регулярном усовершенствовании существующих технологий очистки и внедрении новых технологических решений в производственный процесс. В то же время перспективным может являться не только модернизация технологий, направленных на сохранение окружающей среды, существующих в рамках промышленного производства, но и внедрение новых технологий в сам процесс производства, с целью повышения его эко-

гичности [1]. Одним из таких градообразующих предприятий г. Воронежа является производство синтетических каучуков.

Цель работы – изучение возможности повышения экологичности производства синтетических каучуков посредством применения перспективных коагулирующих агентов.

Основные результаты. Технология получения синтетических каучуков базируется на нескольких стадиях, одной из которых является стадия коагуляции. На этой стадии происходит процесс выделения каучука из латекса в присутствии коагулирующего и подкисляющего агентов. Протекание этого процесса сопровождается высокими расходами коагулирующего агента, что в дальнейшем приводит к образованию больших объемов загрязненных сточных вод. Снижение объемов образующихся сточных вод возможно за счет применения новых коагулянтов, обладающих высокой коагулирующей способностью и обеспечивающих выделение каучуков из латексов с малым расходом. Такими коагулянтами могут служить неорганические соли металлов (лития, кальция, магния, алюминия). Необходимо отметить, что применение органических коагулянтов, например ВПК-402, также приводит к снижению их расхода, но и этот коагулянт имеет свои недостатки. Поскольку он обладает ярко выраженными антисептическими свойствами, это негативно сказывается на процессе очистки сточных вод методом биологической очистки. Для оценки влияния неорганических солей металлов на процесс коагуляции был использован латекс эмульсионного каучука СКМС-30 АРК, в качестве подкисляющего агента применяли водный раствор серной кислоты (2 % мас.), в качестве коагулянтов – водные растворы натрия (24 % мас.) – классический коагулянт, (10 % мас.) хлорида лития, кальция, магния и алюминия. Выявлено, что в случае применения в качестве коагулянта хлорида натрия расход, необходимый для полной коагуляции, составлял 180–200 кг/т каучука. В случае применения хлорида лития – 180–190 кг/т каучука, кальция и магния – 20–25 кг/т каучука, а хлорида алюминия – 8–9 кг/т каучука.

Выводы. Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что наиболее перспективными являются коагулирующие агенты на основе солей алюминия, позволяющие снизить их расходную норму в десятки раз по сравнению с наиболее применяемым хлоридом натрия. Применение таких коагулянтов позволит повысить экологичность производства получения синтетических каучуков, и улучшит экологическую обстановку за счет уменьшения загрязнения водоемов сточными водами.

Список литературы

1 Пугачева, И. Н. Композиционные материалы на основе эмульсионных каучуков / И. Н. Пугачева, С. С. Никулин. – Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 219 с.

PROMISING APPROACHES TO SOLVING ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SYNTHETIC RUBBER PRODUCTION

E. A. MORGACHEVA, I. N. PUGACHEVA, S. S. NIKULIN, L. V. MOLOKANOVA
Voronezh State University of Engineering Technologies, Russian Federation

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ ИЗ ОСАДКОВ КОАГУЛЯЦИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ

М. С. ОСИНИН

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
alesinm@gmail.ru*

Актуальность. В нашей стране осадки коагуляции не используются. Однако в литературе рассмотрены различные возможные направления их использования. Для осадков коагуляции такими направлениями могут быть изготовление извести, добавка в почву для ее подщелачивания, получение цемента. В связи с этим для данных отходов преимущественно и проработаны направления их использования при получении различных строительных материалов. В то же время существует ряд публикаций, посвященных исследованию процессов получения коагулянтов из данных отходов. В данном направлении важнейшей стадией является кислотное выщелачивание.

Цель работы – изучение закономерностей процессов выщелачивания железа и алюминия из осадков коагуляции соляной кислотой.

Основные результаты. Содержание железа в использованном осадке коагуляции составляло 7,42 мас.% и алюминия 16,74 мас.%. Максимальная эффективность процесса выщелачивания достигается при концентрации серной кислоты 9–13 % и времени обработки не менее 50 минут.

На основе полученной модели было построено уравнение регрессии, позволяющее определить потерю массы осадка коагуляции (Π , %) при выщелачивании в зависимости от времени выщелачивания (T , мин) и концентрации серной кислоты (C , %). Уравнение построено для следующего интервала значений: $T = 0 \dots 60$ мин, $C = 5 \dots 35$ %.

$$\Pi = -28,24 + 13,95C + 2,74T - 0,8568C^2 + 0,0328CT - 0,0861T^2 + \\ + 0,0149C^3 - 0,0004C^2T - 0,0003CT^2 + 0,0008T^3,$$

где C – концентрация серной кислоты, мас.%; T – время выщелачивания, мин.

Значение коэффициента детерминации модели составляет 0,959, что является показателем высокой степени аппроксимации модели с экспериментальными данными и свидетельствует о сильной положительной связи, которая близка к функциональной.

Выводы. Полученные результаты исследований могут быть важны для разработки технологий вторичного использования осадков коагуляции из природных вод, в частности, для получения коагулянтов.

Остаток после выщелачивания представляет собой гипс с незначительными примесями ионов кремния и железа. Это открывает перспективы для использования данного остатка в различных отраслях, например, в строительстве, производстве удобрений или других технологических процессах.

Список литературы

1 Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.

2 Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / В. И. Романовский [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2 (98). – С. 80–83.

3 **Романовский, В. И.** Магнитные сорбенты из гальванических шламов для очистки нефтесодержащих сточных вод / В. И. Романовский, Т. М. Монок // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 6. – С. 50–55.

4 **Куличик, Д. М.** Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

5 Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

LEACHING OF IRON AND ALUMINIUM FROM COAGULATION SEDIMENTS OF SURFACE WATER TREATMENT WITH SULFURIC ACID

M. S. OSININ

Belarusian National Technical University, Minsk

УДК 37.091.33:556.5:551.50:379.83:556.024(476.1-21Воложин)

МЕТЕОСТАНЦИЯ «ВОЛОЖИН» КАК БАЗА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕБНЫХ ШКОЛЬНЫХ ЭКСКУРСИЙ ПО ГИДРОЛОГИИ И МЕТЕОРОЛОГИИ

Г. Л. ОСИПЕНКО, А. Д. КРОТ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Республика Беларусь

osipenko.galina@mail.ru

Актуальность. Метеорологические наблюдения на станции «Воложин» филиала «Минскоблгидромет» начаты 26 июля 1944 года. Станция работает по программе станций II разряда.

На современном этапе на метеорологической станции «Воложин» проводятся следующие наблюдения: гидрологические, метеорологические, агрометеорологические, радиационный мониторинг. Данная станция может быть использована в качестве учебной базы для школьников при изучении вопросов гидрологии, метеорологии на уроках географии в школе. Практические вопросы данных тем более результативно усваиваются учащимися в непосредственных наблюдениях в естественных условиях, организованных при помощи экскурсий.

Целью работы является разработка экотропы «Путь природы», которая включает в себя 8 станций, позволяющих наблюдать за работой метеостанции. Экологическая тропа – это специально оборудованный маршрут, проходящий через различные экологические системы и другие научные и исторические объекты для изучения и ознакомления. Организация экологической тропы, а также экологических маршрутов – одна из форм воспитания экологического мышления и мировоззрения [1].

Наша экологическая тропа включает в себя обзорные точки, позволяющие наблюдать за работой метеостанции (рисунок 1).



Рисунок 1 – Маршрут экотропы «Путь природы»

Станция 1 – Метеорологическая станция 2 разряда «Воложин» филиала «Минскоблгидромет». 2 июня 1965 года станция перенесена на 50 м к западу от прежнего местоположения. До настоящего времени местоположение станции не изменилось. В 100 м от станции 1 находится метеорологическая площадка размером 20×16 м, на которой находятся все последующие обзорные точки экотропы.

Станция 2 – Автоматизированная станция *Vaisala*. Эта станция оснащена флюгером и датчиками воздушных параметров, что позволяет автоматически

измерять скорость и направление ветра, а также температуру и влажность в разных высотах .

Станция 3 – Анеморумбометр. Это измерительный прибор, предназначенный для измерения средней за 10 мин, мгновенной и максимальной скорости ветра и определения осреднённого направления ветра. Анеморумбометр относится к дистанционному устройству и на сети метеорологических станций является основным средством для измерения характеристик ветра. Станция измеряет скорость и направление ветра на разной высоте над землей, что помогает понять атмосферные потоки.

Станция 4 – Гололедный станок. Прибор применяется для наблюдений за отложениями льда (гололедом), изморозью и отложениями мокрого снега на проводах. Наблюдения включают количественное определение веса и размеров отложений, их характера и структуры. Мониторинг условия образования гололедицы очень важен для безопасности движения и предупреждения острых погодных явлений.

Станция 5 – Психрометрическая будка. Будка особой конструкции, в которой помещают на метеорологических станциях психрометрическую установку. Назначение психрометрической будки – предохранять находящиеся внутри нее приборы от действия солнечной радиации, излучения земной поверхности и окружающих предметов, а также от осадков и ветра. Здесь измеряют температура воздуха и влажность с использованием психрометра, что важно для анализа климатических условий.

Станция 6 – Осадкомер. Прибор предназначен для сбора в любое время года и последующего измерения количества и интенсивности осадков, что помогает в мониторинге осадков и прогнозировании потенциальных наводнений.

Станция 7 – Оголенный участок для установки напочвенных и коленчатых термометров Савинова. Эти приборы используются для измерения температуры почвы на разных глубинах. Установка таких термометров помогает в мониторинге климатических изменений и исследованиях в области агрономии, экологии и геологии.

Станция 8 – Подставка для дозиметра. Здесь устанавливается дозиметр для мониторинга уровня радиации, который обеспечит безопасность и контроль за радиационными показателями в данной области.

Выводы. Использование в учебном процессе учреждений образования на экскурсиях различных маршрутов, экологических троп делает более продуктивными этапы обучения дисциплинам, активизируя у обучаемых интерес к усвоению материала программы. Методические аспекты проведения экскурсий, с учетом возрастных особенностей учащихся, сохраняют свои свойства в условиях проведения экскурсий, способствуя мотивации, формируют положительное отношение и интерес к предмету, стимулируют ответную деятельность учащихся.

Список литературы

1 **Осипенко, Г. Л.** Экологическая тропа – важная часть экологического образования у младших школьников / Г. Л. Осипенко, А. Д. Карпова // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды [Электронный ресурс] : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 2–3 июня 2022 года) / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : А. П. Гусев (гл. ред.) [и др.]. – Электрон. текст. данные (11,0 Мб). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – С. 327–329. – Режим доступа : <http://conference.gsu.by>.

WEATHER STATION «VOLOZHIN» AS A BASE FOR EDUCATIONAL SCHOOL EXCURSIONS IN HYDROLOGY AND METEOROLOGY

G. L. OSIPENKO, A. D. KROT

Gomel State University named after F. Skorina, Republic of Belaru

УДК 648.6

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КРАСИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

М. В. ПИЛИПЕНКО

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь
marinaby@yandex.ru*

Актуальность. Проведенные нами ранее исследования по сравнительному анализу очистки сточных вод от красителей озонированием, сорбцией, УФ-обработкой и фотокаталитическим окислением показали, что наиболее эффективными способами являются озонирование [1–5] и использование фотокатализаторов.

Цель работы – оценить эффективность использования различных технологий очистки сточных вод от красителей по ряду технико-экономических показателей.

Методика. В качестве альтернативных вариантов очистки сточных вод красильно-отделочных производств рассмотрим четыре:

- установка сорбционного блока доочистки сточных вод после основного варианта электрокоагуляции и флотации (вариант 1);
- комбинирование флотации с озонированием после основного варианта электрокоагуляции (вариант 2);
- комбинирование ультразвуковой обработки и флотации с озонированием после основного варианта электрокоагуляции (вариант 3);

– комбинирование флотации с озонированием с последующей фотокаталитической очисткой сточных вод красильно-отделочных производств (вариант 4).

Оценочная максимальная эффективность очистки сточных вод каждого из рассмотренных вариантов:

- вариант 0 – 80 %;
- вариант 1 – 95 %;
- вариант 2 – 97 %;
- вариант 3 – 99 %;
- вариант 4 – 99,9 %.

В расчетах приняли (в расценках на 2023 год):

- ставка дисконтирования – 0,1;
- количество рабочих дней в году – 256;
- расход сточных вод – 2000 м³/сут (примем 500 тыс. м³/год), из них 10 % расходуется на процесс крашения и 90 % на промывку;
- исходный расход воды на разбавление перед сбросом 1:3;
- стоимость забора и подготовки свежей воды составляет 3,3 руб./м³;
- стоимость забора свежей воды составляет 0,76 руб./м³;
- платежи за сброс сточных вод в канализацию составляют 0,66 руб./м³;
- глубина расчета – 10 лет;
- планируемые сроки строительства составляют 1 год.

Основные результаты. Экологический результат природоохранного мероприятия (ПОМ) выражается: 1) во вовлечении в хозяйственный оборот производственных отходов (вариант 1 – отработанные ионообменные смолы; вариант 4 – осадки станций обезжелезивания для приготовления магнитных фотокатализаторов), которые до настоящего времени не использовались в Республике Беларусь; 2) снижении платежей за сброс сточных вод за счет сокращения объема сброса путем сокращения использования воды на разбавление и соответственно сокращения забора свежей воды.

Очистка сточных вод красильно-отделочных производств является экономически эффективной за счет значительных объемов используемой воды. Варианты 1 и 2 характеризуются меньшими капитальными затратами в сравнении с вариантами 3 и 4. Основную долю затрат для варианта 1 составляют затраты на сорбционный материал. В общей структуре текущих затрат по данному варианту они составляют около 72 %. Наименьшие текущие затраты характерны для варианта 2. Положительными эффектами в рассматриваемых вариантах является снижение расхода воды, используемой на разбавление очищенных сточных вод перед сбросом в сеть городской канализации путем увеличения глубины очистки сточных вод. За счет этого вариант 4 имеет самый большой совокупный годовой эффект.

В результате расчета получили, что общая экономическая эффективность для всех вариантов ПОМ составляет 0,544–1,317 руб./руб., простой срок окупаемости составит 0,76–1,84 года, что удовлетворяет условию эффективности капитальных вложений.

Выводы. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что внедрение рассматриваемых вариантов очистки сточных вод красильно-отделочных производств является экономически эффективным. Таким образом, рассматриваемые природоохранные мероприятия являются как экологически, так и экономически выгодными.

Список литературы

1 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // Вода Magazine. – 2016. – № 12(112). – С. 54–58.

2 **Пилипенко, М. В.** Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2022. – № 1(127). – С. 42–44.

3 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки отходов в жидких средах / О. А. Петров, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2(92). – С. 82–84.

4 **Романовский, В. И.** Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцель // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.

5 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О. А. Петров, В. И. Романовский // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT OF DYING PRODUCTIONS

M. V. PILIPENKO

Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources, Minsk, Republic of Belarus

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

М. В. ПИЛИПЕНКО

Центральный научно-исследовательский институт комплексного
использования водных ресурсов, г. Минск, Республика Беларусь
marinaby@yandex.ru

Актуальность. Сложность очистки окрашенных сточных вод красильно-отделочных производств связана с тем, что органические загрязнения (красители, ПАВ и др.) являются биохимически стойкими соединениями и находятся в стоках главным образом в растворенном состоянии. Для обесцвечивания красителей и минерализации других органических загрязнений требуется глубокая деструкция их молекул, так как они имеют достаточно высокую молекулярную массу [1–5]. После предварительной очистки на локальных очистных сооружениях практически никогда не достигаются нормы сброса по химическому потреблению кислорода (ХПК), для чего сточные воды часто разбавляют чистой водой.

Цель работы – провести анализ публикаций по очистке сточных вод от красителей для выбора наиболее перспективных направлений.

Основные результаты. Анализируя существующие публикации, распределение методов очистки сточных вод красильно-отделочных производств можно представить следующим образом (рисунок 1).

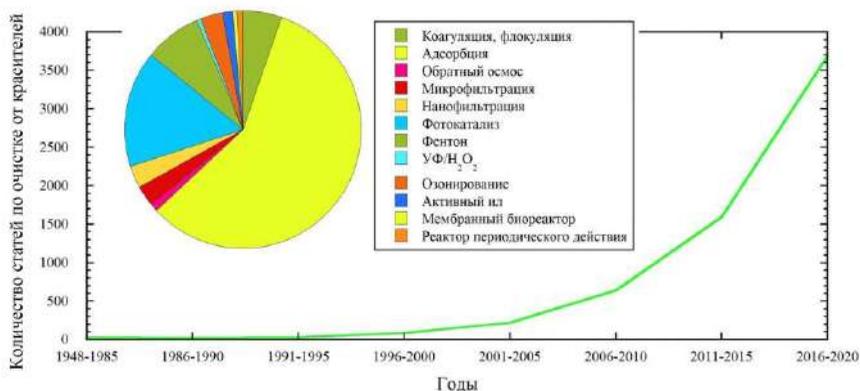


Рисунок 1 – Динамика публикаций по очистке сточных вод от красителей и анализ методов

Как видно из анализа публикационной активности (рисунок 1), наиболее распространенным методом в публикациях является адсорбция (57,7 %). Среди адсорбционных методов наибольшее распространение получили исследования сорбции красителей на активированном угле (23,9 %), нанокомпозитах (15,1 %), полимерных материалах (25 %) (рисунок 2).

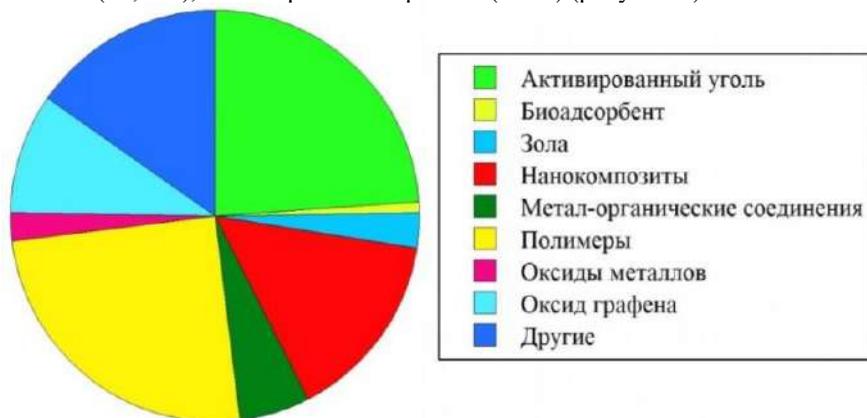


Рисунок 2 – Структура сорбционных методов очистки

Для сорбции органических веществ, включая красители, широко используют различные угли. Часто угли дополнительно активируют для увеличения удельной поверхности и формирования функциональных групп на их поверхности для увеличения эффективности процесса сорбции. В качестве сорбционных материалов интересно использование магнитных материалов. Показано, что такие материалы имеют большое число активных центров на поверхности, что значительно улучшает сорбционные свойства, позволяют легче сепарировать их из очищенных сред магнитным полем.

Процесс сорбции красителей происходит за счет электростатического взаимодействия, π - π взаимодействия, сил Ван-дер-Ваальса, водородной связи, кислотно-щелочных реакций, гидрофобного взаимодействия, ионного обмена. Критическими факторами, влияющими на сорбцию, являются начальная концентрация красителя, pH, температура, доза адсорбента, время.

Выводы. В качестве перспективных на сегодняшний день направлений совершенствования технологий очистки сточных вод от красителей могут рассматриваться следующие: 1) раздельное отведение и очистка/доочистка отдельных потоков сточных вод на локальных очистных сооружениях; 2) сорбция как самый распространенный в изучении в научной литературе с акцентом на возможности использования отходов в качестве сорбционных материалов; 3) использование перспективных методов окисления.

Список литературы

1 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // Вода Magazine. – 2016. – № 12 (112). – С. 54–58.

2 **Пилипенко, М. В.** Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2022. – № 1 (127). – С. 42–44.

3 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки отходов в жидких средах / О. А. Петров, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 82–84.

4 **Романовский, В. И.** Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.

5 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О. А. Петров, В. И. Романовский // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.

ANALYSIS OF METHODS OF WASTEWATER TREATMENT FROM DYES

M. V. PILIPENKO

Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resource, Minsk, Republic of Belarus

УДК 504.4

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

*Л. Н. СТУДЕНИКИНА, А. А. МЕЛЬНИКОВ,
И. В. КОЛЕНКО, В. Е. УГЛОВА*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Российская Федерация
lubov-churkina@yandex.ru*

Актуальность. В последние годы рынок водорастворимой пластиковой упаковки демонстрирует значительный рост и, как ожидается, будет продолжать расширяться при среднегодовом темпе роста от 5 до 10 % по оценке различных экспертов.

Основным полимером для производства водорастворимой упаковки является поливиниловый спирт (ПВС). Область применения ПВС весьма обширна: загуститель, эмульгатор, гидрогель, водорастворимые плёнки и др. До настоящего времени ПВС не нашел широкого применения в упаковочной индустрии и с/х из-за специфических свойств и высокой стоимости, поэтому его модификация и компаундирование в разрезе данной сферы применения являются широкой областью исследования.

Компаундирование ПВС и полисахаридов (ПС) позволяет снизить себестоимость материала и регулировать свойства [1]. Влияние природы наполнителя и марки ПВС на поведение композита в водной среде требует изучения для прогнозирования свойств материала при эксплуатации и утилизации.

Цель работы – изучение особенностей поведения композитных материалов на основе поливинилового спирта и полисахаридов в водной среде.

Объектами исследования были 16 образцов композитных материалов на основе ПВС марок 17-88 и 17-99, содержащих 25 и 50 мас. % наполнителя (ПС): крахмала (КР), микроцеллюлозы (МЦ), декстрина (ДЕК) и клетчатки кофейного зерна (КОФ).

В задачи исследования входило определение температуры и времени растворения образцов в воде, оценка прочностных показателей композитов в сухом и паронасыщенном / водонасыщенном состоянии.

Методы исследования: ГОСТ 11262-2017.

Основные результаты. Результаты оценки исследуемых параметров (температуры и времени растворения в воде, прочности при разрыве (δ , МПа), относительного удлинения при разрыве (l , %) в сухом и влагонасыщенном состоянии) композитных материалов сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Показатели композитных материалов в зависимости от природы ПС для образцов на основе ПВС 17-88

Содержание ПС, мас.%	Вид ПС	Параметры растворения t , °С/время, мин	Прочностные показатели			
			в сухом состоянии		в паронасыщенном состоянии	
			δ , МПа	l , %	δ , МПа	l , %
25	КР	20 / 8	23,3	8,9	1,2	393,3
	МЦ	20 / 5	6,2	7,1	0,7	51,2
	ДЕК	20 / 4	44,5	9,6	2,0	241,1
	КОФ	20 / 5	8,8	8,1	0,7	324,6
50	КР	20 / 12	19,1	7,1	0,4	68,9
	МЦ	20 / 4	5,5	8,2	0,2	25,9
	ДЕК	20 / 4	18,2	15,2	2,5	249,6
	КОФ	20 / 6	2,7	9,6	0,3	164,2

Таблица 2 – Показатели композитных материалов в зависимости от природы ПС для образцов на основе ПВС 17-99

Содержание ПС, мас. %	Вид ПС	Параметры растворения $t, ^\circ\text{C}/\text{время, мин}$	Прочностные показатели			
			в сухом состоянии		в водонасыщенном состоянии	
			$\delta, \text{МПа}$	l, %	$\delta, \text{МПа}$	l, %
25	КР	75/ 6	28,4	9,1	7,5	353,7
	МЦ	60/ 4	16,4	8,7	3,3	39,9
	ДЕК	60 / 4	41,0	11,5	9,7	357,1
	КОФ	60 / 4	13,7	10,5	3,2	191,6
50	КР	50 / 3	15,5	8,5	1,9	91,8
	МЦ	60 / 4	11,1	6,7	1,8	21,8
	ДЕК	50 / 1	34,0	9,8	5,7	363,8
	КОФ	50 / 2	10,4	11,1	0,8	126,9

Основным фактором, оказывающим влияние на поведение композитов в водной среде, является размер частиц наполнителя и его взаимодействие с водой. Среди исследуемых ПС размер частиц убывает в ряду КОФ – МЦ – КР – ДЕК, при этом параметры прочности в сухом и влагонасыщенном состоянии имеют схожие значения для группы наполнителей с частицами размером более 10 мкм (КОФ, МЦ) и группы наполнителей с частицами менее 10 мкм (КР, ДЕК).

Выводы. Компаундирование ПВС с декстрином обеспечивает максимальную прочность во влагонасыщенном состоянии, также довольно высокие прочностные показатели демонстрируют крахмалонаполненные образцы при содержании ПС 25 мас.%; растворимость образцов ПВС, наполненного различными ПС, снижается в ряду ДЕК – КОФ – МЦ – КР; свойства композитов коррелируются с размерами частиц наполнителя, что согласуется с известными данными [2].

Список литературы

- 1 Особенности гидролитической и ферментативной деструкции материалов на основе поливинилового спирта / Л. Н. Студенкина [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2022. – № 4 (86). – С. 34–44.
- 2 Влияние природы наполнителя на свойства композита «поливиниловый спирт: полисахарид» / Л. Н. Студенкина [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 111–118.

FEATURES OF THE BEHAVIOR OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

L. N. STUDENIKINA, A. A. MELNIKOV, I. V. KOLENKO, V. E. UGLOVA
Voronezh State University of Engineering Technologies, Russian Federation

Научное издание

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ХИМИЯ
И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Материалы Международной
научно-практической конференции
(Гомель, 26 марта 2024 г.)

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Е. Г. Привалова*

Подписано в печать 26.12.2024 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 11,33. Тираж 30 экз.
Зак. № 2438. Изд. № 31

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