

ИНСТИТУТ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Сборник трудов



5 гадоў

ІНСТЫТУТУ ЖЫЛЛЁВА-  
КАМУНАЛЬНОЙ ГАСПАДАРКІ  
НАН БЕЛАРУСІ



Минск 2023

УДК 640; 620.9; 628;658.26

**Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве : сб. тр. / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2023. – 360 с. – ISBN 978-985-897-145-8.**

Сборник составлен по материалам докладов V Юбилейной международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве» 12–13 октября 2023 г.

В представленных докладах отражены актуальные вопросы: водоснабжения и водоотведения, включая технологии утилизации и использования осадков сточных вод; новые методы и системы эксплуатации зданий, обеспечения энергоэффективности жилья; экологии городской коммунальной среды, перспективные технологические решения в области переработки отходов; цифровой трансформации и комплексных проблем информатизации процессов в жилищно-коммунальном хозяйстве; образования в сфере жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, а также другие актуальные вопросы научно-технического развития отрасли

Сборник предназначен для работников жилищно-коммунального хозяйства и смежных отраслей, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих областях знаний, преподавателей, аспирантов и студентов учреждений высшего образования.

**ISBN 978-985-897-145-8**

© Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси, 2023

© Оформление. УО «Белорусский государственный технологический университет», 2023

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В.Н. Штепа<sup>1</sup>, проректор по научной работе, д.т.н., доцент;

В.О. Китиков<sup>2</sup>, директор, д.т.н., профессор;

И.В. Барановский<sup>2</sup>, заместитель директора по научной работе, к.т.н.

<sup>1</sup> Учреждение образование «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь;

<sup>2</sup> Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*Оценены характеристики полигонов твёрдых бытовых отходов как объектов природопользования; сделан акцент на необходимости качественной очистки фильтрационной воды, которая представляет собой крайне экологически опасный водный раствор. На основе анализа существующей научной практики предложена структура технологической линии обработки такого фильтрата с включением физико-химических способов: реагентной коагуляции (коагулянт  $FeCl_3$ ), озонирования, внесение высокомолекулярного биологически активного биоцидного соединения с флокулирующим действием, электрокоагуляции. Результаты экспериментальных исследований продемонстрировали достаточно эффективное уменьшение значений загрязнителей (наибольшая продуктивность достигнута при комбинации электрохимических процессов и биоцидного продукта): химического потребления кислорода, хрома, железа; устранён неприятный специфический запах. При этом концентрация азота аммонийного снизилась значительно (более чем на 30 %), однако необходима интенсификация редукции устойчивых органических загрязнителей с комплексным обеззараживанием, что можно достигнуть путём использования *Advanced oxidation processes (AOPs)*.*

### Введение

Захоронение отходов на полигонах, даже оборудованных в соответствии с экологическими нормами, представляет потенциальную опасность для окружающей среды и населения [1, 2]. При этом степень загрязнения природных объектов свалками обуславливается климатом, рельефом, близостью водоёмов и водоносных горизонтов. Опасные факторы воздействия полигонов твёрдых бытовых отходов (далее – ТБО) на окружающую среду [3]:

– химическое воздействие, выражаемое выделениями опасных веществ с эмиссиями фильтратов и биогаза. Опасные вещества попадают в

почву и воздух, а оттуда — в водоемы и растительные продукты питания, выращиваемые в зоне воздействия свалок;

— пирогенный фактор, связанный с выделением тепла при разложении отходов и приводит к самонагреванию отходов до  $+40-70$  °С. При недостаточной теплоотдаче происходит самовозгорание отходов, которое проявляется в виде поверхностных пожаров и тлением в толще с выделением дыма;

— санитарно-эпидемиологический фактор заключается в возникновении в теле свалки благоприятной среды для развития крайне опасных болезнетворных микроорганизмов;

— зоогенный фактор заключается в жизнедеятельности на свалках птиц, пресмыкающихся, млекопитающих;

— социальный фактор связан с тем, что действующие свалки создают зону риска и дискомфорта для людей, проживающих или работающих поблизости полигонов, а также изменяющих ландшафт, вызывают ухудшение визуального эффект и эстетика.

При этом одной из ключевых экологических опасностей является выделение из отходов жидкой фракции (фильтрата/фильтрационных вод (далее — ФВ), содержащей множество загрязняющих веществ: вместе с талой и дождевой водой она попадает в водоносные горизонты почвы или открытые водоемы [4].

Специфика белорусских условий, состоящая в продолжительном периоде отрицательных температур, отсутствии качественной предварительной сортировки ТБО перед захоронением и отсутствии в достаточном количестве качественных полигонов для промышленных отходов резко снижают продуктивность применяемых в мировой практике способов очистки токсичных водных растворов: биологической обработки фильтрата на полигонах для предварительно отсортированных ТБО; физико-химической многоступенчатой очистки на полигонах для несортированных ТБО; канализования — отведения в канализацию ФВ для последующей совместной редукции их с хозяйственно-бытовыми сточными водами [5].

Соответственно, исследования нацеленные на оценку эффективности способов удаления загрязнителей из фильтрационной воды полигонов ТБО является актуальной научно-практической задачей.

## **1. Обоснование структуры экспериментальных исследований очистки фильтрационных вод полигонов ТБО**

Обычно фильтрат подразделяют на «молодой» (после 2–7 лет складирования отходов) и «старый». Для «молодого» фильтрата характерны

высокие значениями ХПК (500–60 000 мгО<sub>2</sub>/л) и БПК<sub>5</sub> (200–40 000 мгО<sub>2</sub>/л). Окисление органических соединений приводит к образованию кислот, способствующих растворению металлов и переходу их в раствор. Со временем уменьшается содержание органического углерода и для «старого» фильтрата характерны значения ХПК около 3 000–4 000 мгО<sub>2</sub>/л и БПК<sub>5</sub> около 100–400 мгО<sub>2</sub>/л, однако повышается доля биорезистентных компонентов [1]. Также протекает связывание ионов металлов с образованием карбонатов или гидроксидов металлов, вследствие чего снижаются их концентрации в ФВ. С течением жизненных циклов полигона происходит и снижение концентрации сульфат-иона от 1 000 до 200 мг/л за счет восстановления сульфатов до сульфидов и серы. Общая минерализация достигает 10 000 мг/л [2–4].

Отсутствие нитратов и нитритов при большом содержании аммонийных-солей свидетельствует об анаэробном разложении мусора. Окисляемость фильтрата свалки в 5–10 раз выше, чем у хозяйственно-фекальных сточных вод [3]. Не меньшую опасность представляет бактериальное загрязнение фильтрата. Средние значения загрязнения водного раствора из свалки по общему числу бактерий подобны обсеменности сточных вод городской канализации, а по коли-индексу даже превышают их в 2–3 раза [2].

Таким образом можно суммировать, что особенностями фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО являются [5]: сложный химический состав, представленный органическими и неорганическими примесями и изменяющийся на каждом этапе жизненного цикла полигона; высокое содержание токсичных компонентов и биорезистентных примесей; присутствие в воде различных групп микроорганизмов, в том числе патогенных; значительное отличие от промышленных и муниципальных сточных вод; зависимость объема и состава фильтрационных вод от площади полигона, количества складированных отходов, уровня атмосферных осадков.

Соответственно, для эффективной очистки таких водных растворов целесообразно использовать комбинированные способы удаления загрязнителей при этом выбор технологий осуществлять в соответствии со следующими принципами: применение технических решений, обладающих высокой эффективностью, соответствующих этапу жизненного цикла полигона, технико-экономическим возможностям и адекватных климатическим условиям района размещения полигона; использование низкоэнергозатратных и малотрудоемких систем.

Исходя из указанного при экспериментальных исследованиях использовали следующие методы водообработки:

- коагуляцию FeCl<sub>3</sub> (раствор 40 %);
- озонирование (производительность по озону 10 г/час);

- флокуляцию с применением высокомолекулярного биологического активного биоцидного соединений (далее – ВБАБС);
- электрокоагуляцию (растворимый анод – металлическая стружка марки Ст. 3) [6, 7].

Структура функциональных элементов экспериментальных исследований представлена на рисунке 1.

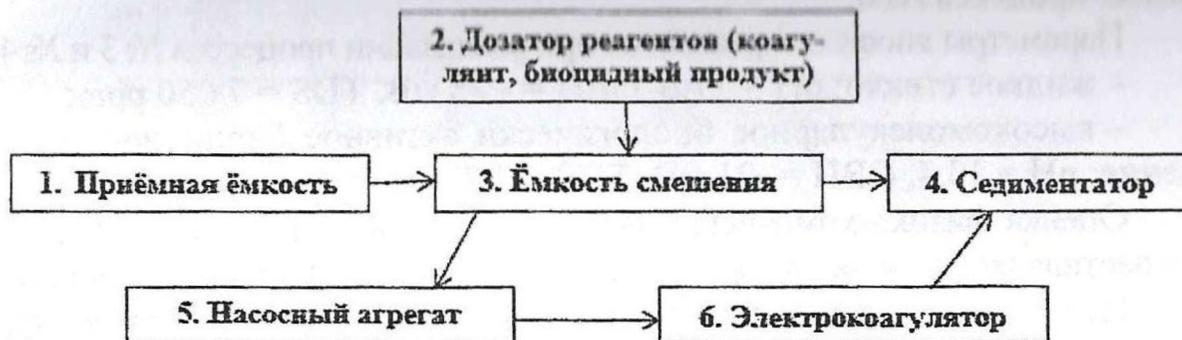


Рисунок 1 – Структура технологических элементов экспериментальных исследований очистки фильтрационных вод полигонов ТБО

## 2. Методика и результаты экспериментальных исследований очистки фильтрационных вод полигонов ТБО

Исходный водный раствор – фильтрационная вода с дренажной системы полигона ТБО расположенного в Брестской области.

Последовательность (нумерация) очистки согласно созданной структуры (см. рисунок 1):

1. Коагуляция с использованием  $FeCl_3$  (концентрация – 1,75 мл/л), раствор перемешивался в течении 5 минут и выполняли дальнейшую седиментацию на протяжении 6 часов;

2. Обработка раствора после окончания процесса № 1 озоновоздушной смесью с временной выдержкой 15 минут в седиментаторе (предварительно удалив осевшие частицы) путём размещения в нём диспергатора;

3. Внесение ВБАБС (для стабилизации дозировалось жидкое стекло разведенное в пропорции 1/20): концентрация – 0,313 мл/л, раствор перемешивался в течении 5 минут, время седиментации – 6 часов;

4. Внесение ВБАБС (для стабилизации дозировалось жидкое стекло разведенное в пропорции 1/20): концентрация – 0,376 мл/л, раствор перемешивался в течении 5 минут время седиментации – 6 часов;

5. Внесение ВБАБС (концентрация – 0,315 мл/л) и прохождение одного цикла электрокоагуляционной обработки (сила тока – 10 А, напряжение – 24 В, расход водного потока через электрокоагулятор – 5 м<sup>3</sup>/час);

6. Прохождение второго цикла электрокоагуляционной обработки (сила тока – 10 А, напряжение – 25 В, расход водного потока через электрокоагулятор – 5 м<sup>3</sup>/час), при этом очищалась фильтрационная вода после процесса № 5;

7. Прохождение третьего цикла электрокоагуляционной обработки (сила тока – 10 А, напряжение – 28 В, расход водного потока через электрокоагулятор – 5 м<sup>3</sup>/час), при этом очищалась фильтрационная вода после процесса № 6.

Параметры вносимых реагентов при реализации процессов № 3 и № 4:

– жидкое стекло: рН = 11,6, ОВП = - 25 мВ, TDS = 7 050 ppm;

– высокомолекулярное биологически активное биоцидное соединение: рН = 10,4, ОВП = -21 мВ, TDS = 2 870 ppm.

Оценка физико-химических показателей качества водных растворов осуществлялась в аккредитованной лаборатории ГП «ПинскВодоканал».

Первый зафиксированный эффект имел органолептическую природу – удаления специфического неприятного запаха полигонов ТБО. Согласно принятой шкалы от «4» (острый) до «0» (отсутствие): исходная фильтрационная вода – «4»; после процесса № 1 – «2»; после процесса № 2 – «0»; после процесса № 3 – «0»; после процесса № 4 – «0»; после процесса № 5 – «0»; после процесса № 6 – «1»; после процесса № 7 – «1». Необходимо отметить, что запах после обработок № 6 и № 7 имеет природу отличающуюся от базового (полигонов ТБО) и вызван комплексным воздействием соединений железа и электролизных газов.

Результаты комбинированной очистки ФВ представлены на рисунке 2.

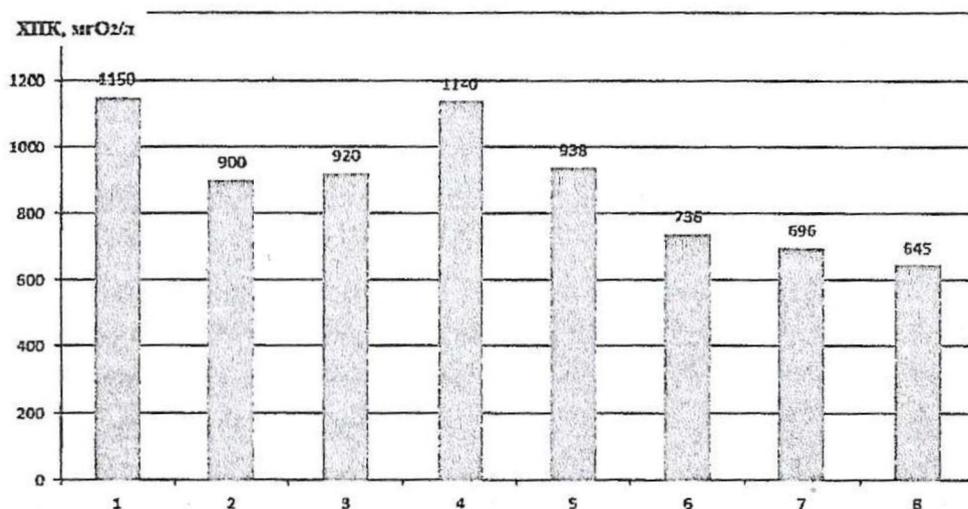
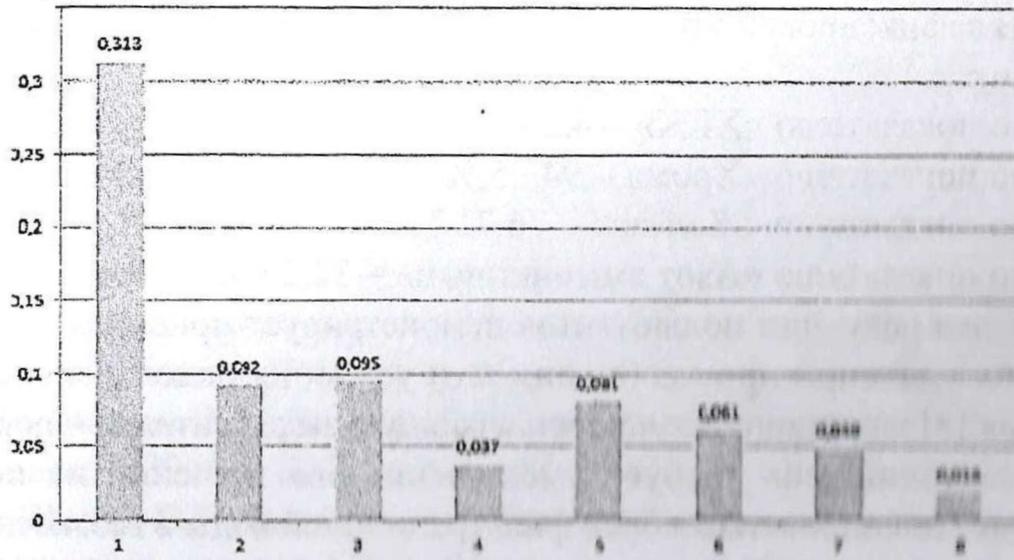
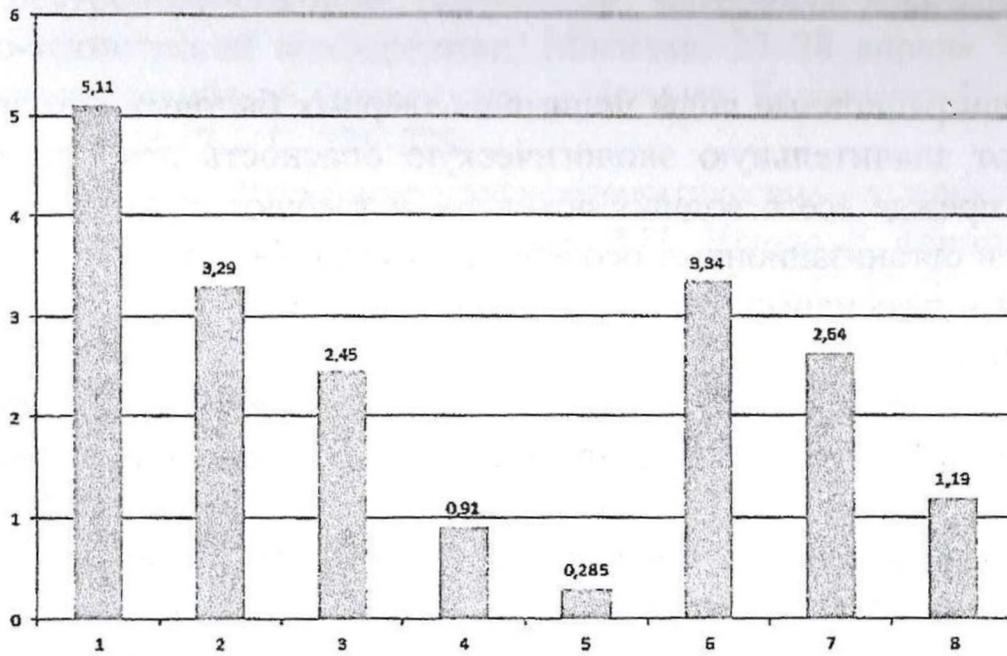


Рисунок 2 – Результаты экспериментальных исследований очистки фильтрационных вод полигонов ТБО : 1 – исходный водный раствор полигонов ТБО (рН – 8,36, минерализация – 5 021 мг/л, ОВП – -96,8 мВ), 2–8 – результаты обработки водных растворов полигонов ТБО согласно, соответственно, процессов № 1–7 (начало)

Хром общ., мг/л



Железо общ., мг/л



Азот аммонийный, мг/л

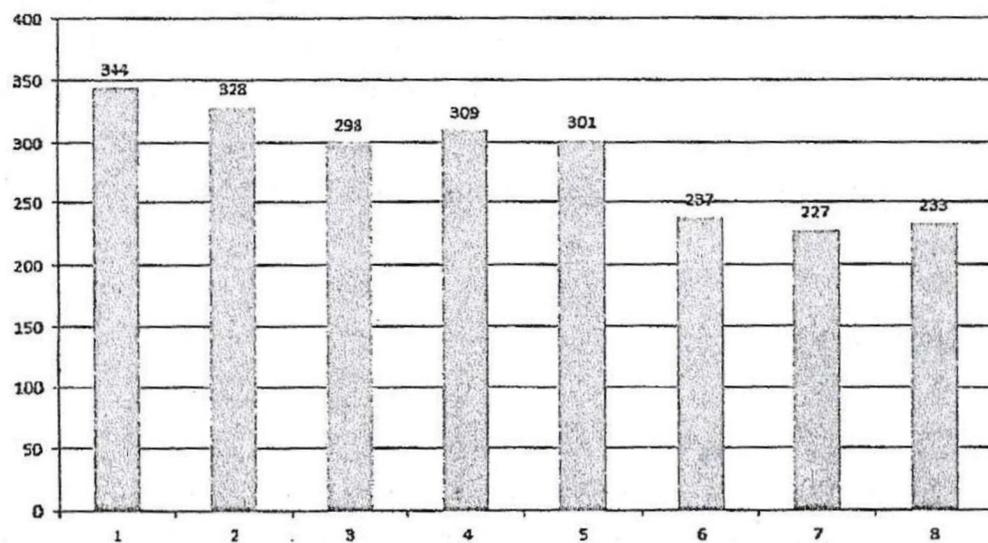


Рисунок 2 (продолжение)

Наилучший эффект стабилизации каждого из показателей качества ФВ зафиксирован при комбинации внесения ВБАБС и электрокоагуляции:

- по показателю «ХПК» – 43,91 %,
- по показателю «Хром» – 94,25 %,
- по показателю «Железо» – 76,71 %,
- по показателю «Азот аммонийный» – 32,27 %.

Оценка редукации поллютантов демонстрирует приемлемый результат по их удалению при необходимости усиления окислительного воздействия [8] на органическую составляющую загрязнителей – показатель «Азот аммонийный» требует уменьшения его значений на порядок, если будет планироваться сброс фильтрационной воды в геоэкосистемы.

## **Заключение**

Фильтрационные воды полигонов твёрдых бытовых отходов представляют значительную экологическую опасность для окружающей среды, прежде всего водных объектов, и требуют, с учётом климатических и организационных особенностей Республики Беларусь, использования интенсивных способов удаления загрязнителей при их автоматизации.

Применение реагентной коагуляции, озонирования, высокомолекулярного биологически активного биоцидного соединения и электрокоагуляции обеспечивают очистку водных растворов (в различной степени): наибольший эффект достигнут путём системного комбинирования ВБАБС и электрохимического воздействия.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на дополнения технологической схемы обработки ФВ оборудованием, которое обеспечит улучшения редукации органических поллютантов, прежде всего с акцентов на воздействие на азотистые загрязнители; с такой целью целесообразно использовать Advanced oxidation processes (AOPs), что синергетически позволит реализовать и обеззараживающее воздействие на водные растворы.

## **Список литературы**

1. Петрушкевич, А.А. Анализ состояния сбора, утилизации и переработки отходов из пластика на примере сельхозпредприятий Брестского района Брестской области / А.А. Петрушкевич, Л.Е. Со-вик, А.В. Копытовских. – Экономика и банки, 2021. – № 2. – С. 60–69.

2. Mor, S. Assessment of groundwater pollution by landfills in India using leachate pollution index and estimation of error / S. Mor, P. Negi, R. Khaiwal / *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. – 2018. – Vol. 10. – P. 467–476.

3. Christensen, T. Landfilling of waste: Leachate / T. Christensen, R. Cossu, R. Stieglmann / Boca Raton: CRC Press. – 2019. – 540 p.

4. Глушанкова, И.С. Опыт применения метода рециркуляции фильтрационных вод полигона захоронения ТБО на примере полигона захоронения ТБО г. Краснокамск / И.С. Глушанкова, Л.В. Рудакова, Т.В. Воронкова, А.С. Володина / *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2015. – № 7. – С. 46–50.

5. Штепа, В.Н. Экологически безопасные полигоны бытовых и производственных отходов / В.Н. Штепа [и др.] // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-технической конференции, Могилев, 27–28 апреля 2017 г.* / Белорусско-Российский университет. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2017. – С. 378–379.

6. Штепа, В.Н. Экспериментально-аналитические исследования комбинированных систем водоочистки / В.Н. Штепа // *Агропанорама: научно-технический журнал*. – 2015. – № 6 (112). – С. 31–37.

7. Штепа, В.Н. Инновационные технологии очистки многокомпонентных водных растворов с противодействием чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец // *Прыроднае асяроддзе Палесся і перспектывы развіцця: зборнік навуковых прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі – Брэст: Альтернатыва, 2022. – Вып. 14 – С. 184–187.*

8. Штепа, В.Н. Использование электролизных процессов в безреагентной водоочистке: удаление сероводорода, органического железа, синтетических поверхностно-активных веществ / В.Н. Штепа, Н.А. Заец, Д.Г. Алексеевский // *Енергетика і автоматика: науковий журнал*. – 2021. – № 2. – С. 52–68.

<i>Любченко Е.П.</i> Привлечение внимание общественности к проблемам сбора отходов, как один из факторов бережного отношения к окружающей среде в будущем .....	179
<i>Лях А.Б.</i> Обеспечение нормируемой плотности теплового потока и пути ее снижения при транспортировке теплоносителя предварительно изолированных трубопроводов, влияние старения тепловой изоляции на ее теплопроводность и срок службы .....	183
<i>Моссэ А.Л., Паскалов Г</i> Технологии устройства для плазменной утилизации медицинских отходов .....	190
<i>Недведцкий В.М.</i> Строительная отрасль: опыт Китая и развитие в Беларуси .....	198
<i>Нечаев С.Е., Терех И.С., Криштопова Е.А.</i> IoT-решения для жилищно-коммунального хозяйства: актуальность, опыт практической реализации и потенциал внедрения .....	206
<i>Попов П.Г., Миклашевский Н.В.</i> Испытания технологии аэросепарации .....	216
<i>Рашкевич Е.И., Ющенко В.Д.</i> Применение метода внутрипластовой обработки подземной воды на мелкозернистых песках при малом водопотреблении .....	221
<i>Рощупкин А.В., Опимах С.А.</i> Концепция варианта «пилотного проекта» по внедрению депозитной (залоговой) системы .....	230
<i>Савицкая Т.А., Кимленко И.М., Макаревич С.Е., Цыганкова Н.Г., Гриншпан Д.Д.</i> Биоразлагаемая полимерная упаковка в решении экологических проблем городской коммунальной среды .....	236
<i>Синицын А.В.</i> Сокращение производственных затрат водоканала через инструмент цифровой трансформации «Акватория» .....	242
<i>Сосновская У.В.</i> Обзор механизмов финансирования капитального ремонта жилого фонда в зарубежных странах .....	252
<i>Стриёнок Н.С.</i> Проблемы нормирования труда административно-управленческого персонала: информационные технологии в сфере нормирования труда .....	266
<i>Терлецкая Н.Ф., Антонюк А.С., Гапонюк А.Н.</i> Компостирование – перспективная технология переработки осадков сточных вод и органической части твердых коммунальных отходов .....	271

<i>Тернов Е.В.</i> О применении методологии Data Science в работе по взысканию дебиторской задолженности за оказанные жилищно-коммунальные услуги.....	277
<i>Тимошкевич И.В.</i> Анализ возможностей VR- и AR-технологий и оценка их применения в сфере жилищного хозяйства .....	287
<i>Трофимов Ю.В., Лишик С.И., Слепокуров В.Е., Маркевич В.Г., Челяпин А.Е., Захарова Н.А.</i> Вертикальное озеленение в жилищно-коммунальном хозяйстве.....	293
<i>Унжаков В.В.</i> Перспективные технологии переработки органических (биоразлагаемых) отходов из состава твердых коммунальных отходов – методологические основы .....	301
<i>Цегалко Е.В.</i> Программный комплекс единой автоматизированной системы сбора и обработки информации о потреблении воды, тепло- и электроэнергии в организациях НАН Беларуси.....	308
<i>Цыбин И.А.</i> Программно-аппаратный тренажерный комплекс Amis-Teacher-Well .....	312
<i>Цыбин И.А.</i> Программно-аппаратный комплекс анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом герметичности утечек на наружных сетях водоснабжения Amis-Leak .....	313
<i>Чухольская М.Ю., Барановский И.В.</i> Регулирование системы обращения полимерных отходов в Республике Беларусь .....	319
<i>Шабашова Т.Г., Беломесяцева Д.Б., Кориняк С.И., Алейников С.А.</i> Скрининг микроскопических грибов в жилых помещениях.....	328
<i>Шаповалов В.М., Китиков В.О., Хилько Д.Н., Григорьев А.Я.</i> Рециклинг вторичных материальных ресурсов и обращение с твердыми коммунальными отходами в задачах устойчивого развития Республики Беларусь .....	335
<i>Штепа В.Н., Китиков В.О., Барановский И.В.</i> Экспериментальная оценка эффективности способов очистки фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов .....	346
Алфавитный указатель.....	354