МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

Материалы Республиканской студенческой научно-практической конференции «Основные направления развития систем водоснабжения и водоотведения», приуроченной к 105-летию Белорусского национального технического университета и 70-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации'2025»

11 декабря 2025 года

Минск
БНТУ
2025

УДК 502.51:006, 504.4.062.2, 556.532(476), 628, 629, 666

СОСТАВИТЕЛИ:
Дубенок С.А., Колобако А.А.

В сборнике представлены материалы Республиканской студенческой научно-технической конференции «Основные направления развития систем водоснабжения и водоотведения», приуроченной к 105-летию Белорусского национального технического университета и 70-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение».

Материалы сборника посвящены вопросам организации и технического развития систем водоснабжения и водоотведения, проблемам сбора, транспортировки и очистки сточных вод, вопросам водоподготовки и обеззараживания природных вод, анализу современных материалов и технологий, применяемых при проектировании, строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения.

Сборник ориентирован на студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей средних и высших учебных заведений, научных сотрудников и специалистов, занимающихся вопросами и проблемами водоснабжения и водоотведения.

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Установление границ зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения 11

Отбор проб питьевой воды в рамках программы производственного контроля 17

Метод безреагентной гидродинамической регенерации водозаборных скважин 24

Сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпки фильтров водозаборных скважин 31

Речное и морское водоснабжение и водоотведение на корабле: принципы, практика и регулирование 37

Перспективы использования MABR -реакторов для биологической очистки сточных вод 41

Особенности расчета систем аэрации и подбора воздуходувок для сооружений биологической очистки сточных вод 46

Значение реки Днепр для Республики Беларусь 54

Оценка динамики поступления неорганизованного притока в составе сточных вод в системы коммунальной канализации населенных пунктов в Республике Беларусь 57

Роль Вилейского водохранилища для Беларуси 64

Анализ типов повысительных установок, применяемых для повышения давления в системе внутреннего холодного водоснабжения 67

Повышение надежности очистки сточных вод от станции обслуживания автомобилей 70

Вакуумные канализационные сети 74

Выбор варианта дезинфекции сооружений водоснабжения на основе оценки жизненного цикла 78

Источники образования сточных вод предприятий железнодорожного транспорта 83

Исследование тонких оксидных и полимерных пленок 90

Возможности экономии воды с помощью современных технологий санитарно-технического оборудования зданий 95

Мембранные методы обезжелезивания питьевой воды 101
Извлечения азота аммонийного из иловых вод..... 107
Использование пресных подземных вод для питьевого водоснабжения . 112
Эволюция систем водоснабжения и канализации в г. Бресте: краткий исторический обзор 117
Подходы казуального моделирования отведения городских сточных вод 124
Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод 129
Устройство и принцип работы гидроаккумулятора (гидробака) в автономной системе водоснабжения 132
Аналитический обзор современных подходов к очистке подземных вод сложного состава для малых систем водоснабжения..... 137
Перспективы применения новых материалов в водопроводных сетях 142
Лабораторный подход к определению снижения показателя $БПК_5$ на этапах очистки сточных вод для студентов технических специальностей 147
Современные технологии в проектировании канализационных систем .. 153
Особенности реконструкции действующих очистных сооружений населенных пунктов 157
Анализ способов получения коагулянтов из вторичных материальных ресурсов 161
Сравнительный анализ применимости различных сооружений по обращению с поверхностными сточными водами на селитебной территории 165
Анализ перспективных способов биологической очистки сточных вод .. 173
Актуальность применения солнечных водонагревателей в Республике Беларусь 177
Проблема очистки сточных вод в малых населенных пунктах 185
Автономное водоотведение и индивидуальные системы очистки сточных вод..... 190
Эффективность применения различных методов обезжелезивания воды 197

ОГЛАВЛЕНИЕ

Авхачёва Е.А. Установление границ зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	11
Авхачёва Е.А. Отбор проб питьевой воды в рамках программы производственного контроля Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	17
Артёмчик А.А. Метод безреагентной гидродинамической регенерации водозаборных скважин Научный руководитель Ивашечкин В.В., д.т.н., профессор *Белорусский национальный технический университет* *Минск, Республика Беларусь*	24
Артёмчик А.А., Шедько Д. А., Комаров Р. А. Сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпки фильтров водозаборных скважин Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	31
Бушейко Т.С. Речное и морское водоснабжение и водоотведение на корабле: принципы, практика и регулирование Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель *Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь*	37
Гритченко А.В., Любинский П.Д. Перспективы использования MABR -реакторов для биологической очистки сточных вод Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	41
Гритченко А.В., Любинский П.Д.	46

Особенности расчета систем аэрации и подбора воздуходувок для сооружений биологической очистки сточных вод Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	
Гришанович У.А. Значение реки Днепр для Республики Беларусь Научный руководитель Горелая О.Н., старший преподаватель *Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь*	54
Денищик А.И. Оценка динамики поступления неорганизованного притока в составе сточных вод в системы коммунальной канализации населенных пунктов в Республике Беларусь Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент *Республиканское унитарное предприятие «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», Минск, Республика Беларусь*	57
Долинкевич А.И. Роль Вилейского водохранилища для Беларуси Научный руководитель Горелая О.Н., старший преподаватель *Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь*	64
Житко М.В., Беркин С.А. Анализ типов повысительных установок, применяемых для повышения давления в системе внутреннего холодного водоснабжения Научный руководитель Литвинова А.П. *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	67
Зорочкина М.С., Хаданович Ж.О. Повышение надежности очистки сточных вод от станции обслуживания автомобилей Научный руководитель Терещенко А. В., ст. преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	70
Каравацкая К.С., Марушевский В.О. Вакуумные канализационные сети Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель	74

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь	
Каравацкая К.С., Марушевский В.О. Выбор варианта дезинфекции сооружений водоснабжения на основе оценки жизненного цикла Научный руководитель Комаров М.А., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь; Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь*	78
Комаров Р.А., Шедько Д.А. Источники образования сточных вод предприятий железнодорожного транспорта Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	83
Комяков Д.Е. Исследование тонких оксидных и полимерных пленок Научный руководитель Федосенко Н.Н. к.т.н., доцент *Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Республика Беларусь*	90
Крук А.С., Шилкова Е.М. Возможности экономии воды с помощью современных технологий санитарно-технического оборудования зданий Научный руководитель Лемеш М.И., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	95
Кузьмин П.С. Мембранные методы обезжелезивания питьевой воды Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	101
Лебедь П.Е. Извлечения азота аммонийного из иловых вод Научный руководитель Марцуль В.Н., к.т.н., доцент *Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь*	107
Никитин А. Д., Шеко А. Д. Использование пресных подземных вод для питьевого водоснабжения Научный руководитель Грузинова В. Л., к.т.н., доцент	112

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь	
Оболенцева А.В. Эволюция систем водоснабжения и канализации в г. Бресте: краткий исторический обзор Научный руководитель Горелая О. Н., старший преподаватель *Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь*	117
Осипов Е.А., Шикунец А.Б., Шинкевич К.С. Подходы казуального моделирования отведения городских сточных вод Научный руководитель Штепа В.Н., д.т.н., доцент *Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь; учреждение образования «Полесский государственный университет», Пинск, Республика Беларусь*	124
Панасюк Д. С., Бондарев В. В. Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод Научный руководитель Акулич Т. И., старший преподаватель *Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь*	129
Петроченко А.М. Устройство и принцип работы гидроаккумулятора (гидробака) в автономной системе водоснабжения Научный руководитель Майорчик А.П., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	132
Ружинский Д. Н., Ступакова П. И. Аналитический обзор современных подходов к очистке подземных вод сложного состава для малых систем водоснабжения Научный руководитель Велюго Е. С. *Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк, Республика Беларусь*	137
Салянко И.А. Перспективы применения новых материалов в водопроводных сетях Научный руководитель Ратникова А.М., старший преподаватель *Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь*	142

Сергиенко Д. С. Лабораторный подход к определению снижения показателя БПК5 на этапах очистки сточных вод для студентов технических специальностей Научный руководитель Грузинова В. Л., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	147
Федорович Е. В., Алилуева Е. С. Современные технологии в проектировании канализационных систем Научный руководитель Курчевский С. М., к.с.х.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	153
Хаданович Ж.О., Зорочкина М. С. Особенности реконструкции действующих очистных сооружений населенных пунктов Научный руководитель Терещенко А. В., ст. преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	157
Хандрико Н.А., Шорец Е.Д. Анализ способов получения коагулянтов из вторичных материальных ресурсов Научный руководитель Комаров М.А., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь; Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь*	161
Шавейко К.Н., Шакаль Т.М. Сравнительный анализ применимости различных сооружений по обращению с поверхностными сточными водами на селитебной территории Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	165
Шакаль Т.М., Шавейко К.Н. Анализ перспективных способов биологической очистки сточных вод Научный руководитель Колобако А.А., ассистент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	173
Шилкова Е.М., Крук А.С.	177

Актуальность применения солнечных водонагревателей в Республике Беларусь Научный руководитель Лемеш М.И., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	
Шлапакова А.И. Проблема очистки сточных вод в малых населенных пунктах Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	185
Шлапакова А.И. Автономное водоотведение и индивидуальные системы очистки сточных вод Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель *Белорусский национальный технический университет* *Минск, Республика Беларусь*	190
Шорец Е.Д., Хандрико Н.А. Эффективность применения различных методов обезжелезивания воды Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*	197

УДК 628.196

Установление границ зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения

Авхачёва Е.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,
Научный руководитель Полякова О.Е., ст. преподаватель

Данное исследование основано на обзоре границ зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения на территории Республики Беларусь в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.12.2018 № 914 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 06.02.2024 № 85) «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения», которое направлено на предотвращение загрязнения и обеспечение показателей безопасности качества питьевой воды.

Ключевые слова: зоны санитарной охраны, пояса, здоровье населения, качество воды.

Охрана источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения, путем соблюдения и утверждения зон санитарной охраны (далее - ЗСО), является важным аспектом для сохранения экологической обстановки водных ресурсов, а также обстановки санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

ЗСО - территория и (или) акватория, в границах которых устанавливается особый режим хозяйственной и иной деятельности в целях охраны источников питьевого водоснабжения от загрязнения, засорения, а водопроводных сооружений – от повреждения [2].

Правовое регулирование в области охраны источников питьевого водоснабжения на территории Республики Беларусь регламентируется следующими документами:

– Водный кодекс Республики Беларусь № 191-З от 15.07.1998 г. [1];

– Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» № 271-З от 24.06.1999 г. [2];

– Постановление Совета Министров Республики Беларусь 19.12.2018 №914 «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения» (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 06.02.2024 № 85) (далее – ССЭТ №914) [3].

В соответствии с вышеуказанными документами ЗСО источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения устанавливаются для поверхностных и подземных источников включая водозаборные сооружения, а также для водопроводных сооружений, таких как насосные станции, станции подготовки воды, ёмкостей.

В свою очередь ЗСО источников питьевого водоснабжения на месте забора воды состоят из трех поясов:

Первый пояс (строгий режим), включающий территорию (акваторию) расположения водозаборов, площадок расположения всех водопроводных сооружений и водопроводящего канала, предназначен для защиты места водозабора и водопроводных сооружений от случайного или умышленного загрязнения и повреждения.

Второй и третий пояса (режимы ограничений) включают территорию (акваторию), предназначенную для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения. При определении размеров второго пояса учитывается время выживаемости микроорганизмов для предотвращения загрязнения воды по микробиологическим показателям безопасности, для третьего пояса — время распространения загрязнения по химическому составу воды.

Дальность распространения возможного загрязнения водоисточника зависит от:

1) вида источника водоснабжения (поверхностный или подземный);

2) характера загрязнения (микробиологическое или химическое);

3) степени естественной защищенности от поверхностного загрязнения - для подземного источника;

4) гидрогеологических или гидрологических условий.

Границы первого пояса ЗСО водотока, в том числе подводящего канала, устанавливают на расстоянии не менее:

– 200 метров от водозаборных сооружений вверх по течению;

– 100 метров от водозаборных сооружений вниз по течению и от линии уреза воды при летне-осенней межени по прилегающему к водозаборным сооружениям берегу.

В направлении к противоположному берегу в границы первого пояса ЗСО водотока включают всю акваторию и противоположный берег шириной 50 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени при ширине водотока менее 100 метров или полосу акватории шириной не менее 100 метров при ширине водотока более 100 метров.

Границы первого пояса ЗСО водозаборных сооружений ковшового типа включают всю акваторию водоприемного ковша и территорию вокруг него шириной не менее 100 метров.

Границы второго пояса ЗСО водотока устанавливают:

– вверх по течению, включая притоки, – исходя из скорости течения воды, усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков, при условии протекания воды от границы пояса ЗСО до водозаборных сооружений при среднемесячном расходе воды обеспеченностью 95 процентов не менее 5 суток;

– вниз по течению – на расстоянии не менее 250 метров от водозаборных сооружений; боковые границы при равнинном рельефе местности – на расстоянии не менее 500 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени;

– боковые границы при гористом рельефе местности – до вершины первого склона, обращенного в сторону водотока, на расстоянии не менее 750 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени при пологом склоне и не менее 1000 метров – при крутом склоне.

Границы третьего пояса ЗСО водотока вверх и вниз по течению принимают такими же, как для второго пояса ЗСО. Боковые границы устанавливают по линии водоразделов на расстоянии от 3 до 5 километров от линии уреза воды при летне-осенней межени, включая притоки.

Границы первого пояса ЗСО водоема, в том числе подводящего канала, устанавливают на расстоянии не менее 100 метров от водозаборных сооружений по акватории во всех направлениях и от линии уреза воды при летне-осенней межени по прилегающему к водозаборным сооружениям берегу.

Границы второго пояса ЗСО водоема, включая притоки, устанавливают:

– по акватории во всех направлениях – на расстоянии 3 километров от водозаборных сооружений при наличии нагонных ветров не более 10 процентов в сторону водозаборных сооружений и 5 километров – при наличии нагонных ветров более 10 процентов;

– боковые границы при равнинном рельефе местности – на расстоянии не менее 500 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени;

– боковые границы при гористом рельефе местности – до вершины первого склона, обращенного в сторону водоема, на расстоянии не менее 750 метров от линии уреза воды при летне-осенней межени при пологом склоне и не менее 1000 метров – при крутом склоне.

Границы третьего пояса ЗСО водоема принимают во всех направлениях акватории водоема такими же, как для второго пояса ЗСО. Боковые границы устанавливают по линии водоразделов на расстоянии от 3 до 5 километров от линии уреза воды при летне-осенней межени.

Границы первого пояса ЗСО подземных источников водоснабжения устанавливают от водозаборного сооружения или крайних водозаборных сооружений группового водозабора на расстоянии не менее:

– 30 метров – при использовании защищенных подземных вод;

– 50 метров – при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

При использовании защищенных подземных вод границы первого пояса ЗСО подземных источников водоснабжения допускается устанавливать на расстоянии не менее 15 метров от водозаборных сооружений при наличии в проекте ЗСО гидрогеологического обоснования, в соответствии с которым в пределах всех поясов ЗСО мощность перекрывающих используемый водоносный горизонт (комплекс) водоупорных пород исключает возможность его загрязнения, которое может привести к отрицательным изменениям микробиологических (биологических) и химических показателей состава воды.

При использовании недостаточно защищенных подземных вод границы первого пояса ЗСО подземных источников водоснабжения допускается устанавливать на расстоянии не менее 25 метров от водозаборных сооружений при условии наличия в проекте ЗСО сведений об отсутствии в радиусе 50 метров от водозаборных сооружений любого прямого либо косвенного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, последствия которой могут приводить к поступлению в почву и подземные воды загрязняющих веществ, отходов.

Границы второго и третьего поясов ЗСО подземных источников водоснабжения определяют на основе гидродинамических расчетов, учитывающих время продвижения микробного и химического загрязнения до водозаборных сооружений.

При расчете границ второго пояса ЗСО подземных источников водоснабжения расчетное время продвижения микробного загрязнения принимается:

– 200 суток – при использовании защищенных подземных вод;

– 400 суток – при использовании недостаточно защищенных подземных вод.

При расчете границ третьего пояса ЗСО подземных источников водоснабжения расчетное время продвижения химического загрязнения должно быть не менее 25 лет.

Для группового водозабора устанавливаются общие границы второго и третьего поясов ЗСО.

Границы первого пояса ЗСО инфильтрационных водозаборов устанавливают на расстоянии не менее 50 метров от водозаборных сооружений.

В границы первого пояса ЗСО инфильтрационного водозабора включается территория между водозабором и поверхностным водным

объектом, питающим инфильтрационный водозабор, если расстояние между ними менее 150 метров.

Для инфильтрационных водозаборов устанавливаются второй и третий пояса ЗСО от водозаборных сооружений на основе гидродинамических расчетов, при которых учитывается время продвижения микробного и химического загрязнения до водозаборных сооружений в соответствии с частями пятой и шестой пункта 14 настоящих специфических санитарно-эпидемиологических требований.

Для водотоков и водоемов, питающих инфильтрационные водозаборы, устанавливаются второй и третий пояса ЗСО в соответствии с частями третьей и четвертой пункта 12 (для водотоков) или частями второй и третьей пункта 13 (для водоемов) настоящих специфических санитарно-эпидемиологических требований.

ЗСО водопроводных сооружений и санитарно-защитные полосы водоводов устанавливаются в соответствии с Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении».

При расположении водопроводных сооружений на территории первого пояса ЗСО источников водоснабжения ЗСО водопроводных сооружений допускается устанавливать на расстоянии не менее 10 метров от станций подготовки питьевой воды, резервуаров, насосных станций.

Установление границ и поясов ЗСО, изменение ранее установленных границ и поясов ЗСО источников водоснабжения выполняются на основании проекта ЗСО источников водоснабжения.

Проекты ЗСО утверждаются местными исполнительными и распорядительными органами, но после прохождения государственной санитарно-гигиенической экспертизы.

В проектах ЗСО указываются сведения о границах зоны и составляющих ее поясов, план мероприятий по улучшению санитарного состояния территории ЗСО и предупреждению загрязнения источник, правила и режим хозяйственного использования территорий трех поясов ЗСО.

Проект ЗСО состоит из двух частей.

1. Текстовая часть содержит:

– характеристику санитарного состояния источников водоснабжения, анализы качества воды источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения;

– динамику во времени основных на гидрологических (для поверхностного источника - площадь бассейна питания водозабора, режим поверхностного стока, максимальные, минимальные и средние расходы, скорость и уровень воды в месте водозабора, средние сроки ледостава и вскрытия, предполагаемый расход в источнике, данные по характеристике приливно-отливных течений; на гидрогеологических (для подземного

источника - условия питания и разгрузки водоносного горизонта, предполагаемого к использованию, характеристика водоносного горизонта, сведения о водообильности горизонта и т. д.;

– данные, характеризующие взаимовлияние подземного источника и поверхностного водоема при наличии гидравлической связи между ними;

– данные о перспективах строительства в районе расположения источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, в том числе жилых, промышленных и сельскохозяйственных объектов;

– определение границ первого, второго и третьего поясов ЗСО с соответствующим обоснованием и перечнем мероприятий с указанием сроков выполнения и ответственных предприятий, учреждений, организаций и частных лиц с определением источников финансирования;

– правила и режим хозяйственного использования территорий, входящих в ЗСО всех поясов.

2. Картографическая часть включает:

– ситуационный план с проектируемыми границами первого, второго и третьего поясов ЗСО и нанесением мест водозаборов и площадок водопроводных сооружений, источника водоснабжения и бассейна его питания и всех расположенных на данной территории объектов;

– гидрологические профили по характерным направлениям в пределах области питания водозабора – при подземном источнике водоснабжения;

– планы трех поясов ЗСО с нанесением всех расположенных на данных территориях объектов [4].

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь № 191-З от 15.07.1998 г.

2. Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» № 271-З от 24.06.1999 г.

3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 19.12.2018 № 914 «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения» (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 06.02.2024 № 85).

4. Санитарная охрана источников хозяйственно-питьевого водоснабжения: метод. рекомендации / И. П. Семёнов, И. П. Щербинская. – Минск : БГМУ, 2011. – 24 с.

УДК 628.196

Отбор проб питьевой воды в рамках программы производственного контроля

Авхачёва Е.А
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,
Научный руководитель Полякова О.Е., ст. преподаватель

Данная статья включает ключевые аспекты отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля, с учётом действующих нормативных документов на территории Республики Беларусь, а также анализирует методику и методы отбора проб воды в зависимости от цели лабораторных исследований и испытаний. Представлены рекомендации по повышению эффективности контроля качества воды.

Питьевая вода – вода, которая соответствует нормативам безопасности питьевой воды [1].

Актуальность темы отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля сводится к обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения и поддержанию стабильности систем водоснабжения.

Производственный контроль - контроль за соблюдением требований законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения, направленный на сохранение жизни и здоровья населения, среды обитания человека при обращении продукции, выполнении работ и оказании услуг, обеспечиваемый организациями и физическими лицами, в том числе индивидуальными предпринимателями [2]. Производственный контроль качества питьевой воды осуществляется согласно программе (плану) производственного контроля.

Отбор проб питьевой воды в рамках производственного контроля позволяет своевременно выявлять возможные загрязнения, отклонения от гигиенических нормативов в связи с внештатными ситуациями на сетях водоснабжения, провести анализ эффективности применяемых технологий очистки питьевой воды, предотвратить либо своевременно выявить потенциальное распространение эпидемий, таких как холера, брюшной тиф и т.д.

От правильного отбора проб питьевой воды напрямую зависит чистота лабораторных исследований и испытаний.

Проблемой в области производственного контроля при отборе проб питьевой воды зачастую является: недостаточная квалификация

специалистов, что приводит к ошибкам и несоблюдению методик отборов проб на микробиологические показатели безопасности и на показатели безопасности по химическому составу; неправильная адаптация методик отбора к различным местам отбора (скважина, станция водоподготовки, магистральная распределительная сеть, внутридомовая распределительная сеть, в точках потребителя...).

На основании вышеизложенного целью данного исследования является анализ существующей методики отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля на территории Республики Беларусь и обзор методов отбора проб питьевой воды на микробиологические показатели безопасности и на показатели безопасности по химическому составу.

В Республике Беларусь, как и в большинстве стран, методы отбора проб питьевой воды строго регламентированы нормативно-правовой базой, включающей международные стандарты, национальные стандарты и санитарные нормы, а также законодательные акты.

Закон Республики Беларусь от 24 июня 1999 г. № 271-З «О питьевом водоснабжении» [1] является фундаментальным нормативно-правовым актом, регулирующим все аспекты обеспечения населения питьевой водой. Он определяет основные принципы государственной политики в области питьевого водоснабжения, права и обязанности потребителей и водоснабжающих организаций, а также основы государственного контроля и надзора.

В гигиеническом нормативе «Показатели безопасности питьевой воды», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 года №37 устанавливаются обязательные для соблюдения всеми пользователями допустимые значения показателей безопасности питьевой воды [3].

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.12.2018 № 914 «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения» (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 06.02.2024 № 85) (далее - ССЭТ №914) устанавливаются требования к контролю показателей безопасности питьевой воды [4].

Отбор проб питьевой воды производится согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [5], ГОСТ 31862-2012 «Вода питьевая. Отбор проб» [6], ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа» [7].

Все вышеперечисленные документы образуют единую систему, регулирующую процесс отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля и указывают требования к отбору, транспортированию и подготовке к хранению проб воды, предназначенных

для определения показателей её состава и свойств на микробиологические показатели безопасности и показатели безопасности по химическому составу.

Методика отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля включает в себя:

1. Цель отбора проб воды. В рамках рассматриваемой статьи это производственный контроль;

2. Объект исследования и (или) испытания. Объектом выступает субъект хозяйствования, эксплуатирующие системы питьевого водоснабжения;

3. Выбор точек отбора. Точки отбора проб должны быть на всех основных элементах системы питьевого водоснабжения (источники водоснабжения, насосные станции, станции подготовки питьевой воды, резервуары, водопроводные сети, водонапорные башни) и распределяться по всей водопроводной сети [4];

4. Частота отбора. Количество и кратность отбора проб воды перед поступлением и в точках водозабора водопроводных сетей указанно в приложении 3 ССЭТ №914;

5. Объем пробы. Объём зависит от вида исследуемых показателей безопасности воды, это могут быть микробиологические показатели безопасности, показатели безопасности по химическому составу, радиационные показатели безопасности, а также от числа определяемых показателей;

6. Требования к оборудованию. Критериями для выбора емкости, используемой непосредственно для отбора проб и их хранения до начала проведения анализов, являются: предохранение состава пробы от потерь определяемых показателей или от загрязнения другими веществами; устойчивость к экстремальным температурам и разрушению; способность легко и плотно закрываться; необходимые размеры, форма, масса; пригодность к повторному использованию; светопроницаемость; химическая (биологическая) инертность материала, использованного для изготовления емкости и ее пробки (например, емкости из боросиликатного или известково-натриевого стекла могут увеличить содержание в пробе кремния или натрия); возможность проведения очистки и обработки стенок, устранения поверхностного загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами. Допускается применение одноразовых емкостей для отбора проб [5].

Емкости для проб, предназначенных для определения микробиологических показателей, должны: выдерживать высокие температуры при стерилизации (в том числе пробки и защитные колпачки); предохранять от внесения загрязнений; быть изготовлены из материалов, не влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов; иметь плотно

закрывающиеся пробки (силиконовые или из других материалов) и защитные колпачки (из алюминиевой фольги, плотной бумаги) [5].

7. Процедура подготовки к отбору проб воды и сам отбор на показатели безопасности по химическому составу включает выбор емкости, обычно это пластиковые или стеклянные бутылки объемом 1-2 литра. Для отбора проб воды на микробиологические показатели безопасности это стерильные стеклянные тары объёмом 0,5 л. В этот пункт входит слив воды в зависимости от отбора на показатели и этикетирование, т.е. нанесение на отбираемую посуду метку с номером и датой, временем отбора пробы;

8. Процедуры консервации и транспортировки. Транспортирование проб осуществляют в чистых продезинфицированных контейнерах, обеспечивающих их сохранность. Крышка контейнера не должна соприкасаться с пробками емкостей. Условия транспортирования должны быть документально оформлены. При транспортировании емкости должны быть упакованы чтобы: защитить их солнечного излучения, нагревания, загрязнения, замораживания; исключить непосредственный контакт проб с аккумуляторами холода, чтобы избежать замораживание пробы; предусмотреть раздельное размещение в контейнерах неохлажденных и охлажденных проб. Для транспортирования предпочтительно охладить пробы до температуры (5 ± 3) °С [7].

При соблюдении указанных условий продолжительность от момента отбора проб до начала испытаний не должна превышать 6 ч. Если пробы нельзя охладить, их доставку следует осуществить в течение 2 ч от момента отбора.

9. Документальное оформление. Отобранная проба воды документируется пробоотборщиков, в акте отбора проб указывается информация о расположение и наименование места отбора проб, с координатами и любой другой информацией о местонахождении; дате отбора и времени; методе отбора; климатических условиях окружающей среды при отборе проб (при необходимости); температуре воды при отборе пробы (при необходимости); о методе подготовки к хранению (при необходимости); цели исследования воды; других данных в зависимости от цели отбора проб, а также должность, ФИО и подпись исполнителя [5].

А вот метод отбора проб выбирают в зависимости от типа воды, ее напора, потока, температуры, глубины пробоотбора, цели исследований и перечня определяемых показателей с таким расчетом, чтобы исключить (свести к минимуму) возможные изменения определяемого показателя в процессе отбора [5].

Метод отбора проб воды на микробиологические показатели безопасности в рамках производственного контроля.

Отбор проводится в соответствии с требованиями с ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа» [7] и ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [5]. При отборе проб питьевой воды должны быть обеспечены асептические условия (чистые руки или стерильные перчатки) и защита проб от пыли и попадания брызг.

Для отбора проб применяют чистые стерильные емкости, изготовленные из стекла или полимерных материалов (например, полипропилена, полистирола, полиэтилена, поликарбоната), не оказывающих влияние на жизнедеятельность микроорганизмов. Для многократного применения предпочтительны емкости из стекла; емкости из полимерных материалов используют как одноразовые.

При отборе питьевой воды на микробиологические показатели безопасности не допускается ополаскивание ёмкости. Стерильную емкость для отбора проб открывают непосредственно перед отбором пробы, удаляя пробку вместе со стерильным колпачком. Пробка и края емкости не должны касаться посторонних поверхностей.

После наполнения емкость немедленно закрывают стерильной пробкой, обеспечивающей герметичность и не намокающей при транспортировании, и стерильным колпачком. При заполнении емкости должно оставаться пространство между пробкой и поверхностью налитой воды, чтобы пробка не смачивалась при транспортировании и для обеспечения перемешивания пробы перед анализом.

С кранов, предназначенных для отбора проб из магистральной распределительной сети и из внутридомовой распределительной сети, заранее удаляют загрязнения (смазку, окалину, накипь, слизь и т. л.), которые могут попасть в пробу при заполнении емкости и повлиять на результаты анализа. Для очистки крана используют щетки, ерши или другие средства, чтобы очистить внешнюю и, сколько это возможно, внутреннюю поверхность крана. После механической очистки кран промывают от загрязнений, полностью открывая и закрывая его несколько раз.

Непосредственно перед отбором пробы кран стерилизуют предпочтительно фламбированием (обработка крана горящим тампоном, смоченным 96 %-ным этиловым спиртом), качество фламбирования определяют появлением шипящего звука при контакте с водой после открытия крана или горло крана дезинфицируют погружением на 2-3 мин в стакан с раствором гипохлорита, этилового или изопропилового спирта.

Открытую емкость для отбора проб помещают под кран в струю воды и заполняют ее с соблюдением условий по избеганию контакта поверхности крана с емкостью. Во время наполнения емкости не допускается менять напор воды (закрывая или открывая кран). Не допускается отбирать пробы из неисправных кранов, имеющих утечку воды.

Пробы воды из магистральной распределительной сети отбирают из специальных кранов, установленных на основных магистральных распределительных сетях или на участках сети, близких к магистральным, обычно сразу за водомером. При невозможности установки специальных кранов для оценки качества воды в магистральной сети могут быть использованы краны внутри здания, которые должны быть подготовлены к отбору и продезинфицированы фламбированием. Перед отбором пробы с крана удаляют насадки, шланги, сетки и т. п.

После стерилизации кран полностью открывают, чтобы обеспечить максимальный поток воды в течение 5-10 с, затем уменьшают напор до половины и промывают обильно текущей струей воды до статочно долго (не менее 10 мин или до достижения постоянной температуры), а вот при отборе воды из внутридомовой распределительной сети после фламбирования крана сливают небольшой объем воды, достаточный для снятия последствий его дезинфекции.

Метод отбора проб питьевой воды в рамках производственного контроля на показатели безопасности по химическому составу.

Отбор проводится в соответствии с требованиями с ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [5] и ГОСТ 31862-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [6]. Пробы воды распределительной сети отбирают в периоды наибольшего расхода воды.

Отбор проб питьевой воды из магистральной распределительной сети проводят на выходе из водоочистных сооружений, из уличных водоразборных устройств, на наиболее возвышенных и тупиковых участках, после накопительных резервуаров, на входах перед поступлением воды потребителю.

При отборе проб из гидрантов, поверхности гидранта, которые контактируют с водой, следует очистить, продезинфицировать, многократно ополоснуть исследуемой водой, чтобы исключить наличие дезинфектанта в пробе.

Точку отбора проб и ее расположение устанавливают в зависимости от указанной в программе производственного контроля цели.

Если целью отбора проб является оценка влияния материалов, контактирующих с водой, на качество воды, оценка обрастания материалов микроорганизмами или оценка качества застоявшейся воды в тупиковых участках сети, то пробы следует брать из первой порции слива воды, при этом время слива воды должно быть минимальным (ориентировочно 5-10 с).

При необходимости отбора проб из тупиковых участков трубопровода время слива застоявшейся воды может достигать 30 мин.

При отборе проб из крана время слива воды перед отбором проб зависит от цели отбора проб. Если целью отбора проб является оценка влияния

материалов, контактирующих с водой, на качество воды, то пробы следует отбирать без предварительного слива воды. Для других целей для установления условий равновесия перед отбором проб достаточно 2-3 мин слива воды.

Пробы питьевой воды, предназначенные для определения содержания органических веществ в ней, отбирают только в стеклянные емкости.

Перед отбором пробы емкости для отбора проб, если они не содержат консервантов или не являются одноразового применения, не менее 2 раз ополаскивают водой, подлежащей анализу, и заполняют ею емкость до верха. При отборе проб, подлежащих хранению, перед закрытием емкости пробкой верхний слой воды сливают так, чтобы под пробкой оставался слой воздуха и при транспортировании пробка не смачивалась, если другое не предусмотрено применяемым стандартом на метод определения (методикой анализа) показателей состава и свойств проб воды.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 24 июня 1999 г. № 271-З «О питьевом водоснабжении» [Электронный ресурс] // https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11900166 Дата доступа: 25.10.2025.

2. Закон Республики Беларусь от 7 января 2012 г. № 340-З «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

3. Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды», утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 года №37.

4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 19.12.2018 № 914 «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения» (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 06.02.2024 № 85).

5. ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

6. ГОСТ 31862-2012 «Вода питьевая. Отбор проб».

7. ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа».

УДК 628.112

Метод безреагентной гидродинамической регенерации водозаборных скважин

Артёмчик А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Ивашечкин В.В., д.т.н., профессор

В статье приведен безреагентный метод увеличения срока службы водозаборных скважин за счет применения способа гидродинамической регенерации на примере установки компании Etschel Brunnenservice как наиболее передовой и перспективной. Способ основан на би-ротационном вращении системы из сопел, создающей импульсы для очистки фильтра водозаборной скважины и разрушения кольматационных отложений в прифильтровой зоне. Приведены результаты практического применения, подтверждающие увеличение дебита скважин после обработки. Сформулированы выводы об эффективности, экологичности и оперативности данного метода как перспективной альтернативы применяемым.

Эксплуатация водозаборных скважин сопровождается постепенным снижением их производительности вследствие кольматации фильтра и прифильтровой зоны (гравийной обсыпки и прискваженной зоны пласта), как то: заиливание, биообрастание и минеральные отложения, что со временем требует регенерации скважин.

Среди методов регенерации скважин выделяют механические, реагентные, импульсные, вибрационно-ультразвуковые, а также их комбинации. На практике они демонстрируют ограниченную эффективность: механические способы не обеспечивают очистку прифильтровой зоны, химические методы характеризуются неравномерной декольматацией, длительностью процесса, негативным воздействием на экологию и необходимостью принятия дополнительных мер и средств защиты персонала, который проводит регенерацию. Импульсные технологии часто дают кратковременный эффект, а также могут приводить к разрушению фильтра, что в свою очередь приводит к пескованию скважин [1-5].

Альтернативным решением является метод гидродинамической очистки, прошедший путь от простой гидроструйной очистки до сложных би-ротационных систем.

Hydro Jet Cleaning – гидроструйная очистка, использующая воду под высоким давлением. Очистка применима для как для очистки фильтров водозаборных скважин [6, 7] и их освоения, так и для очистки канализационных трубопроводов, ливневой канализации [8, 9, 10], а также для удаления накипи с трубопроводов и труб в таком оборудовании, как теплообменники и котлы [11].

High-Pressure-Impulse Process (HPI-Process) – технология создания импульсов высокого давления с помощью высокого давления воды для разрушения кольматанта на фильтре и разрыхления в прифильтровой зоне, а также очистки эксплуатационной колонны. Очистка осуществляется без применения реагентов и основана на преобразовании потенциальной энергии воды, создаваемой высоконапорным насосом, в кинетическую энергию, генерирующую высоконапорные импульсы.

Основной областью применения является регенерация вертикальных фильтрующих скважин, а также горизонтальных дренажей. Целесообразно использовать метод для очистки скважин от бурового раствора непосредственно после бурения.

С начала 1960-х годов гидроструйная очистка подразумевала использование сопел, установленных в муфтах. При максимальной производительности 22.7 м³/ч и давлении нагнетания 0.17 МПа из каждого сопло скорость выхода струи была около 60 м/с. Закрепленный гидромонитор на буровых штангах медленно перемещался вверх или вниз по выбранным участкам фильтровой колонны и фильтра, а вращение происходило со скоростью 10–50 об/мин [12, 13].

В 1993 году в Германии была разработана биротационная система UNINOZ®, обеспечивающая движение в двух плоскостях, а не в одной, как ранее, и создание импульсов высокого давления строго горизонтально относительно вертикальной оси скважины. В 2017 была представлена установка двойного вращения MAXINOZ® (см. рис. 1), инновация заключалась в том, что конструкция сопел позволяла регулировать угол их наклона в зависимости от конструкции фильтра для более эффективной и щадящей очистки [14].

Рис. 1 – Гидромонитор [15]

Актуальные установки компании Etschel Brunnenservice GmbH устанавливаются на на трёхосный грузовик (см. рис. 2), основными элементами являются: поршневой насос высокого давления; гидромонитор, включающий вращающееся сопло с проставками, центраторы, шланги высокого давления, шкаф управления, погружные электронасосы, измерительные и регистрирующие приборы, а также различные инструменты; компрессор, необходимый для эрлифтового удаления кольматанта из отстойника скважины; генератор, который обеспечивает транспортное средство автономным электроснабжением.

Рис. 2 – Грузовик с установленным оборудованием [16]

3-поршневой плунжерный насос с электроприводом с мощностью привода 200 кВт, установленный на шасси способен создавать давление от 10 до 55 МПа, что обеспечивает экстремальную скорость истечения воды из сопел с расходом в диапазоне от 100 до 200 л/мин в зависимости от потребности. Каждое сопло использует до 50 л/мин воды со скоростью истечения 180 м/с, мощность струи отдельных сопел достигает около 190 кН, что приводит к резкому ускорению воды (импульсу) вокруг сопел, которые распространяются через фильтр в прифильтровую зону и разрушают кольматант. Кинетическая энергия, создаваемая соплами, приводит к встречному вращению двух корпусов (каждый корпус с двумя отдельными соплами) со скоростью около 7000 об/мин, что обеспечивает очень короткое время пребывания струи на одном месте, за счет чего достигается равномерная очистка без спиралевидных следов. Кроме того, две встречно вращающиеся пары сопел разделяют воду на два водных горизонта, а также они могут быть адаптированы к диаметру скважины за счет изменения угла их наклона. Постоянное движение гидромонитора вверх-вниз со скоростью от 0,1 до 0,3 м/с, создаёт эффект свабирования, который дополнительно способствует очистке скважины. Установка пригодна для обработки скважин диаметром до 1000 мм и глубиной до 400 метров [17, 18].

Для большего повышения эффективности очистки скважин и получения контроля за ходом очистки в процессе регенерации в скважину устанавливается погружной насос, который непрерывно откачивает воду. Производительность насоса подбирается таким образом, чтобы в процессе регенерации создавался приток воды, направленный к скважине из пласта, что в свою очередь будет способствовать вымыванию частиц кольматанта из пор гравийной обсыпки и прифильтровой зоны, а эффективность очистки повышается с увеличением скорости потока, направленного к скважине.

Процесс регенерации скважины документируется и контролируется путем измерения концентрации взвешенных частиц и расхода каждые 15 минут. Гидроструйная очистка прекращается, когда концентрация взвеси перестаёт снижаться. Обычно достигаются конечные значения от 0 до 0,5 $см^3$ осадка на 10 л.

Таким образом одновременное выполняется три операций: разрушение, транспортировка и мониторинг.

После регенерации скважины отстойник скважины очищается эрлифтовой откачкой, а после проводится телевизионный осмотр.

Технология проходила проверку в рамках диссертационного исследования в Горной академии Фрайберга в 1996 году.

В 1999 году в Висбадене проводилась регенерация, в ходе которой дебит обработанной скважины увеличился с 12 $м^3/ч$ до 47 $м^3/ч$. Также было

отмечено, что при регенерации вертикальных водозаборных скважин достигается более высокая производительность, чем первоначальная производительность после бурения. Это объясняется тем, что процесс гидродинамической регенерации удаляет не только частицы кольматанта, но и остатки промывочного раствора, оставшегося после бурения скважины [19].

В 2000 году Немецкий объединение специалистов газового и водного хозяйства (DVGW) инициировало официальную исследовательскую программу. Её целью стало сравнительное тестирование различных методов регенерации и оценка их эффективности на основе определения проникающей способности за пределы фильтров в гравийную обсыпку. Результаты были освещены в DVGW W 55/99 в 2003, и HPI-Process показал наилучшие результаты по сравнению с другими методами регенерации, а также в DVGW W 130 в 2007 году.

Исследования также проводились в Дрезденском центре исследований подземных вод (Dresdner Groundwater Research Centre) на реальных моделях скважин [20].

Метод окончательно зарекомендовал себя в ходе практических испытаний по обработке скважин, запрошенных компанией Hessenwasser GmbH & Co в 2018 году, которая обеспечивает питьевой водой около 2,4 миллионов человек в регионе Рейн-Майн Германия и поставляет более 112 миллионов м³ воды [16]. Компании Etschel Brunnenservice было поручено восстановить одну из скважин. Это была скважина глубиной 50 м, пробуренная в 1963 году и оснащенная деревянным фильтром диаметром 400 мм. По данным измерений, удельный дебит составил 26 $м^2$/ч до проведения регенерации и 41,3 $м^2$/ч после проведения регенерации, что соответствует увеличению производительность на 58%.

Благодаря признанию результатов серии испытаний в 2019 году, компания Etschel Brunnenservice получила заказ на восстановление более десяти скважин глубиной от 11 до 155 метров, прирост производительности скважин составил от 23,6% до 152,5%. Восстановление двух скважин в Лампертхайме показали прирост производительности от 58% до 411%. Время обработки скважин с фильтрами длиной 50 метров заняло всего 3–4 часа [15].

Следует отметить, что в доступной литературе, на которую даны ссылки в данной статье, данные по приросту производительности приводятся относительно значений, замеренных до регенерации, а не от первоначальной производительности скважины, что не позволяет в полной мере оценить эффективность применяемого метода.

Для операторов водозаборов критически важно минимизировать время простоя скважины при её регенерации. В большинстве случаев для

успешного восстановления скважины с помощью установки Etschel JET Master требуется не более одного-двух дней, включая телевизионное обследование скважины до и после обработки, общие временные затраты для скважин глубиной до 200 м не превышают четырёх-пяти дней [20].

На сегодняшний день компания Etschel Brunnenservice GmbH восстановила более 8500 скважин при помощи гидродинамического метода и имеет сертификацию DVGW.

Гидродинамический метод является перспективной альтернативой и конкурентом применяемым методам регенерации.

Ключевые преимущества метода заключаются в его экологичности (не требует применения реагентов), универсальности (подходит для очистки фильтров различных конструкций и материалов) и оперативности (процесс декольматации может занимать часы, минимизируя простой скважины).

Необходимо отметить, что описанный метод не растворяет отложения, а лишь разбивает кольматант там, где это возможно, и разрыхляет прифильтровую зону. Максимальная эффективность регенерации достигается, когда не произошло полное сцементирование прифильтровой зоны. Метод наиболее эффективен, если скважина потеряла не более 10–20% своей первоначальной производительности.

Литература

1. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1985. – 334 с.

2. Ивашечкин, В. В. Ремонтопригодные водозаборные скважины / В. В. Ивашечкин, П. А. Автушко ; под. ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2016. – 228 с.

3. Тесля, В. Г. Циркуляционная регенерация скважин и пласта : дис. канд. техн. наук : 04.00.06 / Тесля Валерий Григорьевич ; ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М., 1986. – 144 с.

4. Ивашечкин, В. В. Регенерация скважин и напорных фильтров систем водоснабжения / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, А. Н. Кондратович ; под ред. В. В. Ивашечкина. – Минск : БНТУ, 2008. – 276 с.

5. Артёмчик, А. А. Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин / А. А. Артёмчик ; науч. рук. В. В. Ивашечкин // Материалы Республиканской студенческой научно-практической конференции в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации’2024», 13 декабря 2024 года [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет энергетического строительства, Кафедра «Водоснабжение и

водоотведение» ; сост.: С. А. Дубенок, А. А. Куралёнок – Минск : БНТУ, 2024. – С. 12-18.

6. WellJet [Electronic resource] // Hydropressure cleaning. — Mode of access: https://www.hydropressure.com/ – Date of access: 29.11.2025.

7. Well Services and Rehabilitation [Electronic resource] // Hydro resources. – Mode of access: https://hydroresources.com/services/ – Date of access: 29.11.2025.

8. Hydro Jet Cleaning and Vacuuming [Electronic resource] // Harry caswell llc. – Mode of access: https://www.harrycaswell.com/services/hydro-jet-cleaning-and-vacuuming/# – Date of access: 29.11.2025.

9. Hydro Jet Drain Cleaning [Electronic resource] // Harben. – Mode of access: https://harben.com/hydro-jet-drain-cleaning/ – Date of access: 29.11.2025.

10. Drainage washer guides [Electronic resource] // Hydro jet. – Mode of access: https://www.hidrojet.eu/en/drainage-washer-guides/ – Date of access: 29.11.2025.

11. Hydro-Jet Cleaning [Electronic resource] // Zenith plus. – Mode of access: https://zenith-mcs.com/hydro-jet-cleaning/index.html – Date of access: 29.11.2025.

12. Patent US 3945436 A, Int. Cl E21B 37/00, E21B 37/06. Hydraulic jet well cleaning : № 195303 : filing date 07.10.1980 : publ. date 14.09.1982 / W. Zublin. – URL: https://patents.google.com/patent/US4349073A/en (date of access: 10.11.2025).

13. High-Pressure Impulses for Well Development and Rehabilitation [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: https://etbs.de/wp-content/uploads/2024/01/high-pressure-impulses-for-well-development-and-rehabilitation.pdf – Date of access: 15.10.2025.

14. Scientifically proven method [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: https://etbs.de/en/scientifically-proven-method/ – Date of access: 29.11.2025.

15. New developed bi-rotational-unit significantly increases results of water well rehabilitations using the HPI-Process with high water pressure [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: https://etbs.de/wp-content/uploads/2023/02/Energie-Wasser-Praxis-02-2021-EN.pdf – Date of access: 11.10.2025.

16. Wasser – Grundlage des Lebens [Electronic resource] // Hessenwasser. – Mode of access: https://www.hessenwasser.de/wasser/ – Date of access: 29.11.2025.

17. Newly constructed nozzle rotation unit MAXINOZ shows significant performance increase at mechanical well rehabilitations [Electronic resource] // Etschel brunnenservice. – Mode of access: https://etbs.de/wp-

content/uploads/2023/02/maxinoz-shows-amazing-rehabilitation-results.pdf – Date of access: 15.10.2025.

18. Well Cleaning Nozzle [Electronic resource] // Kamat. – Mode of access: https://www.kamat.de/en/high-pressure-solutions/high-pressure-nozzles/well-cleaning-nozzle/ – Date of access: 29.11.2025.

19. Das Druckwellen-Impulsverfahren für die Regenerierung und Entwicklung von Brunnen [Electronic resource] // E+M Drilling Technologies. – Mode of access: http://www.em-drilling.com/pdf/druckwellen-impulsverfahren.pdf – Date of access: 15.10.2025.

20. Etschel, G. The Etschel Jet Master - a high pressure impulse process (HPI-Process) for water well rehabilitation and water well developmen / G. Etschel, R. Pietsch // Водные ресурсы и климат : материалы V Международного Водного Форума, Минск, 5-6 октября 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет ; [редкол.: проф. д-р техн. наук. О. Б. Дормешкин и др.] - Минск : БГТУ, 2017. - Ч. 1. - С. 34-3.

УДК 628.112.2

Сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпки фильтров водозаборных скважин

Артёмчик А.А., Шедько Д. А., Комаров Р. А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент

В работе приведен сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпок фильтров. Анализ содержит оценку их физико-механических, фильтрационных и эксплуатационных свойств, включая влияние на гидравлическое сопротивление, склонность к кольматажу и общую надёжность скважины. Сделаны выводы о перспективах применения различных материалов обсыпок.

В Республике Беларусь фактический срок службы большинства водозаборных скважин, составляет порядка 16-19 лет, что существенно меньше нормативного периода эксплуатации, который составляет не менее 25 лет. Эта существенная разница приводит к значительным финансовым затратам на бурение новых скважин [1, с. 12-18]. Одним из способов увеличения срока службы является снижение гидравлического сопротивления, турбулентности и скорости потока в фильтровой обсыпке.

Эффективность и долговечность водозаборной скважины в значительной степени определяются правильным выбором и конструкцией фильтровой зоны, ключевым элементом которой является обсыпка фильтра.

Целью данной статьи является сравнительный анализ природных и искусственных материалов для обсыпки фильтров водозаборных скважин, оценка их физико-механических и фильтрационных свойств, а также определение областей их рационального применения для повышения надёжности и экономической эффективности эксплуатации водозаборных скважин.

Обсыпка фильтра – искусственно вводимый материал, расположенный вокруг фильтрового каркаса, и контактирующий с водоносной породой. Подбор обсыпки фильтров водозаборных скважин – один из наиболее ответственных этапов при их проектировании, который в дальнейшем будет прямо влиять на срок службы скважины, а также на качество добываемой воды во время эксплуатации скважины. Ошибочно подобранные отверстия фильтрового каркаса и фильтровая засыпка или комбинация этих факторов – причина пескования скважин. Обсыпки фильтров предназначены для увеличения радиуса фильтра скважины, улучшения фильтрационных свойств пород в прифильтровой зоне и как конструкционный элемент, позволяющий увеличить размер проходных отверстий фильтрового каркаса (заменить собой сетчатые или иные фильтрующие поверхности), что позволяет выполнить фильтровой каркас большей скважности. Увеличение скважности фильтрового каркаса приведет к снижению входных скоростей потока через отверстия фильтра. Более низкие скорости уменьшат интенсивность процессов химического кольматажа. В результате увеличивается межремонтный период эксплуатации скважины.

К традиционным материалам для обсыпки фильтров относятся природные материалы: гравий, гравийно-песчаные смеси и кварцевый песок.

Материалы фильтрующей обсыпки должны быть отсортированными, однородными по гранулометрическому составу, обсыпки не должны содержать много минеральных фрагментов горных пород, химически активных материалов, таких как карбонат кальция и т.д., быть хорошо окатанными, гладкими. Эти физические свойства призваны увеличить пористость и, следовательно, проницаемость фильтрующей обсыпки. Применение разнородных смесей может вызвать длительное пескование скважин вплоть до выхода их из строя [2].

Предотвращение пескования достигается таким подбором размера отверстия относительного размера частиц обсыпки, при котором соблюдается критерии геометрической непросыпаемости [3].

Гравийные обсыпки могут быть как однослойные, так и многослойные. Число слоёв гравийной обсыпки зависит от гранулометрического состава водоносного пласта. В мелкозернистых породах, а также в породах, представленных среднезернистыми фракциями, применяется многослойная обсыпка, применение которой усложняет и удорожает сооружение скважины.

В зависимости от глубины скважины применяются два способа сооружения фильтров: гравитационный, при котором гравий осаждается вокруг фильтра при свободном падении на забой в затрубном пространстве под действием силы тяжести; и принудительного осаждения, при котором гравий подаётся на забой путём закачки потоком промывочной жидкости с использованием специального оборудования.

Для увеличения межремонтного периода (за счет замедления химического и биологического кольматажа) предлагаются альтернативные искусственные материалы. К искусственным и альтернативным материалам относятся шарики из полистирола, стекла, а также керамзитовый песок. Их гладкая поверхность с низкой шероховатостью уменьшает возможность закрепления и развития отложений и биопленки. Это особенно актуально, поскольку основные потери напора в скважине традиционно происходят в контактных зонах: на водоприёмной поверхности фильтрового каркаса и в области контакта обсыпки с водоносной породой.

Стеклянные шарики для фильтровой обсыпки представляют собой искусственный гранулированный материал. Их ключевой особенностью является форма, близкая к идеальной сфере, и строго калиброванный размер. Это свойство практически исключает образование «зависаний» при засыпке – распространённую проблему при использовании материалов природного происхождения [4, 5, 6].

Стеклянные шарики в качестве фильтровых обсыпок имеют следующие преимущества:

– оптимальные физические свойства. Высокая сферичность (85–95%) и однородность (коэффициент однородности ~1,09) обеспечивают стабильную и предсказуемую пористость, способствующую ламинарному потоку и улучшенным гидравлическим характеристикам;

– механическая прочность. Прочность на сжатие может превышать аналогичный показатель природного кварцевого песка в 7,4 раза, что предотвращает разрушение зёрен под нагрузкой и сохраняет первоначальную структуру порового пространства на протяжении всего срока службы скважины;

– химическая и эксплуатационная стойкость. Химическая инертность и гладкая поверхность снижают адгезию минеральных отложений и

биоплёнок. Это уменьшает скорость кольматажа, облегчает очистку и регенерацию, увеличивая межремонтные интервалы.

Технология монтажа и правила фракционного подбора стеклянных шариков аналогичны методам, применяемым для традиционных гравийных и песчаных обсыпок.

Ещё одним альтернативным материалом обсыпки фильтров водозаборных скважин являются *полистирольные гранулы* [7].

Гранулы пенополистирола обладают высокой химической стойкостью. В условиях эксплуатации скважины (отсутствие ультрафиолета, высоких температур, эфиров, нефтепродуктов, масел и ароматических углеводов) материал является инертным, физиологически безвредным и устойчивым к грибкам и микроорганизмам. Он также сохраняет стабильность при проведении реагентных обработок для декольматации, включая солянокислотные.

Преимущества пенополистирольной обсыпки по сравнению с гравийной:

– шаровидная форма гранул обеспечивает более высокую пропускную способность фильтра;

– большая ремонтопригодность при замени фильтра, установленного впотай (гранулы полувспененного полистирола могут быть вымыты из скважины и каркас фильтра беспрепятственно извлекается на поверхность);

– исключение «зависания» гранул в стволе скважины благодаря плавучести пенополистирола, что также способствует заполнению кавер в зафильтровом пространстве.

В число недостатков можно отнести:

– ограниченная механическая прочность – главный недостаток из-за низкой плотности материала (200…800 кг/м^3), обуславливает риск деформации и разрушения гранул под горным давлением. Предел прочности гранул пенополистирола при плотности гранул 200 кг/м^3 составляет от 2 до 4,5 МН/м^2, при увеличении плотности до 800 кг/м^3 предел прочности находится в пределах 40...50 МН/м^2. На основании этого рекомендуется применять полувспененные гранулы с плотностью более 500 кг/м^3, для скважин свыше 500 м рекомендуемая плотность 600...800 кг/м^3, что увеличивает стоимость обсыпки;

– способность сорбции при наличии ионов железа или марганца в подземной воде, которая зависят от степени их вспенивания;

– экологический аспект, заключающийся в загрязнения окружающей геологической среды устойчивым полимерным материалом.

Для размещения гранул в зафильтровом пространстве предлагается метод их принудительной закачки с помощью специального оборудования – питателя для пенополистирола (рис. 18 [7]).

Известна альтернатива применению кварцевого песка в качестве обсыпок фильтров в виде *керамзитового песка*. Эффективность такого песка достигается за счет уменьшения сил трения на 13% и повышения вероятности извлечения фильтров, установленных впотай при проведении капитального ремонта скважин [8].

Гранулы керамзитового песка также обладают более окатанной формой, что снижает интенсивность накопления отложений, что положительно влияет на срок службы скважины за счет уменьшения скорости кольматажа.

В табл. 1 приведены цены (с учётом НДС) за кубический метр каждого рассматриваемого вида обсыпок. Стоимость доставки в указанные цены не входит.

Таблица 1

Стоимость обсыпных материалов

Вид обсыпки	ед. изм.	Стоимость от, €
Песок кварцевый фильтрующий	$м^3$	9,81
Гравий фильтрующий	$м^3$	15,10
Гранулы пенополистирола	$м^3$	38,60
Стеклянные шарики	$м^3$	65,00
Тяжёлый керамзит	$м^3$	17,26

Традиционные природные материалы (гравий, кварцевый песок) остаются базовым решением благодаря низкой стоимости, однако их неидеальная форма, разброс в гранулометрическом составе ускоряют процессы кольматажа и приводит к преждевременному снижению дебита.

Альтернативные искусственные материалы предлагают решения ключевых эксплуатационных проблем:

– стеклянные шарики демонстрируют наилучший комплекс свойств: идеальная сферичность и однородность, химическая инертность и механическая прочность, их основной недостаток – высокая стоимость;

– гранулы пенополистирола обладают малым весом, что упрощает извлечение фильтра, однако их ограниченная механическая прочность ограничивает глубину применения, загрязняют водоносный пласт;

– керамзитовый песок представляет собой компромиссный вариант, сочетая более окатанную форму (по сравнению с кварцевым песком или гравием) и умеренную стоимость (по сравнению со стеклянными шариками), а также увеличивают вероятность успешного извлечения фильтровой колонны.

Сравнительная оценка стоимости материалов показала, что применение альтернативных обсыпок увеличивает стоимость сооружения скважины на 5 и более процентов. Однако важно учитывать, что эта разница в капитальных затратах компенсируется в процессе эксплуатации за счёт более длительного срока службы без реагентных обработок по

декольматации и их меньшей стоимости, а также благодаря существенной экономии при проведении капитального ремонта, связанного с извлечением фильтровой колонны, установленной впотай.

Литература

1. Артёмчик, А. А. Анализ некоторых циркуляционно-реагентных способов регенерации водозаборных скважин / А. А. Артёмчик ; науч. рук. В. В. Ивашечкин // Материалы Республиканской студенческой научно практической конференции в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации'2024», 13 декабря 2024 года [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет энергетического строительства, Кафедра «Водоснабжение и водоотведение» сост.: С. А. Дубенок, А. А. Куралёнок – Минск : БНТУ, 2024. – С. 12-18.

2. Johnson, A. I. Filter pack and well screen design / U. S. Department of the Interior Geological Survey. – Colorado : Hydrologic Laboratory, 1963. – 17 с.

3. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1985. – 334 с.

4. Shur-Pak Glass Bead Filter Pack [Electronic resource] // Johnson Screens. – Mode of access: https://johnsonscreens.com/wp-content/uploads/2025/08/Shur-Pak-Beads-Product-Sheet-Web.pdf – Date of access: 29.11.2025.

5. An Introduction to Engineered Glass Beads as a Filter Pack Media [Electronic resource] // Water Well Journal. – Mode of access: https://waterwelljournal.com/an-introduction-to-engineered-glass-beads-as-a-filter-pack-media/ – Date of access: 29.11.2025.

6. Engineering a Better Filter Pack [Electronic resource] // Water Well Journal. – Mode of access: https://waterwelljournal.com/engineering-a-better-filter-pack/ – Date of access: 29.11.2025.

7. Справочник по оборудованию буровых скважин обсыпными фильтрами / Ю. В. Пятикоп [и др.]. – М. : Колос, 1983. – 96 с.

8. Магарян, М. П. Эффективность применения керамзитового песка при оборудовании скважин гравийными фильтрами = Efficiency of keramzite sand useto equip water wells gravel filters / М. П. Магарян, В. В. Ивашечкин // Мелиорация. – 2016. – № 3. – С. 32-40.

УДК 629.12

Речное и морское водоснабжение и водоотведение на корабле: принципы, практика и регулирование

Бушейко Т.С.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель

В работе рассматриваются ключевые аспекты систем водоснабжения и водоотведения на морских и речных судах. Исследование объясняет, откуда корабли берут воду, как её очищают и хранят, а также каким образом происходит сбор, обработка и сброс сточных вод. Особое внимание уделяется соблюдению международных и национальных экологических норм, таких как МАРПОЛ, и практическим вопросам эксплуатации этих систем экипажем. Работа призвана дать чёткое представление об этой важной, но часто остающейся «за кадром» части судовой жизни, от которой напрямую зависит безопасность, здоровье людей и состояние окружающей среды.

Каждый корабль, от небольшого речного буксира до гигантского круизного лайнера, — это автономный мирок, изолированный от береговой инфраструктуры. Одной из самых насущных потребностей этой миниатюрной экосистемы является пресная вода. Она нужна не только для питья и приготовления пищи, но и для работы систем охлаждения двигателей, бытовых нужд экипажа и пассажиров, тушения пожаров. Не менее важна и обратная сторона вопроса — куда деваются все образующиеся на борту сточные воды и отходы жизнедеятельности.

Таким образом, надёжная работа систем водоснабжения и водоотведения — это не просто вопрос комфорта. Это краеугольный камень безопасности судна, санитарно-эпидемиологического благополучия на борту и, что становится всё важнее в современном мире, охраны морской и речной среды от загрязнения. Нарушения в этой сфере могут привести к серьёзным штрафам, задержанию судна в порту и репутационным потерям для судовладельца. Цель данной работы — доступно разобрать устройство, принцип работы и правовые основы этих сложных инженерных систем, показав, как они обеспечивают жизнь на борту в гармонии с природой.

Система водоснабжения на судне: от забортной воды до крана в каюте

Судовая система водоснабжения решает три главные задачи: добыча (или пополнение) воды, её очистка и опреснение (если нужно), а также хранение и распределение по потребителям [2].

Источники воды.

Береговая вода: самый простой способ – пополнить запасы в порту, подключившись к городскому водопроводу через специальные причальные соединения. Это гарантирует качество, но ограничивает автономность.

Забортная вода: в море или реке вода окружает судно, но она солёная или часто загрязнённая. Для её использования необходима сложная обработка.

Опреснение и очистка. Для превращения морской воды в пресную используются опреснительные установки. Чаще всего на судах применяют метод дистилляции (выпаривание с последующей конденсацией пара) или обратного осмоса (продавливание воды под высоким давлением через специальные мембраны, которые задерживают соли). Полученная вода затем проходит дополнительную очистку, фильтрацию и обеззараживание (например, хлорированием или ультрафиолетом), чтобы стать пригодной для питья.

Хранение и распределение. Очищенная вода хранится в специальных цистернах в трюмах судна – танках питьевой воды. Оттуда с помощью насосов она подаётся в разветвлённую сеть трубопроводов под постоянным давлением. Эта сеть, как паутина, охватывает всё судно, доходя до камбуза, санузлов, душевых, медицинского блока и машинного отделения. Отдельно существуют системы мытьевой воды (для технических нужд, стирки) и хозяйственно-бытовой воды.

Практический аспект для экипажа: Работа этой системы требует постоянного контроля. Мотористы или специалисты-водолазы следят за давлением в трубах, уровнем воды в танках, работой насосов и качеством воды (её солёностью, отсутствием бактерий) [1]. Протечка в системе – это не только нехватка воды, но и риск затопления отсеков.

Система водоотведения: что происходит с отходами

Если водоснабжение – это «артерии» судна, то водоотведение – его «вены». Эта система не менее сложна и строго регламентирована.

Типы сточных вод. На судне образуются три основных потока, которые нельзя смешивать [2]:

1. Хозяйственно-бытовые сточные воды (ХБВ): Всё, что сливается из раковин, душевых, прачечных. Это так называемые «серые воды».

2. Фекальные сточные воды: Отходы из туалетов («чёрные воды»).

3. Подсланевые воды: техническая смесь воды, масел, топлива и грязи, которая скапливается в самой нижней части машинного отделения – в трюме (слане). Это самый опасный с экологической точки зрения вид сточных вод.

Обработка и утилизация. Современное судно не может просто сбрасывать всё за борт. Для очистки используются специальные судовые сооружения [3].

Для ХБВ и фекальных вод применяют судовые очистные сооружения (СОС). Принцип их работы похож на береговые: сточные воды отстаиваются, разлагаются бактериями (биологическая очистка), обеззараживаются. Только после этого очищенную воду можно сбросить в море в разрешённых районах, а осадок (ил) накапливается для утилизации в порту.

Подсланевые воды ни в коем случае не сбрасываются. Их собирают в отдельный танк-сборник льяльных вод. В порту эти опасные отходы обязательно передаются на специальные береговые приёмные сооружения. На крупных судах часто устанавливают сепараторы для отделения нефтепродуктов от воды, чтобы максимально очистить воду перед сбросом или передачей.

Правовое регулирование судового водоотведения

Вся деятельность по водоотведению на судне жёстко контролируется. Основным международным законом является Конвенция МАРПОЛ (Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов) [5]. Её Приложение IV полностью посвящено сточным водам и запрещает их сброс близко к берегу, устанавливая специальные «санитарные зоны».

Контроль за соблюдением конвенций и национальных правил ведут классификационные общества (например, Российский морской регистр судоходства). Они выдают судну обязательные свидетельства, подтверждающие, что его системы и оборудование соответствуют нормам. Согласно российским требованиям, на борту судна должны находиться, например:

- свидетельство о предотвращении загрязнения сточными водами;
- журнал нефтяных операций (в него также вносятся операции со сточными водами и мусором) [1, 6].

Эти документы – главные «досье» судна в области экологии. Их наличие и правильное заполнение проверяют инспекторы портового контроля во время каждой стоянки.

Практическая работа экипажа с системами

Для рядового члена экипажа взаимодействие с этими системами складывается из чётких правил:

Эксплуатация: вахтенные механики обязаны ежедневно проверять работу насосов, очистных установок, контролировать уровень заполнения танков со сточными водами и льяльными водами [1].

Учёт: Все операции со сточными водами – сброс очищенной воды за борт, приём в танки, передача отходов в порту – должны немедленно и без

ошибок фиксироваться в соответствующих судовых журналах. Записи заверяются подписями ответственных лиц.

Ответственность: Каждый моряк должен понимать, что неправильное использование (например, сброс за борт мусора или пищевых отходов в неположенном месте) – это не мелкое нарушение, а экологическое преступление, за которое несёт ответственность всё судно [5].

В заключение необходимо отметить, что системы водоснабжения и водоотведения – это жизненно важные «органы» любого судна, будь то в морском или речном плавании. Их работа обеспечивает автономность плавания, безопасность и комфорт людей на борту. Однако сегодня их роль вышла далеко за рамки сугубо технической. Эти системы являются ключевым инструментом в выполнении экологических обязательств морской отрасли перед планетой.

Современные технологии очистки и жёсткое международное регулирование позволяют минимизировать воздействие судоходства на хрупкие водные экосистемы [2, 5]. От слаженной работы этих сложных механизмов и от экологической сознательности каждого члена экипажа зависит, будет ли корабль гостем в океане или его угрозой. Таким образом, эффективное управление водными ресурсами на борту – это не просто инженерная задача, а комплексная ответственность, лежащая в основе устойчивого и безопасного судоходства.

Литература

1. Типовой перечень судовых и эксплуатационных документов судов Военно-Морского Флота. — Москва : МОРКНИГА, 2014. — 2 с.

2. Вайсман Е. И., Григорьев С. А. Судовые системы водоснабжения и водоотведения: устройство и эксплуатация // Транспортная инфраструктура. — 2021. — № 4(38). — С. 45–52.

3. Wärtsilä. Marine waste & wastewater treatment. Systems for every vessel type [Электронный ресурс]. — URL: https://www.wartsila.com/marine/products/waste-and-wastewater-treatment (дата обращения: 02.12.2025).

4. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. — Введ. 2018-12-03. — Москва : Стандартинформ, 2018.

5. Калинин А. В. Правовые аспекты предотвращения загрязнения морской среды с судов в свете требований Конвенции МАРПОЛ // Морское право и практика. — 2020. — № 2. — С. 18–25.

6. Перечень документации по радиосвязи и электронавигации, которую должны иметь на борту морские суда и суда смешанного (река-море)

плавания : утв. Приказом Минтранса России от 30.06.1998 № 79. — Москва, 2025. — 4 с.

УДК 628.354

Перспективы использования MABR -реакторов для биологической очистки сточных вод

Гритченко А. В., Любинский П. Д.
Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день основными технологиями очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод являются методы, основанные на биологическом окислении загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах. Подавлявшая часть очистных сооружений оснащены системами биологической очистки в искусственных условиях, с использованием свободноплавающих (активный ил) и прикрепленными (биопленка) микроорганизмов. Системы с активным илом характеризуется высокими показателями производительности по удалению загрязняющих веществ в том числе и биогенных. Вместе с тем, функционирование системы с активным илом требует значительных затрат электроэнергии. Аэрация сточных вод является наиболее энергоемким процесс при очистке сточных вод. На современных очистных сооружениях затраты на аэрацию достигают 70% от суммарного потребления энергии и во многом определяет эффективность процесса в целом. Продолжаются исследования и разработки, связанные с снижением энергопотребления очистных сооружений. Актуальным направлением в этой области является использование мембранных комбинированных реакторов.

Значительная часть биологических очистных сооружений с удалением соединений азота используют разделение процессов нитрификацию и денитрификацию по разным технологическим емкостям или разделяются по времени. В схеме с предварительной денитрификацией сточная вода поступает в денитрификатор, затем в нитрификатор. При такой схеме организации очистных сооружений, исходная сточная вода, возвратный активный ил и поток внутренней рециркуляции иловой смеси с сточной водой из нитрификатора перемешиваются в денитрификаторе. При этом

организация внутренней циркуляции становится необходимой для подачи получаемого нитрата в денитрификатор. [1]

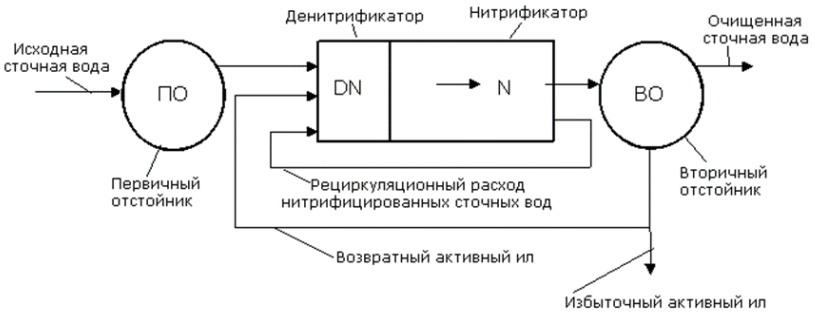


Рис. 1. Схема предварительной денитрификации.

Второй подход – разделение технологических операций по времени. Такой принцип используется в SBR – реакторах последовательного действия представляют собой установки с активным илом. (рисунок 2). Они отличаются от традиционных очистных сооружений тем, что все ступени и процессы биологической очистки совмещаются в одной технологической емкости. [1]

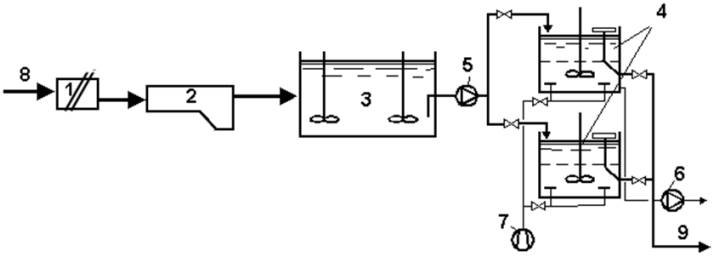


Рис. 2 Схема компоновки очистных сооружений с использованием реакторов последовательного действия.
1 – решетка, 2 – песколовка, 3 – приемный резервуар-накопитель для сточных вод перед биологической очисткой, 4-реактор последовательного действия, 5 – насосная установка для подачи сточной вод в реактор, 6 - насосная установка для отведения избыточного активного ила, 7 - воздуходувная станция, 8 – подача исходной сточной воды, 9- отведение очищенной сточной воды.

Каждый резервуар в системе очистки с SBR – реакторами заполняется в течение определенного периода времени и затем используется как порционный реактор. После обработки, иловая смесь разделяется путем осаждения активного ила и осветления очищенных сточных вод, образующихся над уровнем оседающего ила. После стадии осаждения производится декантирование (отведение) осветленной сточной воды из резервуара и удаление избыточного активного ила. После выдерживания активного ила в течение некоторого времени цикл обработки может начинаться снова. Последовательность фаз обработки представлена на рис3. Продолжительность каждой фазы обработки определяется исходя из цели очистки и параметров активного ила.

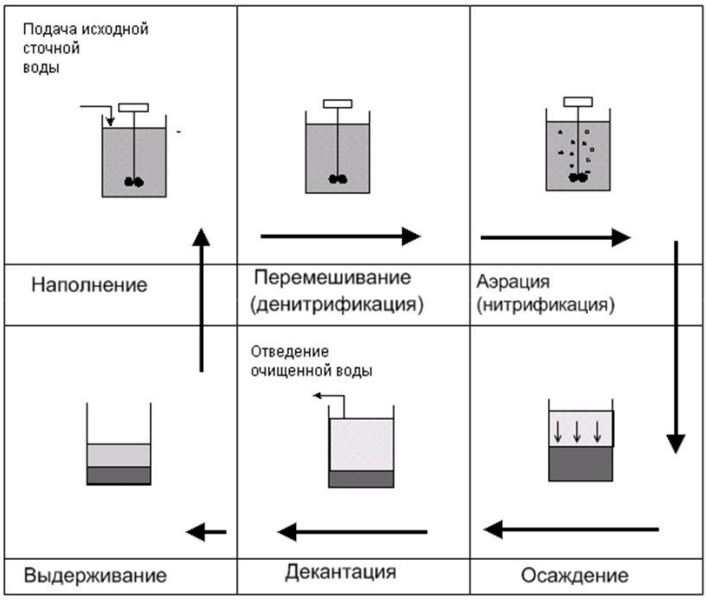


Рис. 3 Схема чередования фаз обработки в реакторах последовательного действия.

Цикл обработки может быть задан таким образом, чтобы создавались аэробные, анаэробные и аноксичные условия для биологического удаления биогенных веществ, включая нитрификацию, денитрификацию с достижением концентраций общего азота менее 5 мг/л, а также частичное удаление соединений фосфора.

Указанные технологии предусматривают аэрацию иловой смеси, и характеризуются значительным потреблением электроэнергии.

Потребность в кислороде при очистке сточной воды, OV. кг/сут, определяется как сумма расхода кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию с учетом снижения потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации по уравнению

$$OV = OV_C + OV_N - OV_D, \quad (1)$$

где OV_C – расход кислорода на деструкцию органических веществ;

OV_N – расход кислорода на нитрификацию, кг/сут;

OV_D – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

Значительный интерес существует к разработкам сооружений биологической очистки, которые бы позволили существенно снизили расход воздуха при биологической очистке. К настоящему времени разработаны комбинированные реакторы, позволяющие снизить затраты на аэрацию.

Одной из новых технологий очистки сточных вод является мембранный аэрируемого биоплёночный реактор (Membrane Aerated Biofilm Reactor (MABR). Технология МАБР – это процесс биологической очистки сточных вод, которая использует пассивную аэрацию с через мембраны, которые проницаемые для кислорода. [2,3]

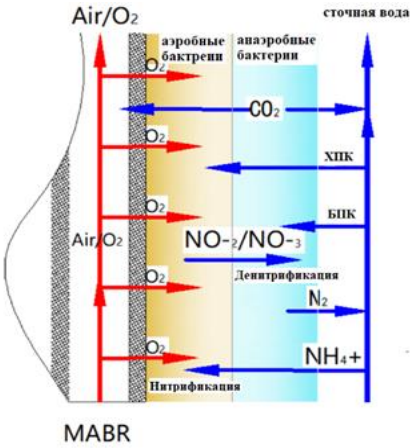


Рис. 4. Принцип работы технологии «MABR»

Перенос кислорода через мембраны основан на диффузии кислорода, обусловленной разницей концентраций кислорода в воздухе, подаваемой в пространство между мембранами, и концентрации кислорода в сточной

воде. При этом кислород переходит в воду из воздуха, который имеет низкое (атмосферное) давлении. Сточная вода находится под более высоким гидростатическим давлением. Механизм переноса кислорода при низком давлении позволяет значительно снизить энергопотребление процесса биологической очистки.

Мембраны, которые осуществляют перенос кислород в иловою смесь, погружены в резервуар для очистки сточных вод и, способствуют развитию аэробной биопленки микроорганизмов на своей поверхности. В области прилегающей к мембране создаются аэробные условия, где проводится окисление органических веществ и нитрификация. По мере удаления от мембраны как источника кислорода, его концентрация в иловой смеси снижается до минимума, и очистка сточных вод в этой области происходит в аноксичных условиях. В области с аноксичными условиями производится денитрификация с получение газообразного азота. Азот удаляется из MABR – реактора вместе с очищаемой сточной водой. Таким образом в MABR – реакторе одновременно происходит нитрификация и денитрификация. модули спирально навитых мембран. Мембранные модули погружены в емкости MABR – реактора различных размеров и глубины. В нижней части реактор под модулями оснащен крупнопузырчатыми аэраторами для периодического перемешивания. В нижнюю часть подается исходная сточная вода, и там же отводится избыточный ил.

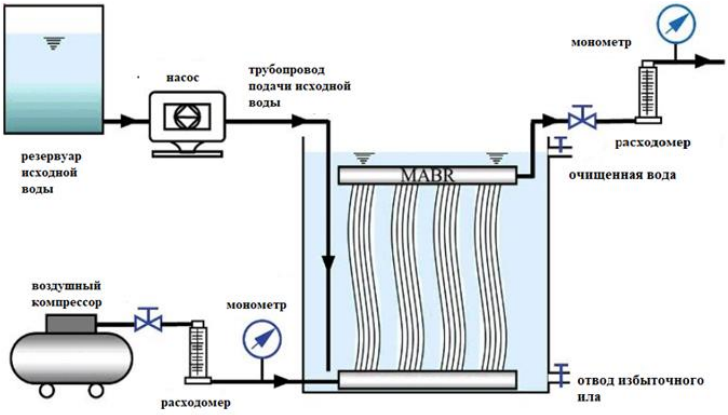


Рис. 5. Схема функционирования системы биологической очистки с использованием реактора «*MABR*»

Использование технологии использованием реакторов «MABR» позволяет снизить энергопотребление на аэрацию иловой смеси до 15 % от традиционных систем биологической очистки с активных илом.

Литература

1. СН 4.01.02–2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020.

2. Мембранный аэрированный биопленочный реактор [Электронный ресурс]: https://www.fluencecorp.com/how-does-mabr-work.

3. Биологическая очистка сточных вод [Электронный ресурс]: http://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/1254175/wio9781789060362.pdf.

УДК 628.354

Особенности расчета систем аэрации и подбора воздуходувок для сооружений биологической очистки сточных вод

Гритченко А. В., Любинский П. Д.
Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Аэрация сточных вод является наиболее энергоемким процесс при очистке сточных вод. На современных очистных сооружениях затраты на аэрацию достигают 70% от суммарного потребления энергии и во многом определяет эффективность процесса в целом. Биологическая очистка основана на использовании микроорганизмов, которые способны окислять или восстанавливать органические вещества, находящиеся в растворенном или взвешенном виде в сточных водах, для эффективного процесса требуется значительные расходы воздуха для перемешивания иловой смеси и обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов.

Потребность в кислороде при очистке сточной воды, кг/сут, определяется как сумма расхода кислорода на деструкцию органических веществ и нитрификацию с учетом снижения потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации по уравнению

$$OV = OV_C + OV_N - OV_D, \quad (1)$$

где OV_C – расход кислорода на деструкцию органических веществ;

OV_N – расход кислорода на нитрификацию, кг/сут;

OV_D – снижение потребности в кислороде за счет окисления органических веществ при денитрификации, кг/сут.

Расход кислорода на обработку сточной воды с целью деструкции органических веществ OV_C, кг/сут, рассчитывается по формуле:

$$OV_C = B_{\text{сут}} \cdot \left(0{,}56 + \frac{0{,}15 \cdot a_i \cdot 1{,}072^{(T-15)}}{1 + 0{,}17 \cdot a_i \cdot 1{,}072^{(T-15)}}\right), \quad (2)$$

где $B_{\text{сут}}$ – суточное поступление биохимически разлагаемых веществ на очистные сооружения, кг/сут, которое рассчитывается по формуле:

$$B_{\text{сут}} = Q_{\text{расч}} \cdot L_{en}, \quad (3)$$

где L_{en} – $БКП_5$ сточных вод, поступающих на биологическую очистку, мг/дм.

Чем больше температура и возраст ила, тем больше OV.

Расход кислорода на нитрификацию OV_N, кг/сут, рассчитывается по формуле:

$$OV_N = Q_{\text{расч}} \cdot \frac{4{,}3 \cdot \left(C_{NO_3D} - C_{NO_3en} + C_{NO_3ex}\right)}{1000}, \quad (4)$$

где C_{NO_3D} – концентрация нитратного азота, подлежащего денитрификации, мг/дм^3;

C_{NO_3en} – концентрация нитратного азота в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки, мг/дм^3;

C_{NO_3ex} – концентрация нитратного азота в очищенных сточных водах, отводимых от сооружений биологической очистки (от вторичных отстойников), мг/дм^3.

Снижение потребности в кислороде OV_D, кг/сут, за счет окисления органических веществ в аноксичных условиях при денитрификации определяется по формуле:

$$OV_D = Q_{\text{расч}} \cdot \frac{2{,}9 \cdot C_{NO_3D}}{1000}, \quad (5)$$

Характеристикой производительности и экономичности аэрационных установок являются параметры передачи кислорода при растворении.

Эффективность переноса кислорода зависит от типа аэратора, степени перемешивания им иловой смеси, степени диспергирования подаваемого

воздуха и др. факторов, влияющие на его объемный коэффициент массопередачи. Эффективность передачи кислорода в иловой смеси у мелкопузырчатых пневматических аэраторов выше, чем у среднепузырчатых, т.к. мелкие пузырьки имеют большую поверхность контакта с жидкостью и, большую скорость растворения кислорода.

Растворимость кислорода в воде $C_{S,St,T}$, мг/л измеряют при постоянной и одинаковой температуре воды, водонасыщенном воздухе при давлении 101,325 кПа и солесодержания $S_{TDS,St}$ равной 0 мг/л. [10]

Для оценки эффективности переноса кислорода из пузырьков воздуха в воду используется параметр SOTR (standard oxygen transfer rate) кг/ч, который выражает массовый расход кислорода, который переносится за определенный период времени в установившемся режиме от устройства аэрации при исходном содержании кислорода в воде С = 0 мг/л, при температуре воды T_W= 20 °С и атмосферном давлении (Р = 101,325 кПа) в резервуаре определенного размера с чистой водой. Параметр стандартный расход переноса кислорода в чистой воде SOTR кг/ч определяется по формуле

$$SOTR = V \cdot k_L a_{20}/1000 \quad (6)$$

где V – объем резервуара, м^3;

$C_{S,20}$ – концентрация кислорода в воде при температуре 20 °С, мг/л;

$k_L a_{20}$ – коэффициент переноса кислорода в чистой воде при Т= 20°С, ч$^{-1}$;

Коэффициент переноса кислорода в чистой воде при Т = 20° характеризует аэрацию в резервуаре, который зависит эффективности системы аэрации и конфигурации технологической емкости и рассчитывается по зависимости

$$k_L a_{20} = k_L a_{20} \cdot 1.024^{(20-T)} \quad (7)$$

где Т – температура воды, °С.

Удельная стандартная эффективность переноса кислорода SSOTE выражается в %, на 1 м погруженного аэратора в воде или же в граммах кислорода на метр погруженного аэратора в воде и на объем воздуха г/(м^3 м), которое используется для сравнения пневматических систем аэрации.

Для аэрации применяют мелкопузырчатые, среднепузырчатые, крупнопузырчатые, механические аэраторы. В последние время широко используют далее мелкопузырчатые виды (дисковые, трубчатые и т д,)

Тарельчатый (дисковый) аэратор представляет собой пластиковый каркас в форме диска с мембраной диффузоров. Воздух проходит по

распределительной системе и через мембраны попадает в сточные воды. Могут применяться диспергирующие воздух материалы из пористо-волокнистого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой. Под давлением воздуха мембрана выпучивается, в ней раскрываются отверстия и проходит воздух. Контрольный клапан впуска воздуха обеспечивает одинаковое сопротивление и распределение воздуха, а в длинных воздухораспределителях препятствует местному падению давления и поддерживает систему в работоспособном состоянии даже в случае механического повреждения. При прекращении подачи воздуха поры мембран автоматически закрываются, препятствуя проникновению жидкости и взвесей внутрь аэратора. При подаче воздуха происходит натяжение мембран, открытие пор и самоочищение изделия.

Рис.1. Дисковый аэратор

Диаметр аэратора 200 мм с пропускной способностью 2-6 м^3/ч воздуха. Монтируются аэраторы на воздуховоде на резьбовом соединении.

Трубчатые аэраторы состоят из трубчатого каркаса с заглушками на резьбе, имеющими сопрягаемые внутреннюю и наружную резьбы. На поверхность каркаса пневмоэкструзией наносят два слоя полимерного покрытия: первый (крупнопористый) – для равномерного распределения воздуха по длине модуля, второй (мелкопористый) – для диспергирования воздуха. Аэрационная плёнка при подаче воздуха раздувается и расправляется, убирая с поверхности аэрационного рукава отложения и нарастания, при этом происходит раскрытие микропор и начинается процесс аэрации. После отключения подачи воздуха под действием давления столба жидкости микропоры закрываются, плёнка рукава сжимается, исключая попадание воды внутрь аэратора. Внутри каждого аэратора встроен обратный клапан. Длина трубчатых элементов аэраторов 0,5-2,0 м при наружном диаметре 80-180 мм. Основное преимущество: стойкость к коррозии, срок его службы свыше 12 лет. Раскладка трубчатых аэраторов в аэротенке осуществляется

поперёк или вдоль коридора аэротенка по всему пространству, соединение между собой производится при помощи соединительных муфт на резьбе.

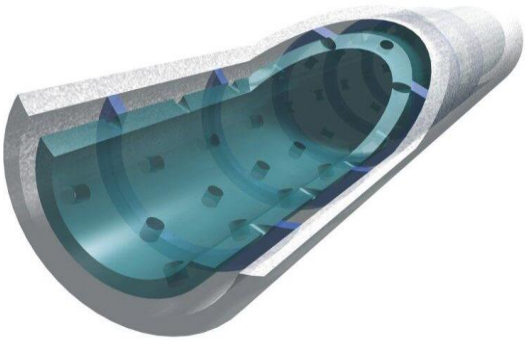


Рис.2.Устройство трубчатого аэратора

Характеристикой производительности и экономичности аэрационных установок являются параметры передачи кислорода при растворении.

Эффективность переноса кислорода зависит от типа аэратора, степени перемешивания им иловой смеси, степени диспергирования подаваемого воздуха и др. факторов, влияющие на его объемный коэффициент массопередачи. Эффективность передачи кислорода в иловой смеси у мелкопузырчатых пневматических аэраторов выше, чем у других типов, т.к. мелкие пузырьки имеют большую поверхность контакта с жидкостью и, большую скорость растворения кислорода.

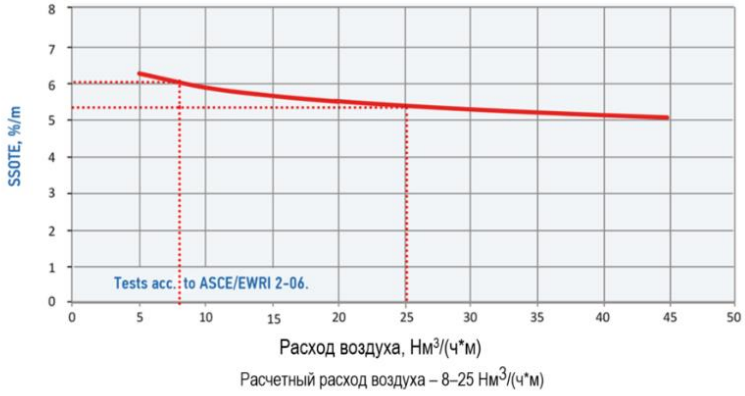


Рис.3. График стандартной эффективности переноса кислорода (SOTE)

Проектирование систем включает в себя несколько ключевых принципов: прежде всего, определяется общий требуемый расход воздуха, исходя из потребности в кислороде (определяемой через БПК/ХПК и нагрузку на активный ил) и эффективности переноса кислорода (ОТЕ) выбранных диффузоров; затем рассчитывается гидравлическая схема сети трубопроводов, где основная задача – минимизировать потери давления за счет трения и местных сопротивлений, для чего подбирается оптимальный диаметр труб (увеличение диаметра снижает скорость потока и потери давления, но увеличивает капитальные затраты), при этом скорость воздуха в магистральных трубопроводах обычно поддерживается в диапазоне 10-15 м/с, а в ответвлениях – ниже, чтобы обеспечить равномерное распределение воздуха между всеми диффузорами; для балансировки расхода между параллельными линиями часто используются диафрагмы или регулирующие клапаны, особенно в системах с полным покрытием дна; материал труб (например, ПНД, нержавеющая сталь) выбирается исходя из коррозионной стойкости и долговечности; также обязательно учитывается давление на выходе из воздуходувки, которое должно преодолеть потери в трубопроводе, глубину погружения диффузоров и их собственное сопротивление, при этом проектировщик всегда должен проверять систему на возможность будущего расширения. Также требуется обеспечивать возможность дренажа конденсата через уклоны и дренажные клапаны в нижних точках. В конечном счете, цель проектирования – создать сбалансированную систему, которая обеспечивает заданный массообмен кислорода при минимальных энергозатратах на преодоление гидравлического сопротивления.

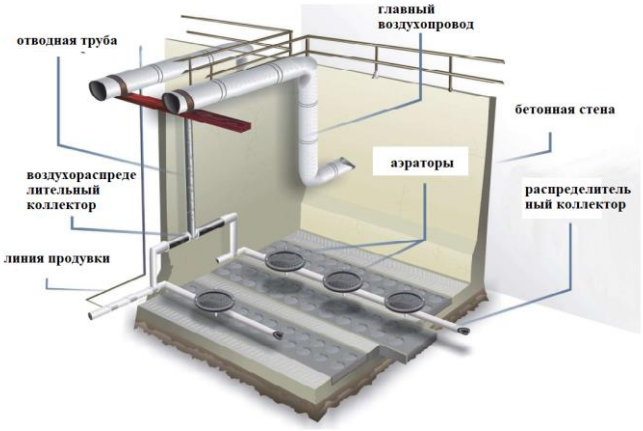


Рис.4. Устройство аэраторов в аэротенке

Воздушные компрессоры играют ключевую роль на различных этапах очистки сточных вод. Они обеспечивают подачу воздуха, который необходим для нормальной работы оборудования и биологических процессов.

Основные параметры воздухонагнетателей подача и давление воздуха. Рассчитываются исходя из конкретного назначения сжатого воздуха. Суммарное подача воздуходувок, обеспечивающих работу аэротенков станции аэрации сточных вод, определяется массой кислорода подаваемого воздуха для биологического окисления органических загрязнений сточных вод.

Производительность (подача) воздуходувки определяют исходя из максимального расчётного расхода воздуха с учётом содержания кислорода в атмосферном воздухе при нормальных условиях. Заводы-производители указывают производительность воздуходувок при нормальных условиях. Физические условия, характеризующие состояние газов при температуре 0°С и при давлении 0,101325 МПа и относительной влажности 0%, или при стандартных условиях, характеризующие состояние газов при температуре 20 0°С и давлении 0,101325 МПа. и относительной влажности 0%.

Содержание кислорода в атмосферном воздухе при нормальных условиях составляет 20,9% по объёму и 23,1% - по массе. Следовательно, зная требуемое количество кислорода, можно определить объёмный и массовый расход воздуха.

Расчетное давление воздуха, необходимого при подаче его в воздуходувную систему определяется по формуле:

$$P_{ОБЩ} = hcm + hвс + hmp + hаэр + hF + hизб \quad (8)$$

где *hcm* – глубина погружения аэраторов (давление столба воды, которое необходимо преодолеть воздуху при выходе из аэратора), м;

hвс - потери давления на трение и местные сопротивления в трубопроводах воздуходувной станции (от воздуходувки до наиболее удаленного стояка), м;

hmp – потери давления на трение и местные сопротивления по наиболее протяженной ветви воздуховода, м;

hаэр – потери давления в аэраторах (характеристика производителя), м;

h_F – поправочная величина, связанная со старением аэраторов, вызванным их засорение и износом, м;

hизб – резервное давление, принимаемое равным 0,05 м.

Для сооружений биологической очистки сточных вод для аэрации используют воздуходувки с избыточным давление 0,06 – 0,07 МПа. Наиболее распростанены многоступенчатые, центробежные с диапазоном

производительности, 0,50-60 тыс. м³/ч, одноступенчатые, центробежные, редукторные – 2,0-130 тыс. м³/ч, высокоскоростные, центробежные, безредукторные – 1-25 тыс. м³/ч, роторные и/или винтровые 0,03-25 тыс.м³/ч,

Определение энергопотребления воздуходувок представляет собой комплексный расчет, основанный на нескольких ключевых параметрах: требуемом расходе воздуха, который определяется потребностью в кислороде для биологической очистки; общем давлении, которое необходимо создать воздуходувкой, складывающемся из глубины погружения диффузоров, гидравлических потерь в трубопроводах, арматуре и самих диффузорах; а также от кпд самой воздуходувки и ее привода. Мощность, потребляемая воздуходувкой, прямо пропорциональна расходу воздуха и создаваемому напору и обратно пропорциональна совокупному кпд системы, при этом для точного определения эксплуатационных затрат необходимо учитывать режим работы, особенно способность системы к регулированию производительности (например, с помощью частотных преобразователей) для соответствия переменной нагрузке, поскольку работа на постоянной высокой мощности при низкой фактической потребности в кислороде приводит к значительному перерасходу электроэнергии

Таким образом, расчет системы аэрации систем аэрации для сооружениях биологической очистки сточных вод включает определение нагрузок загрязяющих веществ, расчет потребности в кислороде, и далее пересчет на воздух, определение расхода воздуха с учетом особенностей размещения трубопроводов и производительности аэраторов, подбор воздуходувок.

Литература

1. СН 4.01.02 – 2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020.

2. СТБ ISO 5814-2021. Качество воды. Определение растворенного кислорода. Электрохимический метод с применением зонда. – Минск: Госстандарт, 2022. – 20 с.

3. Воздуходувки [электронный ресурс] / Режим доступа: http://blowerair.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=37 – Дата доступа: 26.11.2025.

УДК 556.53(476)

Значение реки Днепр для Республики Беларусь

Гришанович У.А.
Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Научный руководитель Горелая О.Н., старший преподаватель

Актуальность темы обусловлена возрастающей нагрузкой на водные ресурсы в условиях экономического развития, а также глобальными экологическими вызовами. Река Днепр является системообразующим элементом для восточных регионов Республики Беларусь, интегрированным в природную, экономическую и социокультурную подсистемы страны.

Бассейн Верхнего Днепра представляет собой сложную природную систему. Его протяженность по территории страны составляет порядка 700 км, площадь водосбора – около 65 тыс. км², что охватывает значительную часть Витебской, Могилевской и Гомельской областей. Гидрологический режим характеризуется преобладанием снегового питания (до 50%) и выраженным весенним половодьем, что определяет высокую водность реки в этот период и риск паводковых ситуаций [2].

Экосистемная роль Днепра заключается в выполнении следующих функций:

– биокоридорная: Долина реки служит миграционным путем для ихтиофауны (более 50 видов рыб, включая ценные – судак, лещ, сом) и орнитофауны;

– стабилизирующая: пойменные ландшафты (луга, старицы, болота) играют ключевую роль в поддержании биоразнообразия, биогенной миграции элементов и регулировании гидрологического режима;

– средообразующая: аквальные и прибрежные комплексы формируют специфический микроклимат и являются местами обитания редких видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

Деградация этих экосистем ведет к необратимым последствиям для экологической безопасности всего региона.

Водоснабжение: Днепр является главным источником различных видов водопользования для более чем 1,5 млн человек, проживающих в его бассейне. Крупнейшие водопользователи – города Могилев, Шклов, Быхов, Рогачев и Жлобин. Промышленное водопотребление сосредоточено на таких водоемких производствах, как ОАО «Могилевхимволокно», предприятия химической и металлургической отрасли. Экономический

эффект заключается в обеспечении функционирования целых городских агломераций и промышленных кластеров [3].

Сельскохозяйственное водопользование. В условиях роста повторяемости засушливых периодов вода из Днепра и его притоков используется для орошения сельскохозяйственных земель. Это является важным фактором обеспечения продовольственной безопасности страны и стабилизации агропромышленного производства в восточных регионах.

Гидроэнергетика. Энергетический потенциал Днепра в Беларуси зарегулирован каскадом из трех малых ГЭС: Могилевской, Шкловской и строящейся Гомельской. Хотя их совокупная мощность (около 30 МВт) незначительна в масштабах национальной энергосистемы (менее 1%), они выполняют важную роль в локализации энергоснабжения, диверсификации ее источников и демонстрации использования возобновляемых ресурсов. Строительство ГЭС, однако, имеет и негативные экологические последствия: нарушение миграции рыб, заиление русел, трансформация пойменных экосистем.

Днепр исторически выступал в роли трансъевропейского геостратегического коридора. В эпоху раннего средневековья он стал стержнем пути «из варяг в греки», который определил экономическую и политическую интеграцию белорусских земель в систему европейских и средиземноморских связей. Города-полисы вдоль Днепра (Орша, Рогачев) были не только торговыми факториями, но и центрами ремесла и культуры.

В более поздний период (ВКЛ, Речь Посполитая, Российская империя) Днепр сохранял значение как внутренняя транспортная артерия и пограничный рубеж. В XX веке его долина стала ареной масштабных военных конфликтов (Гражданская и Великая Отечественная войны), что наложило отпечаток на мемориальный ландшафт региона (мемориалы, братские могилы). Таким образом, Днепр является материальным носителем коллективной исторической памяти белорусского народа.

В современной экономике, основанной на услугах, рекреационный потенциал Днепра приобретает новое значение [3]:

– рекреационное зонирование: прибрежные территории являются основными зонами кратковременного отдыха для жителей прилегающих городов (пляжный отдых, рыбалка, пикники)

– развитие спортивного и экологического туризма: организуются сплавы на байдарках и каноэ, велосипедные маршруты по берегам реки.

При этом стоит отметить, что интенсивное хозяйственное использование бассейна Днепра породило комплекс экологических проблем [4, 5]:

– химическое и биогенное загрязнение. Основные источники – недостаточно очищенные сточные воды промышленных центров (Могилев, Новополоцк – через притоки) и диффузный сток с сельскохозяйственных

угодий, несущий в реку биогены (азот, фосфор), пестициды и тяжелые металлы. Это приводит к «цветению» воды и деградации водных экосистем.

– морфометрические изменения. Зарегулирование стока каскадом ГЭС, дноуглубительные работы нарушают естественный гидрологический режим, приводят к деградации нерестилищ и снижению способности реки к самоочищению.

– обезлесение водосборных площадей. Вырубка лесов в водосборе усиливает эрозионные процессы и поступление взвешенных веществ в реку.

Данные проблемы требуют комплексных мер регулирования.

Управление трансграничным бассейном Днепра осуществляется в рамках многосторонних соглашений, ключевым из которых является Соглашение 1992 года о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов. Институциональным ядром является Межгосударственная комиссия по бассейну реки Днепр.

Достигнутые результаты:

1. Создана единая сеть мониторинга качества воды.
2. Разработаны и частично реализованы совместные программы по охране экосистем (например, программа «Днепр»).
3. Действует механизм оповещения о чрезвычайных ситуациях.

Проблемные области:

1. Несовершенство нормативной базы: Различия в национальных экологических стандартах и методах оценки;
2. Дефицит финансирования: Крупномасштабные природоохранные проекты требуют значительных инвестиций, что является тормозящим фактором.

В заключении следует подчеркнуть, что Днепр обладает значительным природно-ресурсным потенциалом, выступая основным источником водоснабжения для населения и промышленности, а также объектом для развития гидроэнергетики и мелиорации, историко-культурное значение реки является важным нематериальным активом, способствующим развитию туризма и формированию региональной идентичности.

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 37 с.
2. Козловская, Л.В. Оценка и прогноз качества вод бассейна реки Днепр на территории Беларуси / Л.В. Козловская // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 45–52.
3. Остапенко, А.А. Правовые основы трансграничного водного сотрудничества в бассейне реки Днепр / А.А. Остапенко // Белорусский журнал международного права и международных отношений. – 2020. – № 4. – С. 78–85.

4. Савченко, В.В. Экологические проблемы бассейна реки Днепр и пути их решения / В.В. Савченко // Вестник МГЭУ им. А.Д. Сахарова. Серия «Экология». – 2021. – № 1. – С. 112–120.

5. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.minpriroda.gov.by (дата обращения: 01.11.2025).

УДК 502.51:006

Оценка динамики поступления неорганизованного притока в составе сточных вод в системы коммунальной канализации населенных пунктов в Республике Беларусь

Денищик А.И.
Республиканское унитарное предприятие «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

На основании анализа статистических данных за 2022-2024 гг. выявлено, что доля дополнительного притока в общем объеме сточных вод на приемной камере очистных сооружений населенных пунктов варьируется от 1,12 % до 51,07 %. Установлено, что объём дополнительного притока определяется совокупным влиянием организационно-технологических факторов и природно-технических факторов. Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода к диагностике и учету дополнительного притока вод.

В настоящее время в Республике Беларусь в соответствии с данными Национального статистического комитета Республики Беларусь (далее – Белстат) насчитывается 115 городов (в том числе 22 города с численностью населения 50 000 человек и более), 85 поселков городского типа, а также 22991 сельских населенных пунктов.

В населенных пунктах в процессе хозяйственно-бытовой и производственной деятельности потребителей и абонентов образуются сточные воды, отведение которых осуществляется в централизованные либо нецентрализованные системы водоотведения (канализации).

Под централизованной системой водоотведения (канализации) понимается комплекс сооружений и устройств, предназначенный для

приема, отведения и очистки сточных вод, образующихся в хозяйственно-бытовой и производственной деятельности всей совокупности потребителей и абонентов населенного пункта [1]. Централизованные системы водоотведения (канализации) предусмотрены в городах, поселках городского типа, а также в некоторых сельских населенных пунктах.

Нецентрализованная система водоотведения (канализации) – сооружения и устройства, технологически не связанные с централизованной системой водоотведения (канализации) и предназначенные для приема сточных вод с последующей их транспортировкой ассенизационным транспортом на сливные станции или иные сооружения централизованных систем водоотведения (канализации) [2]. Нецентрализованные системы водоотведения (канализации) используются, как правило, в сельских населенных пунктах. В соответствии со сложившейся в населенном пункте схемой водоотведения сточные воды от абонентов и потребителей, поступающие централизованную систему водоотведения (канализации), могут направляться на:

– очистные сооружения сточных вод организации ВКХ (ЖКХ), представляющие собой сооружения биологической очистки в искусственных условиях, с дальнейшим сбросом сточных вод в водный объект;

– очистные сооружения сточных вод организации ВКХ (ЖКХ), представляющие собой сооружения биологической очистки в естественных условиях (поля фильтрации, грунтовые фильтрационные площадки для доочистки сточных вод, поля подземной фильтрации, фильтрующие колодцы, фильтрующие траншеи, песчано-гравийные фильтры, вентилируемые площадки подземной фильтрации, грунтово-растительные площадки), с дальнейшим сбросом сточных вод в окружающую среду;

– очистные сооружения сточных вод организации ВКХ (ЖКХ) другого населенного пункта;

– очистные сооружения сточных вод других водопользователей (предприятий).

Анализ данных статистической отчетности 1-вода (Минприроды) показал, что из 115 городов Республики Беларусь, имеющих централизованные системы водоотведения (канализации), в 89 городах отведение сточных вод осуществляется на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) с последующим выпуском очищенных сточных вод в поверхностный водный объект, в 18 городах – на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) с выпуском в окружающую среду (поля фильтрации), в 1 городе – на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) другого населенного пункта, в 7 городах – на очистные сооружения другого водопользователя (предприятия).

Из 86 поселков городского типа в Республике Беларусь, имеющих централизованные системы водоотведения (канализации), в 35 поселках городского типа отведение сточных вод осуществляется на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) с выпуском в поверхностный водный объект, в 46 поселках городского типа – на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) с выпуском в окружающую среду (поля фильтрации), в 2 поселках городского типа – на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) другого населенного пункта, в 2 поселках городского типа – на очистные сооружения другого водопользователя (предприятия).

Кроме того, в Республике Беларусь насчитывается порядка 77 сельских населенных пунктов, имеющих централизованные системы водоотведения (канализации), где отведение сточных вод осуществляется на очистные сооружения организаций ВКХ (ЖКХ) с выпуском в поверхностный водный объект.

В централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов помимо хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод от абонентов и потребителей, поступают дополнительные объемы воды, формируемые из нескольких источников (дополнительный приток).

В Республике Беларусь к дополнительному притоку относят всю разницу между учтенными сточными водами, оплаченными абонентами и потребителями, и общим объемом сточных вод, сбрасываемых после очистных сооружений в окружающую среду.

На практике в состав дополнительного притока вод в системы водоотведения (канализации) населенных пунктов может быть включен широкий перечень составляющих:

– поверхностные и грунтовые воды, поступающие через неплотности люков и дефекты трубопроводов;

– собственные сточные воды организаций ВКХ (ЖКХ), в состав которых входят хозяйственно-бытовые сточные воды, а также производственные сточные воды, образующиеся в результате работы станций водоподготовки, очистных сооружений сточных вод и иных объектов ВКХ (ЖКХ) – при отсутствии учета данных сточных вод предприятиями ВКХ (ЖКХ);

– сточные воды, поступающие в централизованную систему водоотведения (канализации) посредством ассенизационного транспорта – при отсутствии учета данных сточных вод предприятиями ВКХ (ЖКХ);

– сточные воды, отводимые абонентами и потребителями в централизованную систему водоотведения (канализации) сверх оплаченных объемов, что обусловлено отсутствием у большей части абонентов ВКХ инструментального учета сточных вод;

– часть хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, отводимых в централизованные системы водоотведения (канализации) и не учтенных приборами учета из-за их нечувствительности и из-за ухудшения метрологических характеристик в процессе их эксплуатации;

– сточные воды, образующиеся в результате коммерческих потерь воды за счет несанкционированного отбора воды потребителями из системы коммунального водоснабжения (самовольное подключение к системе коммунального водоснабжения, несогласованный разбор воды через обводные трубопроводы вокруг приборов учета, из гидрантов и водоразборных колонок, установленных на наружных водопроводных сетях), а также вода, не оплаченная абонентами, не имеющими водосчетчиков, при превышении фактического потребления воды над нормативным [3].

С целью оценки динамики поступления дополнительного притока вод в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов были проанализированы данные за период 2022-2024 гг., представленные водопользователями (организациями ЖКХ (ВКХ)) в статистической отчетности 1-вода (Минприроды), а также данные, представленные в опросниках, которые были разосланы организациям ЖКХ (ВКХ), эксплуатирующим централизованные системы водоотведения (канализации), для проведения более детальной оценки структуры и объемов сточных вод по категориям.

На основе сформированной информации выполнен анализ доли дополнительного притока вод за период 2022-2024 гг. Предварительно проведена дифференциация данных по населенным пунктам и выделены 4 группы:

1) населенные пункты с численностью населения более 100 тыс. человек;

2) населенные пункты с численностью населения от 20 тыс. человек до 100 тыс. человек;

3) населенные пункты с численностью населения от 10 тыс. человек до 20 тыс. человек;

4) населенные пункты с численностью населения от 2 тыс. человек до 10 тыс. человек.

В таблице представлены данные о процентном соотношении объемов дополнительного притока, поступающего в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, к общему объему сточных вод, сбрасываемых после очистных сооружений сточных вод населенных пунктов.

Процент дополнительного притока, поступающего в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов за рассматриваемый период варьировался от 1,12 % (г. Червень) до 51,07 %

(г. Березино), при этом в каждой из выделенных групп имеются населенные пункты как с низким, так и с высоким уровнем дополнительного притока вод.

Анализ полученных данных указывает на отсутствие прямой корреляции между объемом дополнительного притока, поступающего в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, с численностью населения населённого пункта.

Таблица

Объемы дополнительного притока вод в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов с группировкой в зависимости от населения за период 2022-2024 гг.

	1 группа		2 группа		3 группа		4 группа	
	наименование	%	наименование	%	наименование	%	наименование	
	г. Лида *(103 916 чел.)*	0,72	г. Волковыск *(41510 чел.)*	0,51	г. Березино *(11 366 чел.)*	1,07	г.п. Россь *(4 407 чел.)*	0,53
	г. Витебск *(358 395 чел.)*	3,66	г. Лунинец *(23 592 чел.)*	2,21	г. Малорита *(12 735 чел.)*	1,6	г.п. Шарковщина *(6 005 чел.)*	3,81
	г. Орша *(102 759 чел.)*	9,44	г. Слуцк *(60 056 чел.)*	8,77	г. Дрогичин *(14 804 чел.)*	4,26	г.п. Коханово *(3 727 чел.)*	7,69
	г. Брест *(344 470 чел.)*	3,41	г. Слоним *(48 907 чел.)*	9,7	г.Микашевичи *(12 222 чел.)*	3,99	г. Докшицы *(6 696 чел.)*	5,86
	г. Борисов *(135 696 чел.)*	9,88	г. Молодечно *(89 068 чел.)*	8,99	г. Поставы *(18 618 чел.)*	9,49	г. Толочин *(9 666 чел.)*	8,29
	г. Пинск *(124 295 чел.)*	8,81	г. Береза *(28 376 чел.)*	9,15	г. Белоозерск *(10 984 чел.)*	7,19	г. Каменец *(8 287 чел.)*	8,18
	г. Бобруйск *(207 351 чел.)*	2,46	г. Сморгонь *(35 422 чел.)*	8,86	г. Воложин *(10 015 чел.)*	9,6	а.г. Раков *(2 485 чел.)*	5,36
	г. Барановичи *(171 361 чел.)*	0,04	г. Вилейка *(26 625 чел.)*	2,99	г. Мосты *(14 447 чел.)*	3,38	пос. Октябрьский *(3 014 чел.)*	4,56
	г. Гродно	,97	г. Смолевичи	2,33	г. Ошмяны	2,32	г. Высокое	8,98

	1 группа		2 группа		3 группа		4 группа	
	наименование	%	наименование	%	наименование	%	наименование	
	(361 115 чел.)		*(22 679 чел.)*		*(16 787 чел.)*		*(4 913 чел.)*	
0			г. Жодино *(63 744 чел.)*	,66	г. Пружаны *(18 994 чел.)*	,85	г. Дубровно *(6 929 чел.)*	8,29
1			г. Кобрин *(52 635 чел.)*	,32	г. Иваново *(16 172 чел.)*	,82	г.п. Ивенец *(3 848 чел.)*	7,18
2			г. Ивацевичи *(22 377 чел.)*	,32	г. Червень *(10 545 чел.)*	,12	г.п. Руба *(7 662 чел.)*	2,74
3							г. Чечерск *(8 927 чел.)*	2,64
4							д. Новые Засимовичи *(2 112 чел.)*	,98

Очевидно, что на объем дополнительного притока будет оказывать влияние множество факторов, которые можно объединить в 2 группы:

– организационно-технологические (точность и достоверность учета всех видов сточных вод, организованно поступающих в системы водоотведения (канализации) населенных пунктов);

– природно-технические (гидрогеологические условия, рельеф, климат, состоянии сетей водоотведения (канализации)).

Организационно-технологические факторы, т.е. подход к учету сточных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, играет важную роль при учете дополнительного притока вод. Отсутствие учета сточных вод с разделением по категориям, таким как объем хозяйственно-бытовых сточных вод, доставляемых ассенизационным транспортом, объем собственных сточных вод предприятий ВКХ (ЖКХ), в т.ч. объем хозяйственно-бытовых собственных сточных вод организаций ВКХ (ЖКХ), объем производственных сточных вод организаций ВКХ и ЖКХ, объем производственных сточных вод от эксплуатации ОС организаций ВКХ и ЖКХ, объем поверхностных сточных вод (в случае их организованного поступления), может быть причиной значительного объема

дополнительного притока, поступающего централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов.

Природно-технические факторы оказывают влияние непосредственно на поступление дополнительного притока в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов. Так объем дополнительного притока вод будет зависеть от гидрогеологических условий (высокий уровень и подвижность грунтовых вод способствующий инфильтрации), рельефа (низменности увеличивают риск подтопления), климата (интенсивные осадки и таяние снега повышают поступление вод), возраста и материала сетей (устаревшие чугунные и асбестоцементные трубы имеют больше дефектов, чем современные полимерные), а также уровня модернизации инфраструктуры (замена устаревших сетей и мониторинг состояния сетей существенно снижают объемы дополнительного притока).

Полученные результаты подчеркивают необходимость применения комплексного подхода к выявлению и снижению дополнительного притока вод, включающего модернизацию сетей водоотведения (канализации), а также улучшение методов учета сточных вод с применением дифференцированного подхода с разделением по категориям сточных вод.

Литература

1. Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [Электронный ресурс]: пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 30 сент. 2016 г., № 788 : с изм. и доп. от 16 нояб. 2020 г. №654 // Бизнес-Инфо / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2025.

2. О питьевом водоснабжении и водоотведении (канализации) [Электронный ресурс]: проект закона Респ. Беларусь, принят Палатой представителей в первом чтении 05.11.2025 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь / Национальный центр законодательства и правовой информации Республики Беларусь. – М., 2025.

3. Голод, Ю.В., Дубенок, С.А. Совершенствование законодательства Республики Беларусь в области учета сточных вод, поступающих в централизованные системы канализации населенных пунктов // XVI Междунар. науч.-практ. симпозиум и выставка «Чистая вода России-2021», Екатеринбург 17-20 мая 2021 г. / Федеральное государственное бюджетное учреждение Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов; редкол. Морозов М.Г. и [и др.] – Екатеринбург, 2021 – С. 22-30.

УДК 556.532(476)

Роль Вилейского водохранилища для Беларуси

Долинкевич А.И.
Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Научный руководитель Горелая О.Н., старший преподаватель

Вилейское водохранилище, крупнейший искусственный водоем в Беларуси, представляет собой сложный и многогранный объект, требующий комплексного изучения. Однако, Вилейское водохранилище подвержено различным экологическим проблемам, требующим постоянного внимания и принятия мер по их решению.

Проблема обеспечения стабильного водоснабжения быстрорастущего самого крупного города страны – Минска остро встала в 60-е годы XX века. Существующие источники водоснабжения не могли удовлетворить растущие потребности населения и промышленности. Для решения этой проблемы был разработан проект Вилейско-Минской водной системы, центральным звеном которой стало Вилейское водохранилище [1, 4].

Целью строительства Вилейского водохранилища являлась перераспределение части стока реки Вилия (Нярис) в бассейн реки Свислочь, обеспечивая стабильное водоснабжение г. Минска. Это решение позволило значительно увеличить объем водных ресурсов, доступных для нужд города.

В рамках проекта по строительству Вилейского водохранилища (1968-1975 гг.) была построена плотина на реке Вилия в районе деревни Сосенка, а также каналы, соединяющие водохранилище с г. Минском. Официальное открытие состоялось в 1976 году.

Вилейское водохранилище характеризуется значительными размерами и объемом, что позволяет эффективно регулировать сток реки Вилия и обеспечивать стабильную подачу воды в Минск.

Основные гидрологические параметры водохранилища [2]:

– площадь водного зеркала: около 79,2 км^2;
– полный объем: 267 млн м^3;
– полезный объем: 230 млн м^3;
– максимальная глубина: 33 м;
– средняя глубина: около 3,4 м;
– протяженность: около 25 км;
– ширина: до 5 км;
– годовой сток: перебрасывается в Минск около 250 млн м^3 воды;

– площадь водосбора: 4750 км².

Водохранилище имеет вытянутую форму с изрезанной береговой линией, образующей многочисленные заливы и полуострова. Основным источником питания является река Вилия, а также атмосферные осадки и поверхностный сток с прилегающих территорий. Гидрологический режим водохранилища регулируется с помощью плотины и других гидротехнических сооружений.

Создание Вилейского водохранилища привело к трансформации существовавшей речной экосистемы и формированию новой, более сложной [2]. При этом, возникли и экологические проблемы, связанные с антропогенным воздействием и изменением гидрологического режима:

– эвтрофикация: повышенное содержание биогенных элементов (азота и фосфора) в воде, вызванное отводом сточных вод от сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов, приводит к интенсивному развитию водорослей, ухудшению качества воды и снижению содержания кислорода;

– зарастание: активное разрастание водной растительности в прибрежной зоне снижает площадь открытой воды, затрудняет судоходство и рекреацию;

– заиливание: накопление донных отложений (ила) уменьшает глубину водохранилища и ухудшает качество воды;

– изменение видового состава ихтиофауны: изменение условий обитания приводит к изменению видового состава рыб. Некоторые виды, предпочитающие быстрое течение, становятся менее распространенными;

– антропогенное загрязнение: поступление загрязняющих веществ с бытовыми и промышленными сточными водами, а также с поверхностным стоком с загрязненных территорий.

Вилейское водохранилище играет важную роль в социально-экономическом развитии Минской области и страны в целом [3]:

– водоснабжение: до недавнего времени основной источник питьевой воды для Минска, обеспечивающий водой более 2 миллионов человек;

– сельское хозяйство: используется для орошения сельскохозяйственных угодий, повышая урожайность;

– рыбное хозяйство: является базой для развития рыбного хозяйства, где разводятся различные виды рыб;

– рекреация и туризм: привлекательное место для отдыха и туризма, предлагающее возможности для рыбалки, водных видов спорта и пляжного отдыха.

На сегодняшний день, развитие инфраструктуры, связанной с водохранилищем, способствует созданию новых рабочих мест и повышению уровня жизни местного населения.

В будущем Вилейское водохранилище должно продолжать выполнять свои функции по обеспечению водоснабжения, а также развивать свой рекреационный и туристический потенциал [4].

Для этого необходимо:

– совершенствовать систему управления водными ресурсами: внедрять современные методы мониторинга и прогнозирования состояния водохранилища;

– обеспечивать экологическую безопасность: реализовывать программы по снижению эвтрофикации, зарастания и загрязнения водохранилища;

– развивать инфраструктуру для туризма и рекреации: создавать новые туристические объекты, предлагающие разнообразные виды активного отдыха, и улучшать существующую инфраструктуру

– проводить экологическое просвещение населения: повышать осведомленность населения о важности сохранения водных ресурсов и бережного отношения к окружающей среде.

Вилейское водохранилище является важным и многофункциональным объектом, играющим ключевую роль в обеспечении различных нужд водоснабжения, развитии сельского хозяйства и туризма в регионе. Однако, для обеспечения устойчивого развития и сохранения его экологической ценности необходимо постоянное внимание к решению существующих экологических проблем и разработка эффективных мер по управлению водными ресурсами. В целом, комплексный подход, основанный на научном обосновании и участии всех заинтересованных сторон, позволит сохранить Вилейское водохранилище для будущих поколений.

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 37 с.

2. Водные ресурсы Беларуси: оценка, прогноз, управление / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2007. – 312 с.

3. Логинов, В.Ф. Экологическое состояние водных объектов Беларуси. – Минск: Белсэнс, 2002. – С. 92-105.

4. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.minpriroda.gov.by (дата обращения: 01.11.2025).

УДК 628.12: 62-523

Анализ типов повысительных установок, применяемых для повышения давления в системе внутреннего холодного водоснабжения

Житко М.В., Беркин С.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Литвинова А.П.

В статье представлен сравнительный анализ различных типов повысительных насосных установок, применяемых для обеспечения нормативного давления в системах внутреннего холодного водоснабжения зданий.. Оценена их пригодность для стандартов и условий водоснабжения в Республике Беларусь, а также указаны рекомендации по выбору оптимального варианта в зависимости от назначения и нагрузки объекта.

Повысительные установки (ПУ) становятся необходимыми на объектах, где давление, поставляемое наружной сетью, недостаточно для обеспечения нормативных значений на всех точках разбора воды. В условиях Беларуси – для многоэтажных и общественных зданий, а также объектов с нестабильным водоразбором – их применение особенно актуально. Цель настоящей работы – рассмотреть и оценить основные типы ПНУ, их конструктивные особенности, режимы эксплуатации и целевое назначение.

1. Требования к давлению во внутренних системах холодного водоснабжения

Согласно белорусским нормам проектирования, системы внутреннего водоснабжения должны обеспечивать минимально допустимый напор у санитарных приборов, достаточный для нормального функционирования арматуры и оборудования. При постоянном или периодическом недостатке давления в системах водоснабжения следует предусматривать устройство повысительных насосных установок [1]. К требованиям к таким станциям относятся: надёжная работа при изменяющемся расходе, возможность автоматического управления, энергоэффективность, низкий уровень шума и долговечность.

2. Классификация повысительных установок

Существуют три способа повышения давления в сетях водоснабжения зданий:

– использование напорно-запасных баков;
– использование насосных установок;
– использование гидропневматических установок [3, С.33].

ПУ классифицируются по следующим признакам:

2.1. По принципу создания и поддержания давления

– насосные (активные): Давление создаётся исключительно работой насосного оборудования;

– аккумулирующие (ёмкостные): Давление создаётся за счёт потенциальной энергии (гравитации) или энергии сжатого газа, а насосы используются для пополнения запаса;

– водонапорные баки (гравитационные): Давление обеспечивается высотой расположения открытого бака. Обеспечивают запас и стабильность, но требуют усиленных конструкций и утепления;

– гидропневматические установки (ГПУ): Давление создаётся сжатым воздухом в закрытых мембранных баках большого объёма. Позволяют аккумулировать значительный объём воды под давлением в любой точке здания, компенсируя пиковые нагрузки;

– комбинированные (гибридные): Сочетание насосов с системами аккумулирования (например, ЧРП-станция + батарея гидроаккумуляторов) для максимальной эффективности и надёжности.

2.2. По числу насосов

– однонасосные станции (для частных домов и небольших объектов);

– многонасосные станции с каскадным включением и резервированием (для многоквартирных, общественных, высотных зданий).

2.3. По принципу регулирования и управлению

– бустерные станции без накопительного бака;

– станции с гидроаккумулятором – для сглаживания перепадов потребления и защиты насосов от частых пусков.

3. Анализ типов повысительных установок и их эксплуатационные особенности

3.1. Водонапорные баки

Применяются для зданий, в которых при среднестатистическом водопотреблении напор и расход от наружной сети обеспечиваются, а при максимальном водопотреблении – нет. Устанавливаются, как правило, на верхних этажах зданий. Данная установка позволяет рационализировать использования энергии насосов городской водопроводной сети, а также допускает осреднение секундных расходов до величин среднечасовых.

3.2. Гидропневматические установки

Гидропневматические установки переменного давления – экономичное, но требующее квалифицированного обслуживания решение.

Принцип их работы основан на аккумулировании энергии сжатого воздуха. При максимальном водоразборе насосы напрямую подают воду в сеть здания. При снижении потребления излишек воды поступает в гидропневматический бак, сжимая находящийся там воздух. Достигнув верхнего расчётного давления или уровня, насос автоматически

отключается. Далее водоснабжение происходит за счёт запаса в баке: вода вытесняется в сеть под давлением сжатого воздуха. Когда давление (или уровень) падает до минимального порога, автоматика снова запускает насосы для подкачки. Таким образом, установка работает в циклическом режиме, что позволяет рационально использовать энергию насосов, сокращая число их пусков и покрывая пиковые нагрузки за счёт аккумулированной энергии.

3.3. Повысительные насосные установки

3.3.1. Станции с частотным регулированием (ЧРП)

Данный тип ПНУ обеспечивает стабильное и точное поддержание давления, плавные пуски, защиту оборудования и снижение энергопотребления. Они особенно удобны для многоэтажных зданий, где водоразбор меняется по времени и этажности. Хотя стоимость таких станций выше, их эксплуатационная эффективность и долговечность оправдывают вложения для средних и крупных объектов.

3.3.2 Многонасосные станции с каскадным управлением

Эти системы позволяют распределять нагрузку между насосами, обеспечивать резервирование, равномерно изнашивать оборудование и адаптироваться под переменный поток воды. Это особенно важно для объектов с высоким и неравномерным водоразбором – жилых комплексов, административных зданий, общественных учреждений.

3.3.3. Релейные установки с фиксированной частотой

Такие станции примечательны простотой конструкции, невысокой ценой и простотой обслуживания. Однако они дают нестабильное давление при переменном водоразборе, имеют высокие пусковые токи и неэкономичны по энергозатратам. Это решение рационально лишь для объектов с малым и равномерным водопотреблением.

4. Сравнительная оценка и рекомендации

Выбор типа ПУ зависит от множества факторов: этажности и назначения здания, ожидаемой нагрузки, характера водоразбора, требований к надёжности и энергоэффективности.

Краткие рекомендации по выбору:

– коттедж, малый расход: Насосная станция с гидробаком;

– многоэтажный жилой дом, офис, гостиница: блочно-модульная насосная станция с ЧРП – стандарт по сочетанию эффективности, комфорта и надёжности;

– при необходимости бесперебойности работы при отключении электричества – водонапорный бак или ГПУ с резервным питанием насосов;

– в случае ограниченной мощности ввода/пиковых нагрузок: гидропневматическая установка (ГПУ) или комбинация ЧРП-станции с батареей гидроаккумуляторов.

Таким образом, для современных жилых и административных зданий Беларуси наилучшим вариантом являются многонасосные станции с частотным регулированием и системой автоматики, обеспечивающие стабильное давление, экономичную и надёжную работу.

Литература

1. ТКП 45-1.02-298-2014. Строительство. Предпроектная документация. Состав, порядок разработки и утверждения. Минск, 2014.

2. Инженерные системы зданий и сооружений (водоснабжение и водоотведение): учеб.-метод. пособие / Г.Н. Белоусова, А. М. Ратникова ; М-во трансп. И коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. –44 с.

3. Санитарно-техническое оборудование зданий. Конспект лекций: учеб. пособие / Т.В.Малютина, Л.А.Грунюшкина, Е.В.Титов, В.Д. Черкасов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 108 с.

УДК 629.735

Повышение надежности очистки сточных вод от станции обслуживания автомобилей

Зорочкина М.С., Хаданович Ж.О.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Терещенко А. В., ст. преподаватель

В статье рассмотрены источники нефтесодержащих сточных вод, факторы, ухудшающие эффективность очистки, и комплекс мер по повышению надежности очистных систем. Приведены технические решения и практические рекомендации для проектирования и эксплуатации.

В современном мире наблюдается интенсивный рост исследовательской и практической деятельности, связанной с проблемами загрязнения окружающей среды. Среди наиболее распространённых загрязнителей поверхностных и подземных водных объектов выделяются нефтепродукты, попадание которых обусловлено преимущественно деятельностью промышленных предприятий и инфраструктурных объектов, таких как нефтебаза, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, гаражные комплексы и автотранспортные стоянки. В настоящее время в

Республике Беларусь насчитывается тысячи предприятий различных отраслей, которые допускают сброс нефтесодержащих сточных вод без соответствующих мероприятий по их очистке. В результате ежегодно в водные источники попадают сотни тонн нефтепродуктов, что способствует ухудшению экологической ситуации и представляет угрозу для биологических и гидрологических систем.

Данная ситуация обусловлена рядом факторов, среди которых особое место занимает несовершенство технологических схем и конструктивных решений очистных сооружений, что препятствует эффективной нейтрализации нефтяных загрязнений. Вследствие этого актуализируется необходимость разработки и внедрения более современных и технологически продвинутых методов очистки.

Для очистки нефтесодержащих сточных вод чаще всего применяются такие системы очистки как тонкослойный отстойник, пластинчатый коалесцер и электрокоагулятор.

Тонкослойный отстойник представляет из себя технологическую установку для высокоэффективного разделения взвешенных частиц из сточных вод посредством введения наклонных тонкослойных элементов. Его устройство направлено на уменьшение высоты водного слоя и организацию многоплоскостного контакта потока с ламелями позволяющими достичь требуемой степени очистки.

Проектирование тонкослойного отстойника осуществляется на основе расчетов по максимальному расчетному притоку сточных вод и предполагает интеграцию тонкослойных модулей в зоне отстаивания существующих камер либо их формирование в составе новой конструкции. Тонкослойные блоки, выполненные в виде ламелей и установленные под углом порядка 55–60° к горизонту, делят объём на серию тонких слоёв, что увеличивает единичную площадь осаждения и ускоряет перенос частиц к поверхностям оседания. Противоточная схема движения – снизу-вверх - обеспечивает более равномерный контакт флокул с ламелями и способствует эффективной миграции очищенной фазы к сборным лоткам.

Функционирование установки включает несколько последовательно осуществляемых этапов: гашение кинетической энергии входящего потока и равномерное распределение по площади в приёмной камере; самотечное продвижение через зону отстаивания с прохождением через пакеты ламелей; сбор осветленной жидкости в надламельном лотке; накопление и последующее удаление осадка в коническом днище посредством отводных патрубков. Конфигурация поверхностей ламелей и их наклон обеспечивают самопроизвольное скатывание накопленного ила в нижний накопительный отсек, что делает возможным как периодическую, так и

автоматизированную систему отведения осадка и снижает трудозатраты на эксплуатацию.

Оценка времени технологической выдержки показывает, что при типичных условиях достигаемый уровень очистки соответствует требованиям при ориентировочном времени пребывания потока порядка 40 минут; при возрастании нагрузок целесообразно корректировать объём камеры или увеличивать количество ламелей. Дополнительное повышение эффективности достигается посредством внедрения вибрационных технологий и применения эмульгаторов: механические колебания и химико-механическая обработка способствуют разрушению агрегатов, улучшению коагуляции и повышению скорости осаждения, что приводит к снижению остаточного содержания взвешенных веществ в выходной воде и увеличивает пропускную способность системы.

Тонкослойный отстойник представляет рациональное инженерное решение, для повышения эффективности первичной очистки сточных вод, обеспечивает значительное возрастание эффективной поверхности осаждения без необходимости увеличивать горизонтальные габариты сооружен. Комбинирование пласти-ламельных пакетов с вибрационными и автоматическими системами удаления осадка обеспечивает технологическую гибкость и снижает эксплуатационные издержки. [4]

Ещё одним эффективным физическим методом очистки является применение коалесцера пластинчатого типа. Он предназначен для гравитационного отделения механических примесей и нефтепродуктов. Конструкция обеспечивает простоту обслуживания, эффективную коалесценцию и возможность интеграции с дополнительной фильтрацией.

Коалесцер предназначен для ламинарного движения воды. Модуль состоит из олеофильных съёмных нержавеющих пластин с малыми зазорами, установленными под углом 45°-60° к горизонту в поперечной плоскости. Объёмный насос подаёт смесь воды и нефтепродуктов в горизонтальный пластинчатый коалесцер. Обороты насоса должны быть низкими, чтобы не образовывалась эмульсия; в коалесцере скорость потока понижается и выравнивается перед подачей на модуль пластин. Вода течёт горизонтально, капли нефти поднимаются, смачивают пластины, сливаются в крупные капли/плёнку, стекают к верхнему срезу и отрываются в накопитель сверху.

На входе обязателен механический фильтр с сеткой 1 мм для предотвращения крупных загрязнений. Мелкие механические частицы, прошедшие фильтр, оседают и попадают на пластины, скатываются вниз и накапливаются в донной части в виде шлама/ила. Для их удаления предусмотрены фланцевые отводы и ревизионный люк.

Уловленные нефтепродукты собираются в верхней части сепаратора; уровень раздела фаз контролируется двухфазным уровнемером. При достижении нижнего уровня автоматически открывается сбросной клапан до достижения верхнего уровня.

Выделяют такие преимущества как простая конструкция, съёмный модуль пластин, который легко чистится водой под давлением или горячим паром, автоматический отвод нефти. [6]

Наряду с физическими и биологическими способами водоочистки получили распространение электрохимические методы. Одним из них является электрокоагуляция.

Электрокоагуляция - электрохимический метод очистки воды с растворимыми электродами. Электроустановки представляют из себя вертикальные или горизонтальные электролизеры с пластинчатыми электродами на расстоянии до ~25 мм. Это ненапорные агрегаты, работающие в одном или нескольких потоках; время удержания воды обычно 1–5 минут. Перед направлением сточных вод в электролизер крупные взвеси отстаивают или фильтруют, чтобы не засорять пространство между электродами.

Процесс начинается с растворения металлических электродов, обычно изготовленных из железа или алюминия, под действием электрического тока. В результате этой реакции образуются ионы металлов, которые служат коагулянтами. Ионы металлов реагируют с ионами гидроксила в воде с образованием гидроксидов металлов. Эти гидроксиды очень эффективны при адсорбции загрязнений и формировании более крупных и легко удаляемых частиц. Гидроксиды металлов дестабилизируют взвешенные частицы в воде, нейтрализуя их электрические заряды. Дестабилизация позволяет частицам объединяться и образовывать более крупные агрегаты. Когда дестабилизированные частицы сталкиваются, они образуют крупные хлопья, которые затем можно легко удалить из воды путем осаждения, флотации или фильтрации.

Этот метод эффективен для очистки оборотных и сточных вод промышленности, для нефтепродуктов электрокоагуляция даёт 50–70% удаления масел и продуктов нефти и почти полное удаление жиров при оптимальных условиях. Метод хорошо сочетается с флотацией и фильтрацией и легко автоматизируется. Преимущество метода перед реагентной коагуляцией - отсутствие избытка сульфатов и хлоридов в обработанной воде. Недостатками являются зависимость скорости реакций от состава воды, необходимость замены или восстановления электродов и контроль параметров тока для оптимальной работы. [5]

Повышение надёжности очистки сточных вод достигается за счёт комплексного подхода: внедрения эффективной предварительной очистки,

комбинированных технологических схем, систем автоматизированного контроля и регулярного обслуживания. Реализация этих мероприятий обеспечит экологическую безопасность, экономию ресурсов и устойчивую эксплуатацию объектов СТО.

Литература

1. Кравцов А.М. Локальные сооружения очистки нефтесодержащих сточных вод малых стокообразующих объектов/ А.М. Кравцов, В.И. Блоцкий, А.М. Ган// Агропанорама, № 6, 2005. - С. 22-26.
2. Тотева Б.Т. Очистка сточных вод автотранспортных предприятий: дис. канд. техн. наук: 05.23.2004/ Б.Т. Тотева. - М., 1988. – 165 с.
3. А.М. Кравцов, канд. тех. Наук, В.Ф. Круглый, Е.А. Круглая Современные фильтрующие материалы для очистки промливневых сточных вод//Агропанорама 31.05.2007
4. Тонкослойный отстойник для очистки сточных вод. УралАктив. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://uralactiv.by/oborudovanie-dlya-ochistki-stochnyh-vod/tonkosloynyy-otstoynik/. - Дата доступа: 25.11.2025.
5. Электрокоагуляция для очистки воды. Diasel. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://diasel.ru/article/chto-takoe-elektrokoagulyaciya-vody/. - Дата доступа: 25.11.2025.
6. Пластинчатый коалесцер для очистки сточных вод. ООО «ЭкоТехнологии». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://xn----7sbkhbhzbhjhkebqk7b3m.xn--p1ai/Coalescer.htm. Дата доступа: 25.11.2025.

УДК 69+628.2(083.74)

Вакуумные канализационные сети

Каравацкая К.С., Марушевский В.О.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,
Научный руководитель Полякова О.Е., ст. преподаватель

Вакуумные системы канализации – это современная альтернатива традиционным самотечным и напорным системам. К ключевым факторам эффективности данной технологии относятся значительная экономия водных ресурсов, достигающая девяноста процентов по сравнению с традиционным смывом, существенное снижение капитальных затрат на производство земляных работ, а также высокая гибкость прокладки трубопроводов.

Традиционные канализационные системы используют питьевую воду для транспортировки отходов, что увеличивает глобальный дефицит водных ресурсов. Вакуумная канализация – решение, которое позволяет избежать высокую стоимость и энергоемкость строительства самотечных сетей в условиях сложного рельефа, высокого уровня грунтовых вод и плотной городской застройки, приобретающее важное значение для санитарного благоустройства удаленных и рассредоточенных населенных пунктов.

Элементами систем водоотведения с использованием вакуумных канализационных сетей является:

— приемные колодцы (камеры);

— сеть вакуумных трубопроводов;

— вакуумно-насосная станция;

— напорный трубопровод от вакуумно-насосной станции.

Сеть вакуумных трубопроводов состоит из отводящих и сборных вакуумных трубопроводов. Схема вакуумной канализационной сети изображена на рис. 1 из строительных правил [3].

Вакуумная система канализации: действия и компоненты

Движущая сила работы вакуумной системы канализации – это разница давления между атмосферным давлением в зданиях и разрежением (обычно, пол-атмосферы), поддерживаемым в магистральном трубопроводе, что приводит к активной транспортировке сточных вод по коллектору к вакуумной станции.

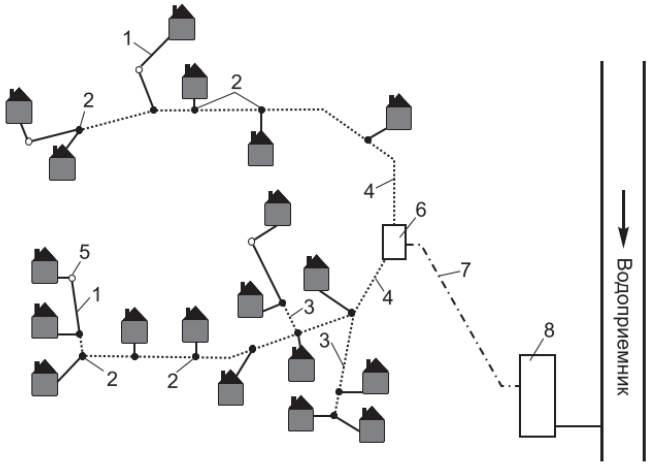


Рис. 1. Схема вакуумной канализационной сети

1 – отводящий безнапорный канализационный трубопровод; 2 – приемный колодец; 3 – отводящий вакуумный трубопровод; 4 – сборный вакуумный

трубопровод; 5 – смотровой колодец на безнапорном канализационном трубопроводе; 6 – вакуумно-насосная станция; 7 – напорный трубопровод; 8 – очистные сооружения

Вакуумные клапаны «решают все»: устанавливаются в каждом здании и открываются лишь когда накапливается заданный объем сточных вод. Это обеспечивает рациональный сброс. Для сети вакуумных трубопроводов малого диаметра необходим лишь минимальный уклон с прокладкой, возможно, выше уровня грунтовых вод. Вакуумная станция создает и поддерживает разрежение в сети, используя вакуумные насосы, резервуары для сбора сточных вод и насосы для их дальнейшей перекачки на центральные очистные сооружения. Автоматизированная система управления и контроля обеспечивает бесперебойную работу и оперативное обнаружение неисправностей.

Сопоставление вакуумной и традиционной канализации

Самотечные системы характеризуются высоким расходом воды на один смыв, вакуумные системы требуют лишь одного или двух литров, и это решающее преимущество в условиях недостатка воды. При строительстве вакуумных систем используются трубопроводы малого диаметра, прокладываемые на небольшой глубине. Строительство самотечных коллекторов большего диаметра связано с заложением глубоких траншей и дорогостоящими земляными работами. Трассировка вакуумной сети позволяет с легкостью огибать подземные препятствия и адаптироваться к рельефу, а траектория самотечной системы жестко зависит от требуемых уклонов. Эксплуатационные затраты вакуумной системы на энергопотребление занимают промежуточное положение между низкими затратами на обслуживание самотечных систем и высокими затратами напорных систем

Преимущества:

– значительная экономия водных ресурсов;

– существенное снижение капитальных затрат;

– высокая степень герметичности системы обеспечивает экологическую безопасность, предотвращая проникновение грунтовых вод в коллектор и утечку сточных вод в окружающую среду;

– быстрота монтажа и гибкость проектирования.

Недостатки:

– работа вакуумных систем зависит от бесперебойного электроснабжения, что требует организации резервных источников питания;

– повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала;

– чувствительность к попаданию посторонних предметов и абразивных веществ;

– работа клапанов и насосов может создавать шум, чему можно противопоставить грамотное проектирование и звукоизоляцию.

Перспективы применения вакуумной канализации в условиях Беларуси

1. Зоны с особыми экологическими требованиями и сложными условиями для строительства.

Это рекреационные и природоохранные территории, такие как национальные парки и заповедники, где сохранение ландшафтов и водоемов от загрязнения становятся приоритетной задачей. Герметичность вакуумной системы полностью исключает проникновение сточных вод в почву и грунтовые воды, что особенно важно вблизи озер и рек. Гибкость прокладки трубопроводов позволяет минимизировать вмешательство в природную среду при подключении удаленных турбаз, гостиниц и кемпингов, сохраняя корневые системы деревьев и естественный рельеф. Кроме того, значительная экономия воды при смыве позволяет понизить нагрузку на локальные источники водоснабжения во время повышенной туристической активности.

2. Исторические города с плотной застройкой и сложным рельефом.

При реконструкции в таких местах возможность прокладки труб малого диаметра без крупных земляных работ помогает сохранить культурный слой и избежать повреждения исторических фундаментов.

3. Частные домовладения в малых населенных пунктах и агрогородках.

Строительство глубоких самотечных коллекторов в этих условиях экономически нецелесообразно, вакуумные системы могут стать решением проблемы водоотведения путем создания компактных кластерных систем для групп домов.

4. Транспортная инфраструктура, особенно на автотрассах и железнодорожных станциях.

Автозаправочные комплексы, придорожные сервисы и вокзалы, часто расположенные в отдалении от центральных сетей, получают возможность организовать безопасный сбор и последующий вывоз сточных вод без риска для окружающей среды.

5. Временные и сезонные объекты – летние лагери, фестивальные площадки и рынки.

Здесь решение – эффективная система канализации без капитального строительства.

Таким образом, вакуумная канализация в Беларуси может занять важное значение в решении задач по охране окружающей среды, сохранению истории и развитию инфраструктуры в труднодоступных районах. Для успешной реализации этого потенциала необходима разработка соответствующих нормативных документов, подготовка специалистов и

реализация пилотных проектов, демонстрирующих эффективность технологии в конкретных условиях республики.

Литература

1. Строительные правила Республики Беларусь СП 4.01.02-2022 Сети наружной канализации и сооружения на них. Утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 30 декабря 2022 г. № 114.

УДК 628.196

Выбор варианта дезинфекции сооружений водоснабжения на основе оценки жизненного цикла

Каравацкая К.С., Марушевский В.О.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Комаров М.А.

Вариант дезинфекции сооружений водоснабжения на основе оценки жизненного цикла фокусируется не просто на уничтожении микробов, а на экологической и экономической эффективности всего процесса: от выбора дезинфицирующих веществ, их влияния на окружающую среду (образование побочных продуктов), до утилизации, с учетом энергозатрат, рисков для здоровья и долгосрочной надежности системы, чтобы минимизировать воздействие на природу и человека на всех этапах жизненного цикла сооружения.

Текст статьи: Дезинфекция поверхностей различных видов стали актуальна для пищевой промышленности, мест общественного питания, здравоохранения и на постоянной основе дезинфекция используется на сооружениях водоподготовки [1–4].

Регулярная дезинфекция поверхностей необходима, но некоторые из них или их побочные продукты могут быть опасны для окружающей среды и здоровья [5, 6]. Одним из примеров является утилизация хлорсодержащих сточных вод, которые собираются после очистки и могут представлять опасность для окружающей среды [7]. Дезинфекция также приводит к ускоренной деградации материала. Это может привести к усилению коррозии даже после периода обработки, если дезинфицирующие средства

попадут в поры или трещины. Время обработки обычно составляет 6–24 часа при обработке хлором и всего 0,5 часа при обработке озоном [8].

Оценка значимости потенциальных воздействий исследуемой системы на окружающую среду проводится на основании данных инвентаризационного анализа [9]. Для оценки жизненного цикла процесса дезинфекции сооружений водоснабжения применялся программный продукт SimaPro 8.04. В качестве единицы расчета выбрано получение 1 $м^3$ дезинфицирующего раствора. Сравнение осуществляли по следующей методике:

Первоначально определяются категории воздействия (канцерогенные эффекты, респираторные эффекты, истощение озонного слоя, воздействие на водные и земельные ресурсы и др.). Полученные результаты применения различных дезинфицирующих веществ по категориям воздействия показали, что наиболее небезопасным хлор содержащим дезинфицирующим веществом для окружающей среды и человека является использование гипохлорита кальция и натрия, однако, согласно методике расчета, применение насыщенного раствора озона является источником загрязнения водных объектов и почв тяжелыми металлами.

Следующим этапом оценки жизненного цикла является взвешивание, заключающееся в оценке значимости каждой категории воздействия для объединения значений категорий в единую величину, отражающую экологическую характеристику исследуемой системы. Результаты оценки жизненного цикла на данной стадии представлены на рисунке 1 и 2.

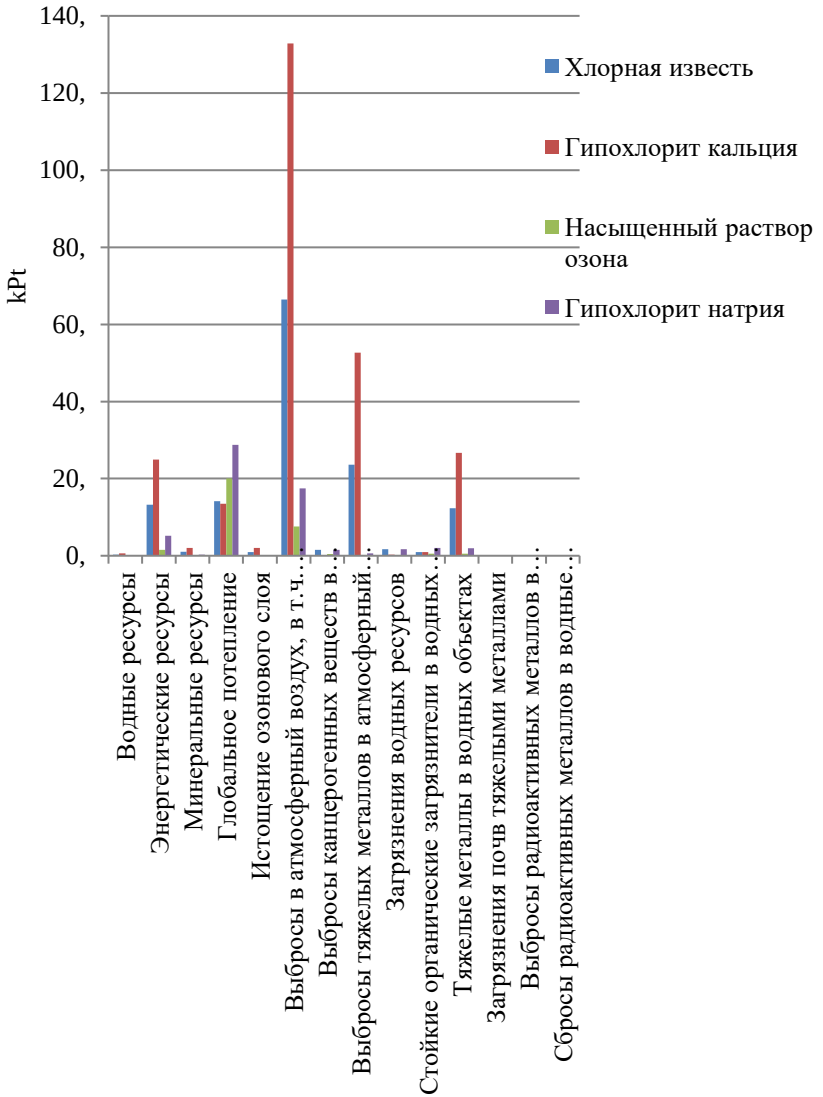


Рис.1. Оценка жизненного цикла различных дезинфицирующих веществ по результатам взвешивания

Рис. 2. Применение различных дезинфицирующих веществ по результатам взвешивания

Применение методики оценки жизненного цикла для сравнения применения различных веществ для дезинфекции сооружений водоснабжения показало, что наименьшее значение экоиндикатора соответствует варианту применения раствора озона в воде. Кроме того, необходимо отметить, что из вариантов применения хлор содержащих веществ наилучшей характеристикой обладает гипохлорит натрия.

Таким образом, оценка жизненного цикла позволила определить количественные экологические показатели различных дезинфицирующих веществ, включая стадии их производства, приготовление реагента и непосредственно процесс дезинфекции. На основании оценки жизненного цикла можно предсказать возможные последствия по таким категориям воздействия, как здоровье человека, состояние экосистем, а также

истощение природных ресурсов, а также обосновать выбор наилучшей технологии при сравнении альтернативных вариантов.

С экологической точки зрения обработка озоном имеет преимущество перед обработкой гипохлоритом, так как не образуется отходов или образуется ограниченное количество отходов. Хотя озон относится к тем же классам опасности, что и гипохлорит натрия, в отношении водных организмов [4], его преимущество заключается в том, что он может образовываться непосредственно в водоеме в закрытой системе и что его период полураспада составляет в среднем 20 минут. Это приводит к значительно меньшему воздействию на окружающую среду обработки озоном по сравнению с обработкой гипохлоритом натрия или кальция.

Самое высокое воздействие гипохлорита кальция на окружающую среду среди дезинфицирующих средств для поверхностей можно объяснить, главным образом, значительным воздействием на окружающую среду на этапе его производства. Также следует отметить, что приготовление дезинфицирующего раствора свежей поверхности гипохлорита кальция включает исходный препарат в концентрации 10 мас.%, который затем следует хранить в течение суток, отфильтровывать от нерастворимых отложений и окончательно разбавлять до необходимой концентрации. Напротив, производство гипохлорита натрия включает только электролиз хлорида натрия на месте. Для окончательного дезинфицирующего раствора гипохлорита натрия этот раствор побочного продукта только разбавляется без образования осадка. Озон генерируется и впрыскивается в воду непосредственно во время обработки.

Оценок воздействия дезинфекции поверхностей водных объектов на жизненный цикл немного, в то время как они относительно распространены для обработки воды или сточных вод [3, 4]. В этих исследованиях было обнаружено, что озон оказывает меньшее воздействие на окружающую среду по сравнению с хлорсодержащими дезинфицирующими средствами, что согласуется с этим исследованием дезинфекции поверхностей.

Литература

1. Оценка воздействия на окружающую среду дезинфицирующих веществ / М.А. Комаров [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – Т. 36. – №. 1. – С. 87–93.

2. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В. И. Романовский [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. - 2015. - № 2 (92). - С. 68-71.

3. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции поверхностей в водных растворах озона и гипохлорита натрия / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2024. – Т. 36. – №. 1. – С. 94–99.

4. 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. – №. 5. – P. 793.

5. Romanovski V. et al. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste // Engineering Reports. – 2025. – Т. 7. – №. 1. – P. e13028.

6. Beletskii E.V. et al. Fall and Rise: Disentangling Cycle Life Trends in Atmospheric Plasma-Synthesized FeOOH/PANI Composite for Conversion Anodes in Lithium-Ion Batteries // ChemEngineering. – 2024. – Т. 8. – №. 1. – P. 24.

7. Рымовская М.В., Романовский В.И. Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2016. – №. 4 (186). – С. 214-219.

8. Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – №. 14. – С. 89-93.

9. Коррозия нержавеющих сталей в дезинфицирующих растворах / А.В. Поспелов [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – №. 1 (33). – С. 90-93.

УДК 628.31

Источники образования сточных вод предприятий железнодорожного транспорта

Комаров Р.А., Шедько Д.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент

В работе рассматривается состав и загрязняющие вещества сточных вод железнодорожных предприятий, а также методы их очистки. Анализируются источники загрязнений и нормативы, предложены

технологические решения для снижения вредного воздействия на окружающую среду.

На железнодорожном транспорте имеется большое количество различных промышленных предприятий и других объектов, на которых образуются производственные и близкие к ним по составу дождевые и талые сточные воды. Это локомотивные и вагонные депо, ремонтные заводы, промывочно-пропарочные станции, шпалопропиточные заводы, пункты подготовки грузовых вагонов, обмывки пассажирских вагонов и электросекций, дезинфекционно-промывочные пункты и станции, предприятия метрополитена (депо, ремонтные заводы и базы), щебеночные заводы, рельсосварочные поезда, автобазы, компрессорные станции, котельные, прачечные, прирельсовые склады удобрений и ядохимикатов и другие объекты.

Расходы производственных сточных вод, состав и концентрация их загрязнений зависят от вида предприятия или объекта, технологического процесса на нем, производственной мощности предприятия, комплекса местных условий и могут существенно отличаться друг от друга на разных предприятиях. Однако, как показывает практика, расходы производственных стоков на основных предприятиях железнодорожного транспорта сравнительно невелики и, как правило, не превышают 2000 $м^3$/сут. Основными видами загрязнений производственных сточных вод для большинства предприятий железнодорожного транспорта являются взвешенные вещества минерального и органического происхождения и нефтепродукты. В сточных водах от некоторых предприятий и объектов содержатся также фенолы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), тяжелые металлы, кислоты, щелочи и другие загрязнения [4].

Локомотивные и вагонные депо, ремонтные заводы. Производственные сточные воды образуются при наружной и внутренней обмывке подвижного состава, при промывке и опрессовке его узлов и деталей, при промывке и заправке аккумуляторов, при продувке паровозных котлов и оборотных систем, при охлаждении компрессоров и другого оборудования, при выпуске воды из гальванических ванн, систем отопления вагонов и охлаждения дизелей, от мытья полов в производственных помещениях, при стирке спецодежды и т.д. Раз в семь-десять дней в канализацию этих предприятий производятся залповые сбросы отработанных моющих растворов из ванн моечных машин, в которых содержится большое количество механических примесей (взвешенных веществ), нефтепродуктов и щелочей. Залповые сбросы отработанных моющих растворов в производственную канализацию приводят к резкому

ухудшению качественного и количественного состава сточных вод депо и заводов, при этом резко возрастает pH сточных вод – до 10–13 единиц.

Кроме того, в канализацию поступают охлаждающие эмульсии металлорежущих станков, подтоварная вода из нефтехранилищ, содержащая значительное количество нефтепродуктов и механических примесей, использованные растворители (керосин, дизельное топливо и др.) [2, 3].

Суточные расходы производственных сточных вод обычно не превышают 200 $м^3$/сут, иногда достигая значения 400–600 $м^3$/сут; на заводах составляют около 1000 $м^3$/сут, достигая иногда 1700–2200 $м^3$/сут. Состав производственных сточных вод депо и заводов характеризуется следующими данными: содержание экстрагируемых веществ составляет в среднем 150–500 мг/$дм^3$, а механических примесей – 200–450 мг/$дм^3$. При залповых выпусках сточных вод из моечных машин и ванн концентрация загрязнений (экстрагируемых веществ и механических примесей) в общем стоке повышается и составляет от 5–10 до 3–5 тыс. мг/$дм^3$; pH сточных вод находится в пределах 7–9; $БПК_{полн}$— 50 мг/$дм^3$; ХПК — 100 мг/$дм^3$; ПАВ — 10 мг/$дм^3$.

Методы очистки сточных вод железнодорожного транспорта. На предприятиях железнодорожного транспорта Республики Беларусь очистка сточных вод в основном производится по следующей схеме: отстаивание в нефтеловушке, контакт с реагентами и осветление на фильтрах. Более глубокое удаление нефтепродуктов при данной технологии осуществляется фильтрованием. В качестве фильтрующей загрузки используется активированный уголь, древесная стружка или опилки, кусковой кокс, керамзит, пенополиуретан, сипрон, стекловолокно, угольная ткань. Однако больший эффект очистки дают полимерные материалы благодаря более высокой поглощающей способности. Широкое внедрение таких материалов сдерживается недостаточным объемом их выпуска. Кроме того, основное внимание надо уделять изысканию сорбентов из дешевого сырья или производственных отходов, что и является целью данной работы.

Промывочно-пропарочные станции и пункты. Производственные сточные воды образуются, в основном, при промывке и пропаривании цистерн из-под нефти, мазута, дизельного топлива, смазочных масел, керосина, бензина (в том числе и этилированного), других нефтепродуктов, пищевых жиров и прочих наливных грузов. Эти воды сильно загрязнены нефтепродуктами и взвешенными веществами. Общее количество нефтепродуктов в этих сточных водах составляет 200–3000 мг/$дм^3$, достигая иногда до 10000-20000 мг/$дм^3$; содержание механических примесей в стоках составляет до 1000-3000 мг/$дм^3$. Кроме того, в сточных водах могут содержаться фенолы, ПАВ, органические кислоты, щёлочи, ацетон и пр.; в

сточных водах от промывки цистерн из-под этилированного бензина присутствует также тетраэтилсвинец. В канализацию промывочно-пропарочных станций попадают также воды от охлаждения оборудования, продувки котлов в котельной, промывки водоумягчительных фильтров, воды от душевых, прачечных, мытья эстакад, производственных помещений, атмосферные воды и т.п. Суточные расходы сточных вод на промывочно-пропарочных станциях составляют в среднем 300–1 000м^3/сут, а при оборотном использовании промывных вод – 100–300 м^3/сут. Средний состав загрязнений сточных вод промывочно-пропарочных станций следующий: содержание эфирорастворимых веществ – 80 (5 000) мг/дм^3; содержание механических примесей – 400 (2 000) мг/дм^3; щелочность – 5–6,5 мг-экв/дм^3; БПК$_{полн}$ – 150 мг/дм^3; ХПК – 300 мг/дм^3; фенолы – 20 мг/дм^3; pH – 7–9 (12–13); температура – 50–60° (40–60)°С. В скобках приведены показатели качества сточной воды при наружной промывке цистерн.

При обработке цистерн из-под химических грузов щелочность сточных вод повышается до 30–65 мг–экв/дм^3. Нефтепродукты, смолы и другие загрязнения образуют в щелочной среде устойчивые эмульсии, которые не разрушаются при отстаивании. Их целесообразно очищать по специальной технологии, т.е. устраивать раздельную систему канализации.

Отстаивание сточных вод промывочно-пропарочных станций в обычных отстойниках-нефтеуловителях позволяет удалить до 70% взвешенных веществ и до 85% экстрагируемых веществ. Для повышения эффекта очистки необходимо применять доочистку сточных вод на флотационных установках, в тонкослойных отстойниках-нефтеуловителях и использовать реагенты для интенсификации этого процесса.

Пункты подготовки пассажирских вагонов. Сточные воды образуются в результате механизированной наружной обмывки пассажирских вагонов и электросекций, основными загрязнениями сточных вод являются взвешенные вещества и нефтепродукты (смазочные масла), а также бактериальные загрязнения, смываемые с подвагонных узлов. При использовании для обмывки моющих средств в сточных водах могут присутствовать ПАВ и щелочи. Суточные расходы сточных вод на пунктах обмывки пассажирских вагонов составляют от 15 до 200 м^3/сут. Концентрация загрязнений сточных вод составляет: по взвешенным веществам – 100–500 мг/дм^3 (в среднем 300 мг/дм^3), по экстрагируемым веществам – 10–300 мг/дм^3 (в среднем 100 мг/дм^3), pH – 7–8; температура от 20 до 40°С, БПК$_{полн}$ – 100 мг/дм^3, ХПК – 200 мг/дм^3. По составу загрязнений эти стоки близки к сточным водам локомотивных и вагонных депо, поэтому методы очистки их также аналогичны методам очистки сточных вод от локомотивных и вагонных депо.

Пункты подготовки грузовых вагонов. Сточные воды образуются при внутренней и наружной обмывке грузовых вагонов после перевозки в них различных насыпных или штучных грузов (строительных материалов – цемента, извести, песка, минерных удобрений, зерна, овощей, химикатов, комбикормов, рыбной муки и т.п.). Основными загрязнениями сточных вод являются тяжёлые механические примеси минерального происхождения, содержание которых иногда достигает 10–20 г/дм^3; в сточных водах могут содержаться также нефтепродукты (до 600 мг/дм^3), растворенные соли, органические примеси и т.п. Суточные расходы сточных вод на пунктах промывки грузовых вагонов составляют от 50 до 500 м^3/сут. Размеры частиц механических примесей в сточных водах составляют от нескольких миллиметров до десятков микрон, а плотность 2,7–2,8 г/см^3. Кинетика выпадения взвеси характеризуется осаждением основной массы нерастворенных примесей (90-95%) в течение нескольких минут. Для удаления остальной взвеси требуется дополнительное отстаивание воды (до 40 и более минут) или применение коагулянта. Образующийся при отстаивании воды осадок имеет объемный вес 2 т/м^3 и влажность от 30 до 70%; содержание органических примесей в осадке составляет 5–10% по весу.

Концентрация содержащихся в сточных водах растворенных загрязнений минерального и органического происхождения (сульфаты, хлориды, кремнекислые и углекислые соли магния, натрия и др.) достигает 10–12 г/дм^3. Основной задачей очистки сточных вод от пунктов подготовки грузовых вагонов является извлечение из них взвешенных веществ, нефтепродуктов и механических примесей. По данным исследований ЦНИИ МПС промывочная вода, образующаяся при промывке полувагонов, загрязняется остатками перевозимых, в них грузов (щебень, гравий, песок, уголь, кокс, известняк, мел, флюсы, различные руды и т.д.), количество которых составляет в среднем 100–150 кг на вагон. Средняя концентрация загрязнений в промывочной воде составляет 10–20 кг/м^3, а концентрация песка в ней может достигать 50–100 кг/м^3. Остатки грузов в вагонах имеют самый различный размер частиц: от 10–20 мм до 0,25 мм и менее, а плотность от 1,3 до 2,6 г/см^3. Перевозимые в полувагонах грузы не содержат много водорастворимых соединений, поэтому концентрация водорастворимых солей в промывной воде возрастает незначительно. В промывной воде содержится также некоторое количество нефтепродуктов.

С учётом предварительного удаления крупной и тяжелой взвеси в качестве расчетных показателей качества сточных вод для пунктов подготовки грузовых вагонов рекомендуется принимать концентрацию взвешенных и эфирорастворимых веществ (нефтепродуктов) 100 мг/дм^3, $БПК_{полп}$ – 150 мг/дм^3, ХПК – 300 мг/дм^3.

Дезинфекционно-промывочные станции. Средние концентрации загрязнений сточных вод по эфирорастворимым веществам составляют 200 мг/дм^3, взвешенным веществам – 2 000 мг/дм^3, $БПК_{полн}$– 400 мг/дм^3, ХПК – 800 мг/дм^3.

Шпалопропиточные заводы. Сточные воды содержат в среднем около 1000 мг/дм^3 эфирорастворимых веществ; 500 мг/дм^3 взвешенных веществ и соответственно такие же показатели ХПК и $БПК_{полн}$. В них может содержаться до 100 мг/дм^3 фенолов, температура сточных вод составляет 40–50°С, а pH = 6,5–7,5. В зоне действия железнодорожных предприятий и на железнодорожных станциях размещаются автобазы, котельные, прачечные и другие объекты.

Сточные воды автобаз и котельных загрязнены нефтепродуктами в количестве соответственно 200 мг/дм^3 и 50 мг/дм^3, взвешенными веществами в количестве 3 000 и 200 мг/дм^3 соответственно. При обмывке автомашин в воду попадают органические загрязнения, характеризующиеся в среднем $БПК_{полн}$ – 100 мг/дм^3 и ХПК — 200 мг/дм^3. Кроме того, в сбросах от котельных присутствуют хлористый кальций 500–3 000 мг/дм^3, хлористый натрий 100–1 000 мг/дм^3, а сточные воды от прачечных имеют pH 10–11, содержат ПАВ до 100 мг/дм^3, имеют $БПК_{полн}$ 400 мг/дм^3 и ХПК – 1 400 мг/дм^3. Температура стоков от котельной может доходить до 50–80°С, а от прачечных до 35–40°С.

Поверхностные сточные с территории железнодорожных станций и предприятий. Они образуются во время выпадения дождя и при таянии снега. Эти стоки загрязнены различным мусором, нефтепродуктами, нерастворимыми минеральными и органическими примесями (песок, шлак, копоть, пыль и пр.). Содержание нефтепродуктов после мойки территории приёмно-отправочных парков, локомотивных и вагонных депо в среднем составляют 300 мг/дм^3, взвешенных веществ – 500–300 мг/дм^3, $БПК_{полн}$– 80–20 мг/дм^3, ХПК – 100–45 мг/дм^3. Меньшие значения имеют показатели загрязненности поверхностных вод с территории пунктов экипировки локомотивов. В стоках от шпалопропиточных заводов концентрация нефтепродуктов и взвеси доходит до 600 и 520 мг/дм^3 соответственно. Кроме того, в них могут содержаться фенолы в среднем до 15 мг/дм^3.

Расходы поверхностных сточных вод, состав и концентрация их загрязнения зависят от климатических и других местных условий (интенсивности и продолжительности дождя, свойств грунтов и рода поверхности, размеров территории предприятия или железнодорожной станции, загрязненности территории и т.п.). Организованный отвод и очистка поверхностного стока обычно предусматриваются с наиболее загрязненных участков территории железнодорожных станций, депо,

ремонтных заводов, промывочно-пропарочных станций, шпалопропиточных заводов и других предприятий.

Вывод: сточные воды железнодорожных предприятий содержат различные вредные вещества, такие как нефтепродукты, фенолы и соли, требующие обработки. Использование комбинированных методов механической, химической и биологической очистки позволяет снизить их концентрацию до допустимых нормативов. Внедрение современных технологий очистки способствует сокращению экологического воздействия предприятия. Таким образом, правильная организация очистки сточных вод–ключевой фактор экологической безопасности железнодорожного транспорта.

Литература

1. Водоснабжение и канализация на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж. д. транспорта / М.М. Белявский, Е.П. Воронина, В.С. Дикаревский и др. Под ред. В.С. Дикаревского / 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1980. – 279 с.

2. Кидярова, К.С., Чудинова, О.Н. Анализ воздействия локомотивного депо на окружающую среду / Инновационные технологии защиты окржающей среды в современном мире // сб. трудов Всероссийской. научной конф. с междунар. участием молодых ученых и специалистов, Казань, 18-19 марта 2021 г. / Казанский национальный иссл. технолог. ун-т. – Казань: КНИТУ, 2021. – С.1388-1393.

3. Калинина-Шувалова, С.Ф. Коммисарова, А.Э. Лисица, С.С. Водоотведение и очистка производственных и ливневых сточных вод / Журнал Дальний Восток: Проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. Экология. – 2015. – №1. – С.129-133.

4. Грузинова, В. Л. Очистка нефтесодержащих сточных вод локомотивных депо с применением коагулянтов и отходов синтетических материалов: автореферат диссертации ... канд. техн. наук : 05.23.04 / В. Л. Грузинова ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2014. – 26 с.

УДК 666.1.031.153:535.3

Исследование тонких оксидных и полимерных пленок

Комяков Д.Е.
Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
Научный руководитель Федосенко Н.Н., к.т.н., доцент

В данной научной статье проходит исследование тонких оксидных и полимерных пленок, исследование покрытий и их определение оптических характеристик, гидрофобных свойств и спектральных закономерностей в заданном диапазоне длин волн

Создание гидрофобных интерференционных покрытий проводилось с помощью установки вакуумного напыления ВУ-1А, оборудованной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-I и системой контроля оптических характеристик модели Iris 0211 (ООО «ЭссентОптикс», Республика Беларусь).

Осаждение покрытий осуществлялось при максимальным ускоряющим напряжением 12 кВ и током эмиссии от 15 до 150 мА при остаточном давлении в камере 6·10-3 Па.

Одним из важных факторов, влияющих на воспроизводимость электрофизических параметров наносимых в вакууме тонких пленок, является степень чистоты поверхности подложки. На практике идеально чистые поверхности получить невозможно, так как они чрезвычайно активны и быстро покрываются находящимися в окружающей среде газами, влагой, пылью и различными поверхностно-активными веществами, тонкие слои которых крайне трудно удалить. Очищают подложки различными физико-химическими способами.

В качестве подложек для формируемых покрытий использовались полированные пластины кремния, кварца, полиметилметакрилата, политетрафторэтилена, предметного стекла и оптического стекла К8.

Перед нанесением покрытия поверхность подложек предварительно подвергалась очистке с помощью низкоэнергетического ионного источника типа «АИДА» в вакууме и последующему нагреву с помощью ИК-ламп до температуры 200°С [1].

Технические параметры очистки подложек перед осаждением покрытий: порционное давление Ar 1,3·10-1 Па, ток соленоида 0,7 А, ток катода 17 А, ток анода или ток эмиссии 1,2 А, напряжение анода 150 В. Время очистки составляло 20 минут. Расстояние от источника испарения до подложки составляло 40 см.

После процесса очистки подложек, подложки были нагреты до температуры 200°С, с помощью спиральных ламп. Нанесение покрытий на подложки, осуществлялось испарением различных мишеней, помещённых в анод электронно-лучевого испарителя, в вакууме при остаточном давлении 7,5·10–3 Па. Распыление мишеней из различных материалов осуществлялось в едином технологическом цикле с помощью отклонения электронного луча, исходящего из катода и фокусировки его на другую мишень с помощью магнитного поля. Распылённое вещество испаряясь, попадает также на образец-свидетель, который используется для фотометрического контроля толщины наносимых слоёв.

В качестве исходных материалов в работе использовались стандартные промышленно-выпускаемые мишени на основе альфа-окиси алюминия $Al2O_3$, двуокиси кремния SiO_2, окиси циркония ZrO_2, диоксида титана TiO_2.

Для оценки морфологии поверхности покрытий в работе использовалась атомно-силовая микроскопия. Изображения атомно-силовой микроскопии получали с помощью Solver P47 PRO (рисунок 2.5).

Solver P47 PRO – это универсальный прибор для комплексных исследований различных объектов с высоким разрешением на воздухе, в жидкостях и контролируемой газовой атмосфере, при температуре до 150°С. Конструкция прибора гарантирует максимальную точность измерений и большое число СЗМ измерительных методик. Эта модель может быть успешно использована как в маленьких компаниях и университетских лабораториях, так и в больших исследовательских центрах [2].

В основе работы АСМ лежит силовое взаимодействие между зондом и поверхностью, для регистрации которого используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Регистрируя величину изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью. Сила взаимодействия имеет как нормальную к поверхности, так и латеральную составляющие. Зонд АСМ испытывает притяжение со стороны образца на больших расстояниях и отталкивание на малых. Получение АСМ изображений рельефа поверхности связано с регистрацией малых изгибов упругой консоли зондового датчика [3].

Морфологию поверхности покрытий получали в режимах измерения топографии и фазового контраста с выделением, соответственно, участка поверхности площадью 5×5 и 1×1 мкм^2 посредством прибора Solver-PRO P47. В режиме регистрации амплитуды (то есть при изучении топографии) полученное изображение поверхности сохранялось в виде электронного файла. В результате последующей математической обработки трехмерного

изображения рельефа определяли метрические параметры поверхности (параметры шероховатости) [16].

Адсорбционную активность поверхностей, получаемых различными способами, оценивал путем расчета поверхностной энергии и ее составляющих. Расчет производился на основании результатов измерений краевых углов смачивания поверхности образцов двумя различными жидкостями: глицерином и дистиллированной водой фиксированного объема (5 мкл). Захват и распознавание изображения лежащей капли жидкости проводился с помощью специально разработанной программно-аппаратной системы «Капля-2» на базе микроскопа МБС-6 с частотой 1 Гц в течение 1,5 мин

Полная свободная энергия поверхности образуется из вкладов различных межмолекулярных сил, действующих на этой поверхности, и ее величину можно записать в следующем виде:

$$\sigma = \sigma^d + \sigma^p$$

где σ^d – дисперсионная составляющая поверхностной энергии, Н/м;

σ^p – полярная составляющая поверхностной энергии, Н/м [4].

Зная значения полных и составляющих поверхностных натяжений двух различных жидкостей, и решив систему из двух уравнений, можно найти составляющие и полную поверхностную энергию твердого тела. Решение системы из двух уравнений проводили средствами Exel.

Для оценки морфологии поверхности покрытий в работе использовалась атомно-силовая микроскопия. Статистические данные, полученные при анализе снимков поверхности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические данные поверхности покрытий

Тип мишени	Среднее значение по высоте, нм	Субшерохо-ватость Rms, нм	Средний размер зерна, нм	Средний объём зерна, 10^{-24} м^3	Фрактальная размерность поверхности
ZrO_2	33,4	5,1	57,0	8,17	2,37
TiO_2	26,3	6,7	49,0	5,66	2,37
SiO_2	11,5	3,1	34,5	1,43	2,44
Al_2O_3	30,8	7,7	25,0	0,75	2,39

Как видно из данных представленных в таблице 1, наименьшим значениям шероховатости поверхности обладает покрытие SiO_2. Так же данное покрытие обладает наибольшей фрактальной размерностью поверхности рассчитанной по методике подсчёта кубов [2]. На рисунке 1 приведены снимки поверхности сформированных покрытий.

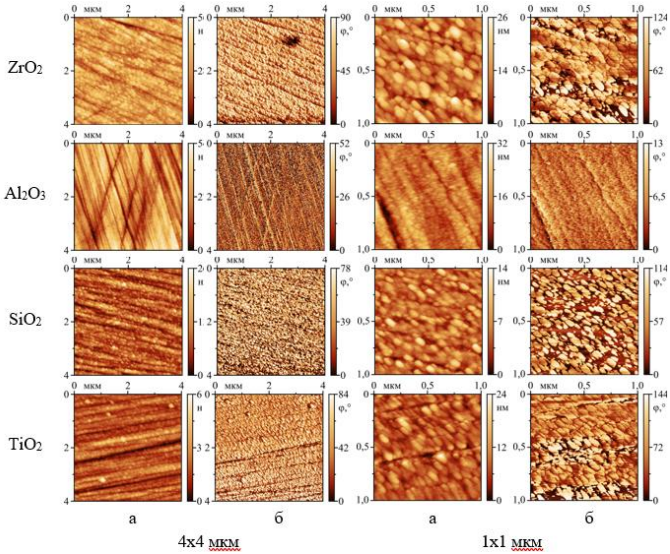


Рис.1. Морфология поверхности покрытий

Как видно из рисунка 1 наиболее плоской формой зерна обладают покрытия SiO2.

Для обработки изображений, полученных на атомно-силовом микроскопе, использовалась программа Gwyddion. Это модульная программа для анализа данных сканирующей зондовой микроскопии. В первую очередь, она предназначена для анализа профилей высоты, полученных с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии (AFM, MFM, STM, SNOM/NSOM), но она может использоваться для любого другого исследования профилей высоты или же для анализа изображений. Gwyddion – бесплатное программное обеспечение, защищённое в соответствии с Лицензией GNU (GNU GPL) [2].

В результате изучения поверхностной энергии, были проведены исследования влияния термообработки на оптические и гидрофобные свойства многослойных покрытий. Термообработка проводилась на воздухе при температуре 500 °C и 700 °C в течение часа.

Таблица 2

Краевой угол смачивания и поверхностная энергия многослойных покрытий на основе оксидов металлов

Образец	Угол смачивания глицерина, градусы	Угол смачивания водой, градусы	Поверхностная энергия, мДж/м^2
$Al_2O_3/SiO_2/ Al_2O_3$	80	74	33,217
$ZrO_2/SiO_2/ZrO_2$	84	79	28,521
$HfO_2/SiO_2/HfO_2$	69	81	30,005
$TiO_2/SiO_2/TiO_2$	108	96	40,101
$Al_2O_3/SiO_2/ Al_2O_3$ 500 °C	50	56	44,578
$ZrO_2/SiO_2/ZrO_2$ 500 °C	41	49	50,478
$HfO_2/SiO_2/HfO_2$ 500 °C	50	48	51,683
$TiO_2/SiO_2/TiO_2$ 500 °C	60	75	37,185
$Al2O_3/SiO_2/ Al_2O_3$ 700 °C	70	41	97,084
$ZrO_2/SiO_2/ZrO_2$ 700 °C	31	43	55,77
$HfO_2/SiO_2/HfO_2$ 700 °C	45	59	46,218
$TiO_2/SiO_2/TiO_2$ 700 °C	76	72	33,213

Из таблицы 2 следует, что наилучшими гидрофобными свойствами из рассматриваемых покрытий характеризуются покрытия на основе диоксида титана (краевой угол смачивания более 90°).

Однако, после отжига значения краевого угла смачивания снижаются, что вызвано, по всей видимости, структурными превращениями «анатаз-рутил» [5].

В случае покрытий на основе HfO_2 и ZrO_2 с увеличением температуры отжига наблюдается смещение максимумов поглощения влево, что вызвано, по все видимости, снижением толщины покрытия.

Вместе с тем, для покрытий на основе TiO_2 и Al_2O_3 более существенные изменения спектральных характеристик объясняются фазовыми превращениями, протекающими при температуре свыше 400 °C, а именно: анатаз – рутил для TiO_2 и α-Al_2O_3 – γ-Al_2O_3 для Al_2O_3.

Литература

1. Установка вакуумной модели ВУ – 1А / Схемы и чертежи / I984.00.00.000. – 1989. - №5.
2. Клапетек, П. Руководство пользователя Gwyddion / П. Клапетек, Д. Нечас, К. Андерсон // Gwyddion – [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: http://gwyddion.net. – Дата доступа: 20.11.2025.
3. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений / В.Л. Миронов. – Нижний Новгород: Институт физики микроструктур РАН, 2004. – 54–78 с.
4. Дерягин, Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. Муллер. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
5. Брагинец, А.В. Определение поверхностной энергии оптических покрытий на основе тугоплавких оксидов / А.В. Брагинец // Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс]: VIII Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Гомель, 25 апреля 2019 г.): материалы: в 2 ч. Ч. 1. – Электронные тестовые данные (8,4 МБ). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – Режим доступа: http:// conference.gsu.by. Дата доступа: 20.11.2025.

УДК 628

Возможности экономии воды с помощью современных технологий санитарно-технического оборудования зданий

Крук А.С., Шилкова Е.М.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Лемеш М.И., ст. преподаватель

Рассматриваются современные водосберегающие технологии, применяемые в санитарно-техническом оборудовании зданий. Показаны основные направления развития, а также анализ экономического и экологического эффекта внедрения таких решений.

Рациональное использование водных ресурсов является одной из ключевых задач современного общества. Рост городов и повышение уровня комфорта приводят к увеличению водопотребления. В этих условиях внедрение водосберегающих технологий становится необходимостью.

Современные вызовы, которые приводят к необходимости применения водосберегающих технологий:

– демографическая причина: рост населения, особенно в городах, создает увеличенную нагрузку на централизованные системы водоснабжения, которые не рассчитаны на возросшие потребности, а также многие из которых физически и морально устарели;

– климатический фактор: изменение климата приводит к понижению уровня подземных вод, обмелению рек; возникающие засухи и наводнения, таяние ледников вносят дисбаланс в водную экосистему планеты;

– экологические проблемы и энергозатраты на водоподготовку и очистку сточных вод: чрезмерное потребление воды приводит к истощению источников водоснабжения и как следствие к нарушению экосистемы; загрязнение водных источников приводит к невозможности использования их в качестве источников воды без дорогостоящей водоподготовки, либо требует больших экономических вложений в их обработку [1];

– нормативные требования и стандарты «зелёного строительства»: внедряется новый подход к проектированию, строительству и эксплуатации зданий, при котором снижается негативное воздействие на окружающую среду, рационально используются ресурсы;

– экономический фактор: тарифная политика основывается на стоимости забора воды из источника водоснабжения, водоподготовки и подачи воды потребителям, содержании инфраструктуры, эксплуатации сетей, а также станций водоподготовки и очистных сооружений; все эти факторы требуют повышения затрат и капиталовложений, и как следствие это приводит к росту тарифов в области водоснабжение и водоотведение, а также принятию государственных программ, направленных на водосбережение.

Основные современные технологии, применяемые в санитарно-техническом оборудовании зданий, позволяющие экономить воду [2;3;4;5;6]:

– **аэраторы для смесителей:** представляют собой простые устройства, которые устанавливаются на выходе воды и смешивают её с воздухом, благодаря этому струя кажется такой же мощной, но фактически расход снижается на треть или даже наполовину;

– **однорычажные смесители [2]:** позволяют рационально использовать воду по сравнению с двухвентильными моделями смесителей, в которых требуется больше времени для регулирования температуры и потока жидкости; экономия составляет по сравнению с двухвентильными смесителями с двумя рукоятками до 15 %;

– **усовершенствованные картриджи смесителей с двухступенчатой регулировкой** (системы Eco: экокнопка, ограничители напора): позволяют использовать два режима – эко-режим (рычаг смесителя поднимается до первого щелчка и подает воду в ограниченном режиме) и

полный напор (рычаг поднимается дальше, преодолевая щелчок, что обеспечивает полный напор);

– **сенсорные сместители:** работают на основе инфракрасных датчиков – вода включается только при поднесении рук и выключается сразу после их убирания, что обеспечивает высокую гигиеничность и позволяет существенно сэкономить расход воды, особенно в общественных местах; температура воды в данном случае постоянная и устанавливается заранее с помощью наружного регулятора-рычажка на корпусе или встроенного в смеситель винта регулировки (как правило, около 38ºС); питание от батареи или сети переменного тока;

– **термостатические смесители:** позволяют автоматически поддерживать заданную температуру воды при включении, исключая перепады температуры независимо от колебаний давления в системах холодного и горячего водоснабжения, повышая безопасность, особенно для детей и пожилых людей; экономия составляет до 30 %;

– **водосберегающие душевые лейки** с подмесом воздуха в душевую сетку: по сравнению со стандартной лейкой экономия до 20 – 25 %;

– **«умные смесители»:** позволяют подключаться к современной системе «умный дом», в приложении отражается статистика водопотребления и подозрение на утечку воды;

– **кнопочные смесители:** вода в них включается нажатием кнопки и автоматически прекращается по истечении заданного времени (например, 5 – 15 с), клапан закрывается сам; применяются в общественных туалетах, торговых центрах, частных домах;

– **унитазы с двойным режимом слива:** дают возможность выбирать малый или полный объём воды, что снижает расход примерно вдвое и давно стало стандартом в современных системах;

– **безободковые конструкции чаши унитаза:** в данном унитазе открытый край (небольшой выступ) сохранен, но отсутствует внутренняя кромка в чаше (внутренний ободок); система смыва мощным потоком очищает всю чашу, прибор получается проще содержать в чистоте и легче в уборке; для смыва требуется 4/2 л или 4,5/3 л воды по сравнению с классическими конструкциями чаш унитазов, для которых – 6/3 л воды; для них характерна экономия до 25 %, повышенная гигиеничность и экономичность;

– **системы повторного использования «серой» воды:** собирают воду после душевых, умывальников или стиральных машин, очищают её и применяют повторно для технических нужд – например, на смыв в унитазе или полив зеленых насаждений; один из вариантов – моноблок из унитаза и умывальника, который обеспечивает возможность использования воды от

умывальника для заполнения бачка унитаза, автоматическая система фильтров очищает воду и нейтрализует неприятные запахи [6];

– **душевые кабины с повторным использованием воды («умные душевые кабины») [6]:** вода поступает в бак и нагревается, и распыляется через лейку, после использования данной воды во время принятия душа, она сливается в слив душевой кабины, затем очищается и поступает обратно в бак; рециркуляция осуществляется только на протяжении приема душа, после выключения из бака сбрасывается в канализацию;

– **унитазы с вакуумным сливом:** используется вакуум для удаления сточных вод, требуется небольшое количество воды (1 – 1,5 л); обладают высокой гигиеничностью, эффективно устраняют запахи, характеризуются компактностью, высокой экономичностью (до 80 %); применяются в самолетах, поездах, в современных офисных зданиях, торговых центах, гостиницах;

– **водосберегающие писсуары:**

а) **писсуары без смыва**: используют сменный картридж с гидравлическим затвором, жидкость в нем легче сточной воды, поэтому запахи и сточные воды от писсуара поглощаются полностью [2];

б) **писсуары с дозированным смывом:** очень малый объем на смыв (0.5 - 1 литр) с бесконтактным датчиком;

– **сбор дождевой воды**: вода с кровель и площадок собирается, фильтруется и хранится в резервуарах, после чего используется для полива, мойки или других хозяйственных задач, разгружая городские сети и снижая расходы; подходит для офисных и жилых зданий, загородных домов и промышленных предприятий;

– **водосчётчики:** позволяют фиксировать фактический расход воды; а также «умные» водосчетчики с дистанционной передачей данных, которые позволяют анализировать графики потребления, оперативно находить скрытые утечки и прививают бережное отношение к ресурсу;

– **электронные сигнальные системы оповещения о протечках и датчики протечек с автоматическими отсекающими клапанами:** позволяют своевременно обнаружить протечку воды и предотвратить затопление; датчики протечек с автоматическими отсекающими клапанами при обнаружении аномального расхода (прорыв трубы, забытый кран) автоматически перекрывают воду, предотвращая огромные потери воды.

Применение современных технологий позволяет сокращать расходы потребляемой воды и обеспечивать существенный процент экономии воды (таблица) [7].

Таблица

Современные энергосберегающие технологии [7]

Технология	Тип прибора	Экономия воды, %	Расход, л/с
Аэраторы	Смесители	30-50	0,08 – 0,15
Термостатические смесители	Душ, ванна	20-30	0,12 – 0,18
Кнопочные смесители	Умывальники	40-60	0,06 – 0,12
Инфракрасные датчики	Общественные умывальники	50-70	0,05 – 0,10
Двухрежимный слив	Унитазы	25-40	1,0 – 1,5 / 2,0 – 2,5
Оптимизированная чаша	Унитазы	15-25	1,5 – 2,0

Внедрение данных технологий позволяет добиться:

– экономического эффекта: позволяет снизить расходы на коммунальные услуги до 30 %, повысить энергоэффективность здания;

– экологического эффекта: снижается нагрузка на водозаборные сооружения, станции водоподготовки и очистные сооружения, формируется культура рационального потребления.

Как правило нерациональное водопотребление включает три основные причины:

– морально и физически устаревшее оборудование (двухвентильные смесители (вода расходуется в результате ожидания нужной температуры), унитазы с полным сливом);

– неэффективные привычки (например, чистка зубов с открытым краном);

– незамеченные протечки.

Основными направлениями по рациональному использованию водных ресурсов являются:

– применение современных решений и технологий санитарно-технического оборудования зданий;

– внедрение полезных привычек: во время выполнения гигиенических процедур (чистке зубов, мытье головы и принятии душа), когда вода не используется, отключать ее; мытьё посуды в раковине или посудомоечной машине и другие);

– использование датчиков протечек, незамедлительное устранение утечек воды.

Большинство современных производителей санитарно-технических приборов и водоразборной арматуры особое внимание уделяют внедрению водосберегающих технологий. Новые решения и современные технологии санитарно-технического оборудования зданий позволяют повысить уровень комфорта и удобства при выполнении бытовых нужд и физиологических процедур с учетом более рационального потребления водных ресурсов. В жилых домах легко и удобно внедрить такие технологии, как однорычажные смесители с аэраторами, термостатические смесители, водосберегающие душевые лейки, унитазы с двойным режимом слива, безободковые конструкции чаши унитазов, «умные смесители», датчики протечек и водосчетчики.

В общественных местах, офисах, торговых центрах возможно применение сенсорных или кнопочных смесителей, унитазов с вакуумным сливом, унитазов и писсуаров с автоматическим сливом.

Системы повторного использования «серой воды», «умные душевые кабины», унитазы с вакуумным сливом, сбор дождевой воды конструктивно устроены более сложно и требуют больших затрат при установке и дальнейшей эксплуатации, они могут найти применение для частных домов, коттеджей, производственных предприятий и различных оздоровительных и спортивных комплексов.

Водосберегающие технологии, обеспечивают экономию водных ресурсов и заботу об экологии. Простые решения (аэраторы, двухрежимные сливы) окупаются за месяцы, сложные системы (повторное использование «серой воды») – за несколько лет, но обеспечивают высокий экологических эффект.

Современное водосберегающее оборудование — это не один прибор, а системный подход. Он включает в себя:

– современные приборы (водоразборная арматура и санитарно-технические приборы);

– системы с повторным использованием воды;

– «умные системы контроля» (мониторинг и защита от протечек).

Внедрение этих технологий перестало быть просто инициативой, а является экономической необходимостью для снижения эксплуатационных расходов и техническим стандартом для современного строительства.

Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 декабря 2018 г. № 914 «Об утверждении специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения». – Национальный правовой Интернет портал Республики Беларусь, 22.12.2018.

2. Соколов Л.И. Водосберегающие технологии современного санитарно-технического оборудования зданий – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7667 – Дата доступа: 27.10.2025 г.
3. Как сэкономить воду: современные смесители и технологии для дома – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.bydom.by/sovety/kak-sekonomit-vodu-sovremennye-smesiteli-i-tehnologii – Дата доступа: 5.12.2025 г.
4. Экономия воды: водосберегающие технологии современной сантехники – [Электронный ресурс] – Режим доступа https://www.ivd.ru/stroitelstvo-i-remont/vodosnabzenie-i-analizacia/ekonomiya-vody-vodosberegayushhie-texnologii-sovremennoj-santexniki-21630 – Дата доступа: 5.12.2025 г.
5. Экономия воды дома, в организациях и предприятиях– [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://energo-audit.com/ekonomia-vody – Дата доступа: 5.12.2025 г.
6. Устройства и приборы для экономии воды – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.zaggo.ru/article/inzhenernye_sistemy/santehnika/do_poslednej_kapli.html – Дата доступа: 10.12.2025 г.
7. Таблицы расхода воды сантехники [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://inner.su/articles/tablitsy-raskhod-vody-santekhniki – Дата доступа: 10.12.2025 г.

УДК 66.081.6

Мембранные методы обезжелезивания питьевой воды

Кузьмин П.С.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Полякова О.Е., старший преподаватель

Рассмотрены современные мембранные методы удаления железа из питьевой воды. Проанализированы принципы работы ультрафильтрации, нанофильтрации и обратного осмоса. Особое внимание уделено необходимости предварительного окисления растворенного железа для эффективной работы мембран. Описаны преимущества и ограничения каждой технологии. Приведены рекомендации по выбору схемы очистки в зависимости от состава воды. Мембранные методы признаны высокоэффективными для получения воды высшего качества.

Обеспечение населения Республики Беларусь качественной питьевой водой представляет собой одну из ключевых государственных задач. Значительная доля водных ресурсов страны, в особенности тех, что задействованы в системах централизованного и децентрализованного водоснабжения, отличается повышенной концентрацией соединений железа. Превышение установленных нормативов предельно допустимых концентраций железа, см. гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды», утв. пост. Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021 № 37, влечёт не только ухудшение органолептических характеристик воды, таких как вкус, цвет и прозрачность, но и вызывает серьёзные последствия. К ним относятся коррозия и зарастание трубопроводов, поломки сантехнических устройств и бытовых приборов, а также возможное негативное влияние на здоровье человека при регулярном использовании такой воды. В этом контексте все более актуальными становятся мембранные методы очистки, относящиеся к технологиям «высоких» стандартов. Нанофильтрация и ультрафильтрация демонстрируют высокую эффективность в удалении не только всех форм железа (растворенного, коллоидного, взвешенного), но и сопутствующих загрязнений (марганец, органические вещества, мутность, бактерии). [5]

Цель работы: комплексный анализ эффективности применения мембранных методов (ультрафильтрации и нанофильтрации, обратного осмоса) для очистки природных вод Республики Беларусь от примесей железа.

Суть проблемы: Концентрации растворенного железа (Fe^{2+}) в водоносных горизонтах варьируются от 0,5 до 5–10 мг/л, а в отдельных скважинах могут достигать 15–20 мг/л и выше. Данное явление обусловлено геохимическими особенностями недр Беларуси. Водоносные горизонты часто располагаются в породах, обогащенных железом, таких как глауконитовые пески, и в условиях дефицита кислорода железо переходит в растворимую двухвалентную форму. [6]

Степень разработанности проблемы. Вопросы очистки воды от соединений железа детально изучены в трудах белорусских и зарубежных ученых. В Республике Беларусь накоплен значительный опыт проектирования и эксплуатации станций обезжелезивания на основе классических методов. Однако внедрение мембранных технологий в данную сферу, особенно в масштабах малого и среднего водопользования (небольшие населенные пункты, объекты социальной сферы, пищевая промышленность), находится на начальной стадии и требует комплексного научного обоснования с учетом специфического состава водоисточников региона.

Причины нецелесообразности использования методов мембранной очистки без предварительной подготовки. Применение мембранной очистки без предварительной подготовки недопустимо, поскольку это приводит к быстрому выходу из строя дорогостоящего оборудования. Входная вода включает взвешенные частицы, органические соединения, соли и микроорганизмы, которые засоряют поры мембраны, что существенно снижает её производительность и эффективность очистки. Предварительная обработка, включающая механическую фильтрацию, осветление и умягчение, устраняет указанные загрязнения, обеспечивая защиту мембран и поддерживая стабильную и экономически выгодную эксплуатацию системы в целом.

1. Предварительная аэрация + Мембранная очистка:

Первым делом вода проходит стадию аэрации (Насыщение воды кислородом): железо в подземных водах находится в растворенной форме (Fe^{2+} – двухвалентное). Мембраны плохо задерживают его в этой форме. Сначала воду аэрируют, чтобы кислород окислил соединения от Fe^{2+} до Fe^{3+} (трехвалентное железо), которое образует нерастворимый осадок – гидроксид железа (ржавчину).

Фильтрация осадка: воду направляют на механический фильтр (например, с зернистой загрузкой – песок, антрацит), который задерживает крупные частицы образовавшегося осадка.

Мембранная очистка (финальная стадия): после предварительного окисления и грубой фильтрации вода подается на мембрану. Здесь мембрана удаляет оставшиеся мельчайшие коллоидные частицы железа, а также все другие растворенные соли, вирусы и бактерии. [1]

Типы мембран, используемые на финальной стадии:

Обратный осмос (RO): самый тонкий уровень очистки. Убирает до 99.9% всех примесей, включая железо, соли жесткости, нитраты и т.д. Идеально, если нужна питьевая вода высшего качества или вода для технологических процессов. Подается под давлением в диапазоне 8 - 25 бар.

Нанофильтрация (NF): убирает двухвалентные ионы (включая Fe^{2+}, если оно не было полностью окислено) и органические молекулы, но пропускает часть солей. Эффективна против железа. Подача осуществляется под давлением в пределах от 5 до 15 бар.

Ультрафильтрация (UF): отлично удаляет взвешенные частицы, коллоидное железо, бактерии и вирусы. Но не удаляет растворенные соли. Если железо полностью окислено до нерастворимой формы, ультрафильтрация справится с ним на 100%. Давление в диапазоне 1-5 бар [1; 2; 4].

2. Комбинация с безреагентными методами (каталитическое обезжелезивание)

Если концентрация железа не очень высокая, вода пропускается через специальные каталитические загрузки (например, Birm, Pyrolox). Эти загрузки (по типу природных минералов, таких как цеолит или пиролюзит) ускоряют реакцию окисления железа кислородом, уже растворенным в воде. Осадок задерживается в толще загрузки.

После такого фильтра ставится мембрана ультрафильтрации (UF) как "страховой" барьер для мельчайших частиц, которые могли пройти с предыдущей ступени.

3. Комбинация с реагентным окислением (для сложных случаев)

Используется при высоких концентрациях железа, наличии сероводорода или органического (коллоидного) железа.

В воду добавляются сильные окислители:

Гипохлорит натрия (NaOCl) – это натриевая соль хлорноватистой кислоты. В контексте водоподготовки используется его водный раствор, который является сильным окислителем.

$$2Fe^{+2} + NaOCl + 2H^{+} \rightarrow 2Fe^{+3} + NaCl + H2O$$

Перманганат калия ($KMnO_4$) — используется для окисления примесей в воде, а также щелочного реагента для корректировки pH и стабилизационной обработки.

$$5Fe^{2+} + MnO^{-4} + 8H^{+} \rightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H2O$$

Озон (O_3) – очень эффективный, но сложный в эксплуатации. Окислители быстро переводят все формы железа в нерастворимую форму.

После окисления и отстаивания/фильтрации осадка вода подается на мембрану. Чаще всего это обратный осмос (RO) или нанофильтрация (NF), которые удаляют все остаточные примеси. Перед мембраной RO часто требуется удалить остаточный окислитель (например, угольным фильтром), так как он может разрушить полиамидную мембрану [1; 2; 3].

4. Прямая мембранная очистка

Теоретически, мембраны обратного осмоса (RO) и нанофильтрации (NF) могут задерживать и растворенное железо (Fe^{2+}) благодаря своему мелкому поровому размеру. Это крайне не рекомендуется по нескольким причинам:

1) железо может окислиться прямо на поверхности мембраны под действием кислорода из воды и отложиться в виде нерастворимой пленки, необратимо забивая ее;

2) также может катализировать окислительные процессы, повреждающие материал мембраны. Даже без окисления ионы железа сильно способствуют загрязнению мембраны другими веществами (солями жесткости, органикой) [1; 2; 4].

Начальные концентрации в подземных водах: Могут варьироваться от 0.3 до 20+ мг/л. В некоторых скважинах встречаются концентрации и до 50-100 мг/л, но это редкость.

Норматив для питьевой воды (ПДК): В РБ и большинстве стран Европы предельно допустимая концентрация общего железа в питьевой воде составляет 0.3 мг/л.

Теперь рассмотрим эффективность каждой комбинации в данной таблице.

Таблица

Комбинация / Схема	Мембрана	Начальная концентрация	Финальная концентрация (ожидаемая)	Примечания	Когда применяется
Аэрация + Фильтрация + Мембрана	С Ультрафильтрацией (UF)	0.5 - 10 мг/л	0.05 - 0.2 мг/л	UF не удаляет растворенное железо. Эффективна только если окисление прошло полностью. Результат зависит от качества предварительного окисления.	Наиболее универсальная и надежная схема для большинства случаев.
	С Нанофильтрацией (NF)	1 - 15 мг/л	0.01 - 0.1 мг/л	NF хорошо удаляет ионы, включая Fe^{2+}. Результат стабильный и не так сильно зависит от предварительного окисления.	
	С Обратным осмосом (RO)	1 - 20 мг/л	0.001 - 0.05 мг/л	Золотой стандарт. RO удаляет практически все виды железа. Концентрация на выходе стремится к нулю.	
Каталитическое обезжелезивание	С Ультрафильтрацией (UF)	0.3 - 5 мг/л	0.1 - 0.3 мг/л	Эффективность ограничена возможностями каталитической загрузки. UF служит страховкой от проскока мелких частиц. Результат может быть на границе нормы.	При невысоких концентрациях железа и достаточном количестве кислорода в воде.
Реагентное окисление	С Обратным осмосом/ Нанофильтрацией	5 - 50 мг/л (и выше)	0.001 - 0.05 мг/л	Метод для сложных и высоких концентраций. RO/NF обеспечивает сверхнизкие показатели на выходе, так как реагент гарантированно окисляет все формы железа.	Высокие концентрации железа, наличие сероводорода, органическое железо.
**Только мембрана	Обратным осмос/ Нанофильтрация	до 1-2 мг/л	< 0.3 мг/л (нестабильно)	Результат непредсказуем. При проскоке кислорода или изменении состава воды железо может быстро окислиться и очень быстро засорить мембрану.	Крайне редко, как временное решение при очень низких концентрациях и стабильном составе воды.

В народном хозяйстве Беларуси мембранные технологии нашли практическое применение в ряде ключевых отраслей. Наиболее широко они используются в пищевой промышленности, особенно в молочной, где ультрафильтрация применяется для концентрации молочного белка, стандартизации молока и производства сыров, а обратный осмос - для концентрирования сыворотки. В производстве соков и напитков микрофильтрация и ультрафильтрация используются для осветления продукции, а в крахмалопаточной промышленности - для разделения и очистки продуктов гидролиза крахмала. В сфере водоподготовки мембранные методы применяются для очистки вод с высокой

минерализацией, при этом обратный осмос используется локально в проблемных регионах, а ультрафильтрация служит финишной стадией на современных очистных сооружениях. В промышленности обратный осмос и нанофильтрация обеспечивают оборотное водоснабжение предприятий. В фармацевтике и биотехнологиях микрофильтрация и ультрафильтрация используются для стерилизующей фильтрации и концентрирования биопрепаратов, а в энергетике обратный осмос является стандартной технологией подготовки питательной воды для паровых котлов.

Данные мембранные комбинации и технологии будут наиболее эффективны в контексте малого и среднего масштаба, таких как подготовка хоз.-питьевой воды в частных домах, а также деревнях и городках сельского типа.

Таким образом, эффективное удаление железа строится не на подборе комбинаций мембран, а на выстраивании правильной технологической цепочки. Мембранные технологии (как обратный осмос или ультрафильтрация) блестяще справляются с ролью финишной очистки, но их применение оправдано только после этапа предварительного окисления железа.

Использование мембран без подготовки – неэффективно и экономически невыгодно, так как приводит к их быстрому выходу из строя. Поэтому успешная система всегда включает две стадии: 1) преобразование железа в фильтруемую форму (с помощью аэрации или реагентов) и 2) его окончательное удаление с помощью мембраны.

Литература

1. Журба, М. Г., Говорова, Ж. М. Очистка воды от железа, марганца и сероводорода. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. — 255 с.

2. Драгинский, В. Л., Алексеева, Л. П., Гетманцева, В. Н. Современные технологии подготовки питьевой воды. — М.: Наука, 2009. — 323 с.

3. Куликов, Н. И., Малиновская, Е. А. Обезжелезивание природных вод: теория и практика. — Новосибирск: Наука, 2010. — 199 с.

4. Остроумов, С. А., Колесников, В. А. Мембранные технологии в очистке воды. — М.: Химия, 2009. — 240 с.

5. Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды», утв. пост. Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 № 37.

6. Мониторинг подземных и артезианских вод 2024-ого года РБ. (https://nsmos.by/sites/default/files/2025-06/3-ground-water-monitoring-2024.pdf).

УДК 628.336.1

Извлечения азота аммонийного из иловых вод

Лебедь П.Е.
Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Марцуль В.Н., к.т.н., доцент

На основе произведенных исследований отражено влияние аэрации, pH, температуры и введения различных вариантов реагентов на выделение аммиака и образование магний аммоний фосфата (струвита) при очистке иловых вод, содержащих избыток аммония. Установлено, что использование $MgSO_4$, полуобожженного доломита и их комбинаций обеспечивает различную степень связывания NH_4^+ и различную интенсивность выделения аммиака.

Очистка иловых вод коммунальных очистных сооружений является актуальным направлением современной водоочистки. Одним из наиболее эффективных подходов к решению данной задачи является реагентная очистка с получением магний аммоний фосфата ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), позволяющая одновременно извлекать фосфаты и снижать содержание аммонийного азота в иловой воде. Во многих исследованиях отражено, что при оптимальных условиях процесс струвитообразования обеспечивает удаление до 98 % фосфатов из иловых вод [1]. Наряду с фосфатами, при реализации процесса происходит и удаление азота аммонийного, однако степень его извлечения существенного ниже вследствие избыточного содержания азота аммонийного по отношению к фосфатам.

После анаэробного сбраживания активного ила концентрация аммония в иловых водах может достигать до 1 г/дм^3, а при интенсификации процесса с применением термогидролиза – до 3 г/дм^3 [2]. Это приводит к тому, что фосфат становится лимитирующим компонентом для кристаллизации струвита ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), и большая часть аммония остается в растворе и в условиях повышенного pH способна переходить в газовую фазу в виде аммиака (NH_3).

Схемы реализации данного метода очистки имеют различное аппаратное оформление, среди которых есть системы с пневматическим (аэрируемым) перемешиванием. Такие схемы обеспечивают более интенсивный газожидкостной контакт, вследствие чего возрастает степень выделения аммиака, однако сведения о степени удаления азота аммонийного из иловых вод с учетом влияния различных схем и режимов оформления данного процесса остаются недостаточными.

Поэтому целью настоящего исследования стало экспериментальное установление влияния аэрации, pH, температуры при различных вариациях реагентной обработки иловых вод на степень очистки азота аммонийного с образованием магний аммоний фосфата ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$).

Экспериментальная часть исследования состояла из двух последовательных блоков. Для изучения влияния значений pH и температуры на выделение аммиака при аэрировании раствора, был приготовлен раствор хлорида аммония с концентрацией ионов аммония $C(NH_4^+)$ =3 г/дм^3. Образец объёмом 25 мл нейтрализовался раствором NaOH до pH 8, 9 или 10 и подвергался аэрации в стеклянной абсорбционной установке и поглощался раствором серной кислоты (0,1 н). Температуру контролировали термостатом в диапазоне 13-35 °C. После аэрации серную кислоту оттитровывали гидроксидом натрия (NaOH) с фенолфталеином для определения количества поглощённого аммиака.

Во второй части исследования таким же образом аэрировался раствор с концентрациями азота аммонийного $C(NH_4^+)$ = 3 г/дм^3 фосфора фосфатного $C(PO_4^{3-})$ = 600 мг/дм^3. Данный раствор объемом 25 мл обрабатывался по четырем вариантам: добавлением стехиометрического количества сульфата магния ($MgSO_4$) и гидроксида натрия (NaOH) в целях достижения pH = 9,5; добавлением удвоенной дозы [3] полуобожженого доломита (20 г/дм^3) в целях достижения pH = 9,5; добавления $MgSO_4$ в количестве 0,7 от стехиометрической дозы по первому варианту и 0,3 от дозы доломита по второму варианту и нейтрализацией pH = 9,5 с помощью NaOH; добавление доломита в количестве 1,25 от дозы во втором варианте и стехиометрической дозы $MgSO_4$. После обработки по методике СТБ ISO 6878 была определена концентрация фосфатов (PO_4^{3-}) и аммонийного азота (NH_4^+) по ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013, количество поглощённого аммиака определялось титрометрическим методом.

Водорастворимая форма азота при заданных условиях представлена суммой ионов аммония NH_4^+ и молекул свободного аммиака NH_3; соотношение между ними определяется кислотно-основным равновесием:

$$NH_4^+ \rightleftarrows NH_3 + H^+$$

По уравнению Хендерсона-Хасельбаха доля свободного аммиака при pH 10 = 0,849 (84,9%), при pH 9 = 0,360 (36,0%) и при pH 8 = 0,053 (≈ 5,3%). Следовательно, при исходной суммарной концентрации $C(NH_4^+)$ = 3000 мг/дм^3 термодинамически ожидаемые концентрации летучего NH_3 в равновесии составляют примерно 2547, 1080 и 160 мг/дм^3 при pH 10, 9 и 8 соответственно. Соотношение между молекулами свободного аммиака (NH_3) и ионами аммония (NH^{4+}) в воде в зависимости от уровня pH, отражено графически на рисунке 1 [4].

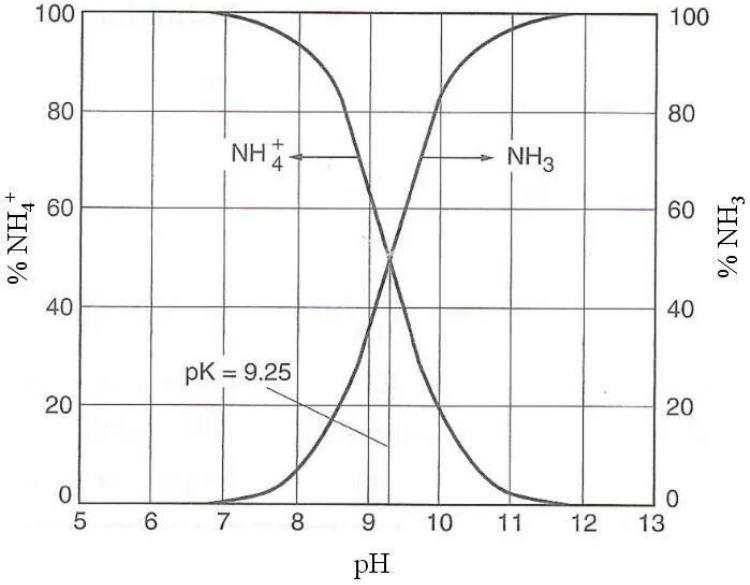


Рис. 1 Соотношение между молекулами свободного аммиака (NH_3) и ионами аммония (NH_4^+) в воде в зависимости от уровня pH

Однако, результаты лабораторных исследований, представленные в таблице 1, демонстрируют, что даже при pH = 10 и при температуре 35 °C за 30 мин в абсорбере было уловлено 815 мг/дм^3 NH_3 (27,2% от исходного содержания), тогда как при pH = 9 и pH = 8 в аналогичных условиях уловлено 116 мг/дм^3 (5,5%) и 65,3 мг/дм^3 (2,18%) соответственно, что существенно отличается от теоретических данных. Главная причина – время контакта и гидродинамика процесса, а не недостаток аммония. Даже если при pH = 10 термодинамически свободного NH_3 «в растворе» может быть теоретически 2550 мг/дм^3, то за 30 мин и при конкретных гидродинамических условиях установки от 25 мл раствора фактически реализуется лишь доля термодинамически свободного аммиака.

Таблица 1

Результаты исследования влияния pH и температуры на выделение аммиака из раствора

№	pH	*t*, C	Титр., мл	C(NH3), мг/дм^3	% от изнач.
1.	10	35	13,8	815	27,2
	9		22,3	116	5,5
	8		24,1	65,3	2,18

2.	10	30	15,9	657	21,9
	9		22,9	152	5,06
	8		24,4	43,3	1,44
3.	10	25	20,9	296	9,86
	9		23,7	95,37	3,18
	8		24,6	28,9	0,96
5.	10	13	21,5	253	8,43
	9		24,3	51	1,7
	8		25,1	0	0

Данные таблицы демонстрируют, что изменение pH на единицу даёт намного более высокую концентрацию уловленного NH_3, чем повышение температуры на несколько градусов при том же pH.

В табличных данных видно, что при pH = 10 и 35 °C уловлено 815 мг/дм^3, при pH = 10 и 30 °C – 657 мг/дм^3, при pH = 10 и 25°C – 296 мг/дм^3 – т.е. снижение количества выделяющегося аммиака с понижением температуры выражено, но порядок величины изменения при переходе pH с 9 до 10 при фиксированной температуре гораздо заметнее. Это соответствует экспоненциальному характеру зависимости доли NH_3 от pH, тогда как влияние температуры проявляется в более плавной.

Данные результаты показывают резкое усиление выделения аммиака при увеличении pH, что имеет непосредственное значение для интерпретации поведения реактора. Принимая во внимание, что после анаэробного сбраживания в иловой воде образуется избыток аммонийного азота по отношению к фосфатам примерно, о чем указывалось выше, необходимо рассматривать поведение аммония в аэрируемом реакторе не в одиночку, а как результат конкуренции трёх основных механизмов: удержание в виде NH_4^+ в растворе, связывание в твёрдую фазу в виде магний-аммоний-фосфата (струвита) и перехода аммиака (NH_3) в газовую фазу. При этом, максимум извлечения аммония, который можно удалить в процессе струвитообразования, согласно литературным источникам, составляет порядка 20-30 % от общего количества аммония [5].

Остальная часть аммонийного азота остаётся в растворе, а выделившийся при повышении pH аммиак (NH_3) не учитывается, причём переход этот зависит экспоненциально от pH и дополнительно усиливается ростом температуры и улучшением газожидкостного контакта в реакторе, как это было ранее установлено. Для того, чтобы произвести комплексный анализ того, как различные методы реагентной очистки иловых вод с получением магний аммоний фосфата, а также их комбинированное применение в различном соотношении влияют на распределение

аммонийного азота между растворенной, твердой и газообразной фазой, были проведены лабораторные исследования.

Эксперимателько было установлено, что при использовании сульфата магния и гидроксида натрия, остаточная концентрация аммония составила 2243 мг/дм^3, а степень извлечения аммония 31,35%. Данное значение находится в рамках литературы, которая описывает процесс струвитообразования [5]. Однако вклад в это значение оказывает и выделившийся аммиак составил, который составил 6,13% от исходного содержания. Эти данные демонстрируют, что при строго стехиометрическом вводе Mg^{2+} и pH около 9,5 почти весь, но в силу того, что аммоний находится в пятикратном избытке, около трети NH_4^+ фиксируется в осадке $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, из которых 6% удаляется в виде NH_3. Доля аммиака соответствует, описанным в первой части статьи: при pH = 9,5 и 25 °C и выделяется NH_3 в количестве, вписывающемся в диапазон значений, представленный в таблице 1 между pH 9 и 10. Для остальных вариантов степень удаления аммиака составила до 39 %.

Таким образом экспериментальные данные и обзоры литературы, отражают, что для повышения степени извлечения аммония необходим комплексный учет режимных параметров – pH, температурного режима, технологического оформления и вариантов реагентной обработки.

Литература

1. Laridi R. Phosphate and ammonium removal by controlled struvite precipitation following coagulation and flocculation of swine wastewater / R. Laridi, J.-C. Auclair, H. Benmoussa // Environmental Technology. – 2005. – Vol. 26. – P. 525–536.

2. Van Dijk L. Thermal hydrolysis of sewage sludge and the recovery of phosphate and ammonium from centrate water / L. van Dijk // 17th European Biosolids and Organic Resources Conference : conference proceedings. – Leeds : Aqua Enviro, 2015. – P. 8.

3. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов : сборник научных статей / Белорусский государственный технологический университет ; редколлегия: Е. Г. Сапон, В. Н. Марцуль. – Минск : БГТУ, 2015. – С. 20–28.

4. Kunz A. Hydrophobic membrane technology for ammonia extraction from wastewaters / A. Kunz, S. Mukhtar // Engenharia Agrícola. – Jaboticabal : SBEA, 2016. – Vol. 36, no. 2. – P. 377–386.

5. Gando-Ferreira M. G. Nutrient Recovery via Struvite Precipitation from Wastewater Treatment Plants: Influence of Operating Parameters, Coexisting Ions, and Seeding / M. G. Gando-Ferreira, M. J. Quina // Water. – Basel : MDPI, 2024. – Vol. 16, № 12. – P. 16.

УДК 628.17

Использование пресных подземных вод для питьевого водоснабжения

Никитин А. Д., Шеко А. Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В. Л., к.т.н., доцент

Рассматриваются проблемы использования подземный вод для питьевого водоснабжения. Показано, что часть подземных источников не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям по многим показателям (железо, мутность, аммиак, микроорганизмы и др.). Отмечена недостаточная обеспеченность населения сооружениями водоподготовки. Рассмотрены данные о ресурсах и использовании подземных вод. Так же приведена информация по содержанию железа и его видах в воде.

Избыточное содержание железа и марганца в воде ухудшает в первую очередь ее органолептические показатели, при контакте с воздухом вода приобретает буроватую окраску, мутнеет, становится непригодной для питья и стирки белья [1]. Зарастание водопроводных сетей и водоразборной арматуры за счет развития железистых и марганцевых бактерий служит причиной брака продукции на предприятиях текстильной, пищевой, химической и других отраслей промышленности, традиционно размещаемых в черте населенных пунктов и питающихся от городского водопровода.

При транспортировании железосодержащих вод усиливаются процессы коррозии металлических труб. При питании такой водой котлов в них образуется накипь, поэтому в различных отраслях промышленности содержание железа в воде ограничивается.

2-5% Республики Беларусь использует для питьевых нужд воду, не соответствующую санитарно-гигиеническим требованиям по многим показателям (железо, мутность, аммиак, микроорганизмы и др.), что является одной из основных причин роста кишечно-инфекционной заболеваемости бактериальной и вирусной этиологии, увеличения степени риска в отношении канцерогенных и мутагенных факторов, влияющих на состояние здоровья и продолжительность жизни населения. Использование потребителем воды с повышенным содержанием железа способствует развитию аллергических реакций, болезней крови [7].

По данным Всемирной организации здравоохранения, более 70% заболеваний вызываются неудовлетворительным качеством воды. Поэтому

обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социальной проблемой Беларуси, что нашло свое отражение в принятой в 2021 году Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда», одобренной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 50 и принятой в 2022 г. Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года, одобренной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 февраля 2022 г. № 91, решения которых направлены на достижение главной цели – улучшение и сохранение здоровья населения и в целом – безопасности нации [2].

Для повышения эффективности работы систем питьевого водоснабжения необходимо комплексное решение задач организационного, технического, экономического и правового характера в целостной системе ВОДОИСТОЧНИК – ВОДОЗАБОР – ВОДОПОДГОТОВКА – ПОДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ с учетом рационального использования воды и защиты от загрязнения и истощения водоисточников [3, 7].

Проблема улучшения качества питьевой воды в Беларуси является наиболее острой, особенно в отношении очистки подземных вод от соединений железа, содержание которого превышает нормативные концентрации в 5–10 и более раз.

Низкие темпы сооружения станций обезжелезивания в городах и поселках, обусловленные высокой стоимостью их строительства, выдвинули необходимость проведения исследований и разработок по модернизации и созданию новых конструкций установок, направленных на снижение капитальных затрат и интенсификацию процессов очистки [3].

Подземные воды характеризуются в основном благоприятными условиями формирования естественных ресурсов, обеспеченных инфильтрацией атмосферных осадков. Естественные ресурсы подземных вод оцениваются в 43 560 тыс. м^3/сутки. Динамика объемов добычи подземных вод в Республике Беларусь представлена на рисунке 1.

По состоянию на 1.01.2023 г. на территории республики учтено 1322 месторождения и участка подземных вод, по которым утверждены эксплуатационные запасы подземных вод в количестве 6 643,72 тыс. м^3/сут [8].

Суммарный водоотбор из подземных источников по этим водозаборам в 2022 г. составил 1 280 тыс. м^3/сут. Степень использования разведанных эксплуатационных запасов в целом по республике составляет 22,5% [8].

Подземные воды более чем в 70% разведанных водоисточниках по своим природным качествам не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию железа (в среднем 1–5 мг/ дм^3, в отдельных случаях 10 мг/дм^3 и более), а также марганца, аммиака, нитритов и др. Вода многих месторождений обладает высокой коррозийной активностью,

способствующей возникновению вторичного загрязнения воды в металлических емкостях и трубах. Наметилась тенденция ухудшения качества подземных вод по ряду показателей (нитраты, сульфаты, хлориды, фенолы, хром, свинец, нефтепродукты, микробиологические загрязнения и др.) в результате влияния объектов городского хозяйства (полигонов твердых бытовых отходов, полей фильтрации, иловых площадок), промышленных и сельскохозяйственных предприятий, смывов с сельхозугодий и др. [4].

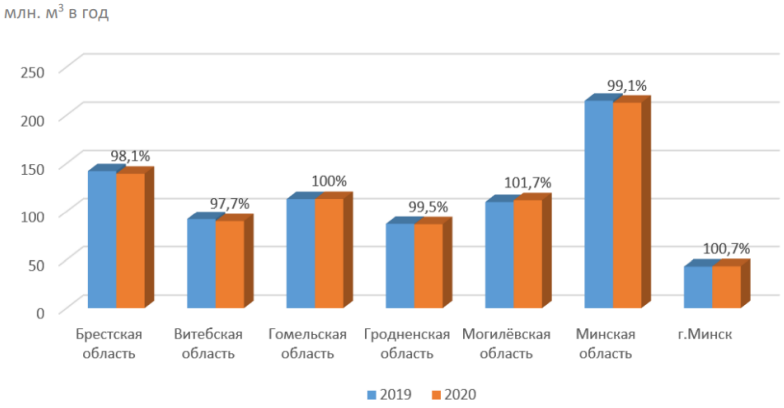


Рис. 1. Динамика объемов добычи подземных вод в разрезе областных центров и г. Минска за 2019 – 2020 годы

По данным официальной статистики, 11,77% из числа опробованных подземных водоисточников не соответствует санитарным нормам, что приводит к ликвидации водозаборных скважин (примером являются водозаборы Борисова, Новогрудка, Речицы и др.). Количество нестандартных проб воды из общего числа отобранных по санитарно-химическим показателям достигает 47,19%, по микробиологическим – 1,60% [4].

Одной из основных причин ухудшения качества подземных вод для питьевых целей является отсутствие или несоблюдение режима зон санитарной охраны (ЗСО) подземных источников водоснабжения.

Железо в природных водах может находиться в виде двухвалентных ионов, в виде коллоидных частичек органических и неорганических соединений железа и в виде истинно растворенных органических соединений двух- и трехвалентного железа [5].

В подземных водах глубоких горизонтов железо обычно находится в виде двухвалентных ионов, которые вполне устойчивы в водных растворах при отсутствии окислителей и pH<7,5.

При контакте с воздухом такая вода обогащается растворенным кислородом, растворенное в воде двухвалентное железо окисляется в трехвалентное, которое гидролизуется при pH>3,5 и выпадает в осадок в виде гидроокиси железа $Fe(OH)_3$ [5]. В воде поверхностных источников всегда содержится растворенный кислород, поэтому ионы двухвалентного железа в этой воде содержаться не могут. В водах рек и озер, особенно болотного происхождения, железо содержится в виде органических соединений или коллоидной фазы [6].

На состав подземных вод влияют условия их формирования. При контакте подземных вод с окружающими их горными породами в воду поступают химические элементы, присутствующие в составе этих пород. Железо и марганец растворяются подземными водами в анаэробных условиях, то есть без доступа кислорода (например, под плотными водонепроницаемыми породами). В местах, куда с дождевыми или другими водами проникает кислород, железо и марганец оказываются в окисленном, нерастворенном состоянии, и их содержание в подземных водах мало [9].

В природе железо находится в двух стадиях окисления: Fe^{2+} и Fe^{3+} и множестве химических форм (рисунок 2).

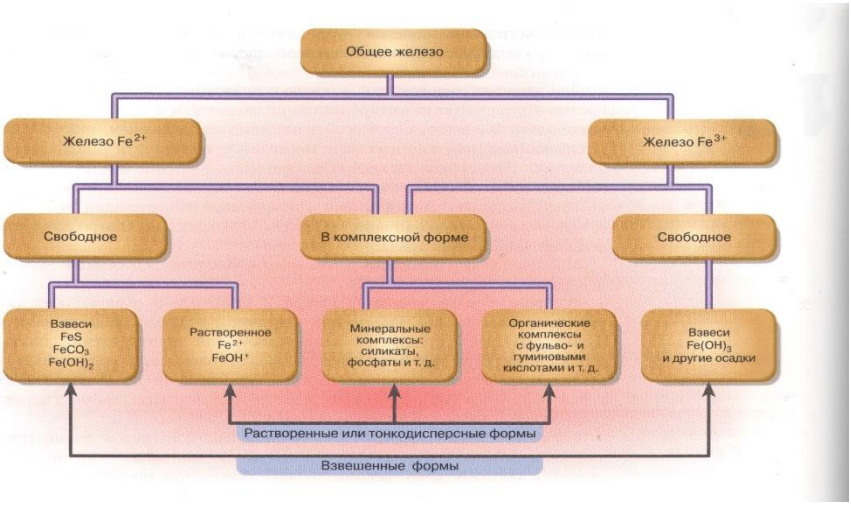


Рис. 2. Схема существования химических форм железа в воде [1]

Подземные воды, в отличие от речных, бесцветны и не содержат взвешенных частиц. После контакта с кислородом воздуха они могут приобретать рыжеватый оттенок и мутнеть. На дне сосудов с подземными водами обычно появляется бурый хлопьевидный осадок гидроксидов железа. Концентрация железа в подземных водах, как правило, гораздо выше, чем в поверхностных. Имеются и значительные отличия в формах их существования: в поверхностных водах находятся преимущественно взвеси окислов железа, в подземных – растворимые соединения двухвалентного железа. В подземных водах намного выше концентрация растворенной двуокиси углерода и ниже показатель pH.

Состав подземных вод практически постоянен по сезонам года. Концентрация железа в поверхностных водах может достигать 2 мг/дм^3. Большая его часть находится в виде тонкодисперсной взвеси и устраняется при очистке воды с помощью коагуляции [1].

Проблема качества подземных вод в Беларуси является крайне важной. Значительная часть источников не соответствует санитарным нормам из-за повышенного содержания железа, марганца и других загрязнителей, что негативно влияет на здоровье населения. Главными препятствиями по преодолению проблемы являются высокая стоимость строительства станций очистки и недостаточная защита водоисточников от загрязнения. Можно сделать вывод, что для обеспечения населения качественной питьевой водой необходимы комплексные меры, включающие в себя развитие систем водоподготовки, строительство современных станций обезжелезивания и усиление защиты водных источников от загрязнения.

Литература

1. Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 100 с.

2. О Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 22 февр. 2022 г., №91 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22200091. – Дата доступа: 28.11.2025.

3. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами / А.Д. Гуринович. – Мн.: «ТЕХНОПРИНТ», 1999. – 305 с.

4. Улучшение снабжения населения питьевой водой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nestor.minsk.by/sn/1998/09/sn80915.http. – Дата доступа: 28.11.2025.

5. Вольская, О.Н. Совершенствование технологий очистки и активации подземных вод для систем капельного орошения и водоснабжения сельских населенных пунктов : диссертация ... кандидата технических наук : 06.01.02 / О. Н. Вольская. – Саратов, 2007. – 210 с.

6. Способ очистки природных вод: пат. RU 2524965/ Н. А. Митина, А. П. Смирнов, В. А. Лотов – Опубл. 10.08.2014.

7. Гуринович А. Д. Повышение эффективности систем централизованного питьевого водоснабжения из подземных источников: диссертация на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.23.04 / Гуринович А. Д. – Минск, 2001. – 46 с.

8. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Под общей редакцией к.т.н., С.А.Дубенок. – Минск: РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.

9. Лопатина, М. Г. Повышение эксплуатационной надежности грунтовых плотин в условиях потенциального заиления дренажа : диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.07 / Лопатина М. Г. – Санкт-Петербург, 2009. – 164 с.

10 Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / Под общей редакцией Журбы М.Г. Вологда–Москва, 2001. – 326 с.

11. Гуринович А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / Мн.: «ТЕХНОПРИНТ», 2001. – 305 с.

12. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана / Обзорная информация. – Мн.: «ЦНИИКИВР», 2003. – 24 с.

13. Курило К.А Ресурсы и качество подземных вод в Республике Беларусь / Обзорная информация. – Мн.: «БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ», 2002. – 64 с.

УДК 628.1(476.7)(09)

Эволюция систем водоснабжения и канализации в г. Бресте: краткий исторический обзор

Оболенцева А. В.
Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Научный руководитель Горелая О. Н., старший преподаватель

Развитие города Бреста на перекрестке торговых путей и как важного форпоста всегда было связано с решением ключевых вопросов жизнеобеспечения, среди которых водоснабжение и водоотведение играли первостепенную роль. История становления и модернизации систем

водопровода и канализации в Бресте является ярким отражением общей эволюции городского хозяйства, тесно связанной с социально-экономическими и политическими изменениями в регионе.

Первое упоминание о водопроводе Бреста можно найти в документе под названием «Инвентарь». Датируемый 1566 годом, он рассказывает о Брестском замке. Замок был окружен глубоким рвом и укреплен земляным валом. Здесь действовало редкое по тем временам в Европе техническое приспособление – «рурмус». Специальные помпы качали воду для скрытой подачи в замок по проложенным под землей деревянным трубам – рурам [5].

Древний период и средневековье: естественные источники и примитивное водоотведение

До конца XIX века централизованных систем водоснабжения и канализации в Бресте не существовало. Население удовлетворяло потребность в воде из естественных источников: реки (Мухавец и Западный Буг) были основными источниками воды для питья, хозяйственных нужд и как транспортные артерии; колодцы (на территории города и в замчищах); родники и криницы.

Водоотведение было бессистемным. Нечистоты и сточные воды сливались непосредственно на рельеф, в придворовые канавы или в те же реки, что являлось причиной антисанитарии, распространения инфекционных заболеваний и эпидемий (холеры, тифа) [1].

Имперский период: рождение централизованного водопровода (конец XIX – начало XX вв.)

Кардинальные изменения начались во второй половине XIX века, когда Брест-Литовск стал важным железнодорожным узлом Российской империи. Рост населения, размещение крупного гарнизона и развитие промышленности остро поставили вопрос о создании централизованных систем [2]. Тогда и было принято решение о строительстве Брестской крепости (1830-1842 гг.), замок был разрушен, а город перенесли на 2 километра восточнее. Для Бреста такое перемещение стало трагическим испытанием. Развивающийся веками как европейский город, Брест стал серьезно отставать. В Брест-Литовске на рубеже веков не было электрического освещения, вместо мостовых имелся лишь «проект замощения улиц», водопровод, который иные города уже имели, стал настоящим камнем преткновения. Средний расход воды на человека в Брест-Литовске равнялся приблизительно 2,5 ведра в сутки, в то время как в Санкт-Петербурге он составлял 15 ведер на человека [5]. Водопровод был относительно небольшой и предназначался, в первую очередь, для снабжения водой железнодорожного узла, военных казарм Брестской крепости и центральных улиц города. Вода забиралась из Мухавца,

аккумулировалась в водонапорной башне, которая стала одним из первых инженерных сооружений такого рода в городе. Но, несмотря на появление водопровода, большая часть города по-прежнему пользовалась колодцами. Канализация в этот период так и не была построена, что сводило на нет санитарный эффект от водопровода [2].

Гродненский губернатор во время посещения Бреста лично выразил мнение о необходимости устройства водопровода и обратился к инженеру Санкт-Петербургского водопровода Алтухову, взявшему на себя устройство водопровода в Белостоке, но планы не были реализованы.

Серьезная попытка изменить ситуацию была предпринята в 1899 году. Тогда Брестский городской голова, купец 2-й гильдии Еремий Акиндинович Исаев, с одной стороны, и статский советник Анатолий Александрович Фадеев и отставной майор Александр Александрович Фадеев, с другой стороны, заключили договор на устройство и эксплуатацию в городе Брест-Литовске водопровода. Предприниматели братья Фадеевы обязались построить водопровод за свой счет, своими материалами и рабочими, а также взяли на себя все расходы по эксплуатации в течение 50 лет. С технической точки зрения проект водопровода отвечал требованиям своего времени. Забор воды планировался из реки Буг выше крепости или из артезианских колодцев. Речную воду планировали очищать через фильтры.

В соглашении говорилось: водопроводные сооружения должны соответствовать суточному расходу в 80 000 ведер, а впоследствии удовлетворить все потребности жителей города, а также и на случай пожаров. «Отпуск воды на фабрики, в бани и т.п. производится предпринимателями за цену по соглашению с желающими пользоваться этою водою, но не свыше 40 копеек за 100 ведер». Городское управление получало воду безвозмездно в случае пожаров, для фонтана с 1 апреля по 1 октября в праздничные и торжественные дни; для больниц, для поливки мощеных улиц и бульваров, для наполнения бочек пожарного водовоза, также бесплатно разрешалось всякому пить воду кружками из верха водоемов водопровода. В остальных случаях использование «даровой воды», как писалось в документе, «безусловно воспрещается».

В 1909 году в городском саду (там сейчас располагается мемориальный комплекс «Героям-стражам границ»), арендатором которого являлся господин Шаповалов, был выкопан глубокий колодец с водой отличного качества. Этот колодец мог обеспечить город 400 бочками воды в день, но арендатор требовал за это небольшую плату – 5 копеек за бочку. И Городская Дума приняла решение: «Ввиду доброкачественной воды артезианского колодца, устроенного господином Шаповаловым в городском саду, водоснабжение города устроить из этого колодца». Водовозы вместо светло-коричневой с дурным душком мухавецкой воды

стали заполнять свои бочки чистой колодезной водой. Но профессиональная артель (а каждый водовоз расходовал в день по 10 бочек воды) бойкотировала колодец Шаповалова, предпочитая брать бесплатно воду из реки.

И жители, и руководство города понимали: Брест-Литовску жизненно необходим водопровод. Технические проекты сооружения заказывались и в Киевской гидростатической конторе Коклика, и в фирме «Джевецкий и Езиоранский», расположенной в Варшаве, но проекты не находили дальнейшей реализации.

В 1915 году Брестская городская управа обратилась с ходатайством о правительственном займе в 100 тысяч рублей на строительство временного водопровода. Реализация проекта осуществилась не полностью ввиду отсутствия финансирования. Однако известно, что до Первой мировой войны в некоторых кварталах города все же была создана водопроводная сеть, но использовалась мало, в основном, не для питьевых нужд.

Межвоенный период (1921-1939 гг.) в составе Польши: развитие и модернизация

После вхождения Бреста в состав Второй Речи Посполитой начался новый этап в развитии городской инфраструктуры.

В начале 1920-го года вопрос о реконструкции и расширении водопровода прозвучал с новой силой. Городская казна была небогатой, поэтому магистрат (городское управление) неоднократно обращался к правительству, воеводскому управлению с просьбой выдать денежные субсидии на послевоенное восстановление Бреста. Для восстановления и дальнейшего строительства водопровода и канализации, кроме целевых государственных капвложений, магистрат привлекал также средства промышленных предприятий и других организаций, использующих воду в больших количествах (бани, столовые и др.), а также брал кредиты в банках.

Летом 1924 г. магистрат завершил реконструкцию заложенного перед войной городского водопровода: на берегу Буга возле шоссе Варшава-Брест на расстоянии 4 километров от города была построена насосная станция, а вода подведена к водонапорной башне в городском саду на улице Ягеллонской (ныне проспект Машерова, бывший парк Свободы). Резервуар водонапорной башни имел объем 75 м^3, дно его располагалось в 14 метрах над поверхностью земли. Но специальная комиссия генеральной дирекции службы охраны здоровья раскритиковала этот проект.

На городской конференции, состоявшейся 6 ноября 1924 г., профессор Варшавской политехники инженер Б. Рыхловский ознакомил присутствующих со своим планом. Он предложил добывать воду «из-под земли». Для Бреста в тот период требовалось 2-4 артезианских колодца. В 1925 году проект строительства артезианских колодцев был разработан,

документы на устройство водопровода и канализации в Бресте проходили экспертизу и утверждались МВД Польши, Союзом польских городов, Варшавским проектным институтом водопровода и канализации, согласовывались с органами здравоохранения. Среди фирм, претендующих на получение заказа вести в городе строительство водопровода и канализации, возникла конкуренция [5].

Осенью 1925 года варшавская фирма «*Wehr i Rychlowski*» начала бурение пробного артезианского колодца. В отчете о восстановительно-строительных работах в Бресте за 1931-1933 гг. говорилось о завершении ремонта довоенной сети городского водопровода и прокладке нового. Общая длина всего водопровода составила 7050 м. В рамках этого проекта была пробурена вторая артезианская скважина, построена станция фильтрования, выполнено 60 подсоединений частных домовладений к городскому водопроводу с установкой водомеров. Подача воды в сутки из одной скважины составляла 200 м^3.

Однако потребности города росли, и в 1933 году инженер полковник Владислав Дзякевич разработал новый план водопроводно-канализационных работ, который принципиально отличался от предыдущих проектов. По задумке Дзякевича городской водопровод должен был соединиться с военными казармами на Граевке, с крепостью и в итоге создать законченную систему обеспечения города чистой артезианской водой. Его проект также предусматривал создание очистного сооружения, откуда сточные воды выводились бы в районе крепости в Мухавец.

По состоянию на июль 1933 г. в городе было 7 канализационных сточных каналов, 6 из которых отводили сточные воды в открытый ливневый канал в черте города, 7-й при городской больнице отводил сточные воды прямо в Мухавец. В марте 1936 г. специальная комиссия констатировала: к октябрю 1935 г. в городе Бресте было уложено свыше 3000 м водопроводных труб, построен главный коллектор длиной 1305 м по улице Костюшко.

В 1934-1938 гг. в Бресте началось активное строительство первой общегородской канализационной системы. Были проложены первые коллекторы, построены первые насосные станции. Хотя система охватывала далеко не весь город, она заложила основу для последующего развития [3].

Для обеспечения города водой и отвода сточных вод было создано Брестское городское водопроводно-канализационное предприятие. Его устав был утвержден городской радой 19 апреля 1934 года [5].

Предприятие являлось организацией коммунального пользования и подчинялось городской раде и городскому управлению в лице президента

города. В то время в Бресте было 3 магазина, торговавших водопроводно-канализационным оборудованием. До 1935 года протяженность водопроводных сетей в Бресте составляла 12 км, мощность 2 тыс. $м^3$ в сутки [5].

Советский период (после 1939 г.): масштабная индустриализация и послевоенное восстановление

После Второй мировой войны, в ходе которой инфраструктура города была сильно разрушена, началась ее масштабная реконструкция и развитие в рамках советской плановой экономики.

С 4 декабря 1939 г. Брест стал областным центром БССР. Новое административное и социально-экономическое положение города дало толчок к его развитию. Однако планам помешала война. Только в течение 5 послевоенных лет были восстановлены и полностью введены в действие водопровод и канализация. Разводящая водонапорная сеть города имела протяженность около 23 км.

В 60-80-е годы Брест занимал одно из первых мест среди городов СССР по темпам роста, уступая только западносибирским городам нефтяников и газовиков. В этот период было разведано и поставлено на службу городу крупнейшее артезианское месторождение пресных вод, что позволило решить проблемы с источниками чистой воды [5].

В 1965 году были введены в эксплуатацию городские очистные сооружения канализации (промышленная зона «Козловичи»), что стало эпохальным событием. Теперь сточные воды не просто отводились от города, но и проходили полный цикл биологической очистки перед сбросом в Мухавец [4].

Брестское областное производственное объединение «Водоканал» образовано решением облисполкома от 18.10.1976 № 682 на основании постановления Совета министров БССР. В то время предприятие представляло собой единый производственно-хозяйственный комплекс, в состав которого входили Барановичское и Пинское управления водопроводно-канализационного хозяйства, РСУ по ремонту сетей и сооружений и городские производственно-эксплуатационные предприятия, цеха и участки в Бресте, Кобрине, Пружанах, Березе, Жабинке и Малорите.

В 1983 году было создано Брестское городское предприятие водопроводно-канализационного хозяйства, которое входило в состав ГПО ЖКХ на правах производственной единицы [5].

Основной источник водоснабжения – подземные воды. Были построены мощные водозаборы из артезианских скважин (например, «Березовка»), что обеспечивало город качественной питьевой водой [4].

Современный период (после 1991 г.): модернизация и новые вызовы

После обретения Беларусью независимости развитие систем водопровода и канализации в Бресте продолжилось, но столкнулось с новыми вызовами:

– износ инфраструктуры. Значительная часть сетей, построенных в советское время, физически и морально устарела, что приводит к частым авариям и потерям воды.

– модернизация и реконструкция. Ведутся работы по замене старых трубопроводов, реконструкции насосных станций и, что наиболее важно, реконструкции очистных сооружений канализации. Эти проекты направлены на повышение эффективности и экологической безопасности;

– внедрение новых технологий. Используются современные материалы (полимерные трубы), системы автоматизации и диспетчеризации для контроля за работой сетей.

В 1991 году «Водоканалхоз» выделен из состава ЖКХ на самостоятельный баланс с правом юридического лица. К 1999 году централизованным водопроводом был охвачен практически весь город Брест. Протяженность магистральных и уличных сетей составила 365 км. Городским водопроводом пользовалось 97 процентов населения. Свое нынешнее название коммунальное производственное унитарное предприятие «Брествводоканал» обрело в 2002 году [5].

В заключение стоит сказать, что история развития водопровода и канализации Бреста – это путь от полной зависимости от природы до создания сложных технологических комплексов. Этот путь можно разделить на ключевые этапы: доиндустриальный (естественные источники), имперский (рождение централизованного водопровода), межвоенный (начало канализации), советский (масштабное строительство и создание очистных сооружений) и современный (модернизация и повышение эффективности). Каждый этап был связан с ростом города, изменением технологий и повышением требований к качеству жизни и экологии. Сегодня коммунальное предприятие «Брествводоканал» продолжает развивать наследие прошлых поколений, решая задачи по обеспечению одного из крупнейших городов Беларуси чистой водой и поддержанию санитарного благополучия.

Литература

1. Брест : Энциклопедический справочник / Гл. ред. И. П. Шамякин. – Мн. : БелСЭ, 1987. – 408 с.

2. Лысенко, П. Ф. Брест : Историко-экономический очерк / П. Ф. Лысенко. – Мн. : Беларусь, 1975. – 176 с.

3. Наш край: Брестчина : исторические очерки, документы, воспоминания, хроника / [сост. М. Г. Никитин]. – Брест : Академия, 2004. – 271 с.

4. Памяць: Гісторыка-дакументальная хроніка Брэста : у 2 кн. / Рэд. кал.: Г. К. Кісялёў [і інш.]. – Мн. : БелТА, 1997–2001.

5. КПУП «Брестводоканал»: [сайт]. – Брест, 2025. – URL: https://bvod.by (дата обращения 20.11.2025).

УДК 628.3:621.3

Подходы казуального моделирования отведения городских сточных вод

Осипов Е.А.[1], Шикунец А.Б.[2], Шинкевич К.С.[1]
[1]Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь
Научный руководитель Штепа В.Н.[1], д.т.н., доцент

Оценены направления создания и эксплуатации сооружений очистки городских сточных вод с точки зрения повышения их эффективности и экологической безопасности на основе практического применения подходов казуального моделирования систем водоотведения. Предложена последовательность разработки и использования имитационных динамических визуально-блочных структур, описывающих причинно-следственные связи и позволяющих выполнять прогнозирования развития технологической ситуации.

Для качественной эксплуатации (проектирования) сооружений очистки (ОС) городских сточных вод (СВ), критически актуально обосновать и разработать адекватные модели не только ОС (с чем имеются крайне значительные проблемы), но и процессов водоотводящей сети. При этом во время разработки реальных систем автоматизации одна из ключевых проблем – адекватность выборок данных поступающих от измерительных средств и лабораторий (отдельный аспект их систематизация и синхронизация по времени) [1, 2].

Фильтрацию входного сигнала целесообразно выполнить с применением информации преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ): метод частотно-временного анализа на основе эмпирической модовой декомпозиции (EMD) нелинейных и нестационарных процессов и гильбертово спектральный анализ (HSA) [3]. EMD обеспечивает итерационное определение функций

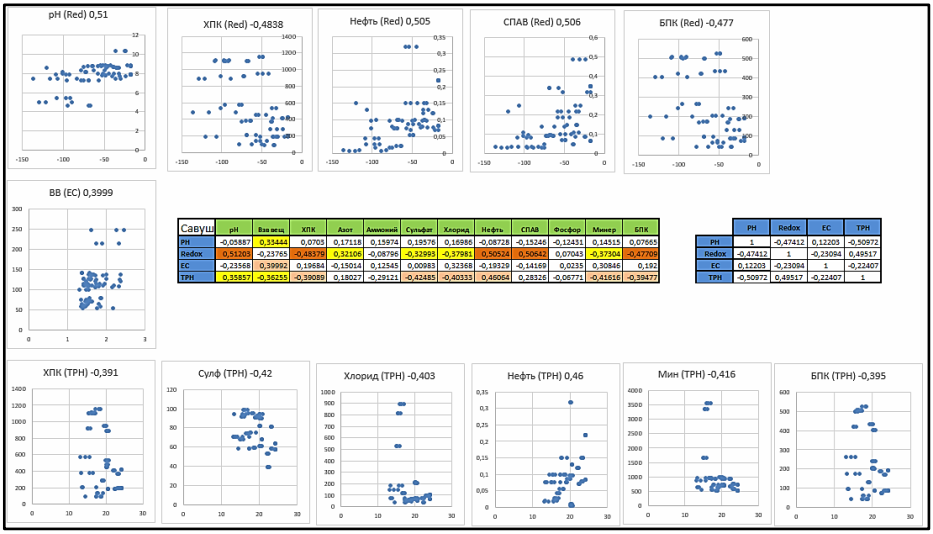
эмпирических мод $c_j(t)$ и остатков $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, де $j = 1, 2, 3, ..., n$ при $r_0 = y(t)$ [3]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^{n} c_j(t) + r_n(t), \quad (1)$$

где n – количество эмпирических мод, которая устанавливается в расчетах.

Дальнейший шаг предобработки данных – выявление взаимовлияния различных, систематизированных и синхронизированных по времени и локации, выборок данных. Для этих целей можно использовать традиционную попарную корреляцию между переменными (например, «х» и «у»). Наличие корреляционной связи определяется по величине коэффициента корреляции: сильная (тесная) – $|r_{xy}| > 0,70$; средняя – $0,50 < |r_{xy}| < 0,69$; умеренная – $0,30 < |r_{xy}| < 0,49$; слабая – $0,20 < |r_{xy}| < 0,29$; очень слабая (отсутствует) – $|r_{xy}| < 0,19$.

Аккумулировав данные по результатам работы поверенных IoT-измерительных средств работающих на входе ОС и проб отобранных в контрольных колодцах абонентов сети водоотведения и проанализированных аккредитованной лабораторией оценки качества сточных вод; выполнив их математическую фильтрацию на основе преобразования Гильберта-Хуанга и применив корреляционный анализ – получим предварительные причинно-следственные связи воздействия отдельных поллютантов абонентов на параметры СВ «в голове» очистных сооружений. На рисунке 1 представлена визуализация такой корреляционной обработки информации для предприятия по переработке молока.



Савуш	pH	Вва вещ	ХПК	Азот	Аммоний	Сульфат	Хлорид	Нефть	СПАВ	Фосфор	Минер	БПК
PH	-0,05887	0,33444	0,0705	0,17118	0,15974	0,19576	0,16986	-0,08728	-0,15246	-0,12431	0,14515	0,07665
Redox	0,51203	-0,23765	-0,48379	0,32106	-0,08796	-0,32995	-0,37981	0,50524	0,50642	0,07043	-0,37304	-0,47709
EC	-0,23568	0,39992	0,19684	-0,15014	0,12545	0,00983	0,32368	-0,19329	-0,14169	0,0235	0,30846	0,192
TPH	0,35857	-0,36255	-0,39089	0,18027	-0,29121	-0,42485	-0,40333	0,46064	0,28326	-0,06771	-0,41616	-0,39477

	PH	Redox	EC	TPH
PH	1	-0,47412	0,12203	-0,50972
Redox	-0,47412	1	-0,23094	0,49517
EC	0,12203	-0,23094	1	-0,22407
TPH	-0,50972	0,49517	-0,22407	1

Рис. 1. Визуализация систематизации и корреляционного анализа данных контроля аккредитованной лабораторией предприятия по переработке молока и результатов измерений IoT-средств на входе ОС

Следующий шаг – построение динамических имитационных моделей, базируясь на постулатах системной динамики. Её подходы нацелены на определение базовых причин различных динамических эффектов и призваны позволить оценивать результаты сценариев управленческих решений, что однозначно важно для систем водоотведения населённых пунктов [4].

При этом, согласно ГОСТ Р 57412-2017, имитационные модели, это «структуры, в которых форму и коэффициенты зависимости одних параметров от других находят путем многократного испытания модели с различными входными данными» (рис. 2, 3).

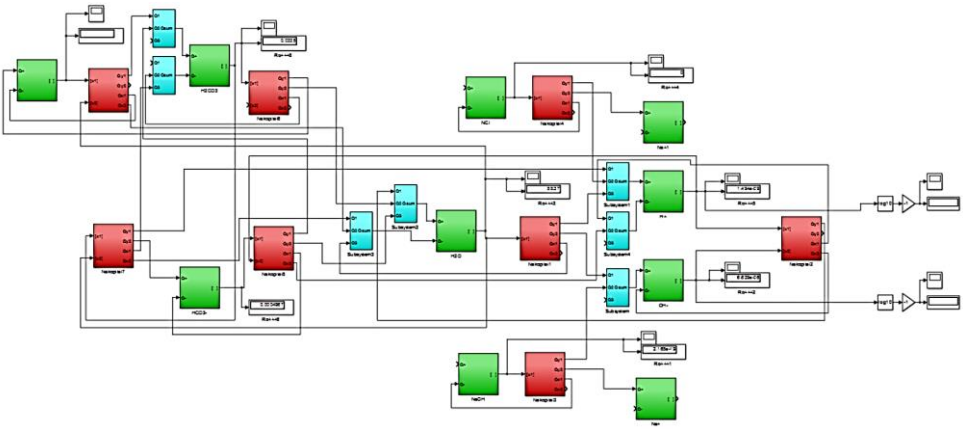


Рис. 2. Пример концептуальной мнемосхемы визуально-блочного имитационного моделирования водоотведения населённого пункта

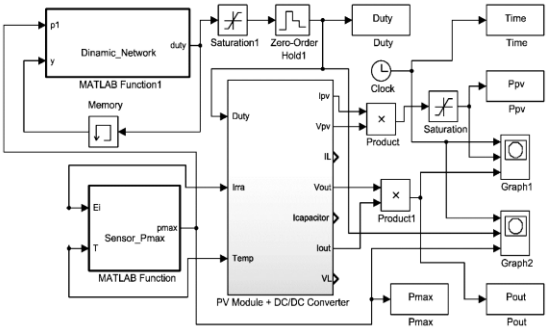


Рис. 3. Мнемосхема декомпозиции блока «Канализационная насосная станция» визуально-блочного имитационного моделирования водоотведения населённого пункта

В комплексе представленная последовательность («математическая фильтрация сигналов» – «корреляционный анализ» – «имитационное динамическое моделирование») позволяет реализовать в рамках отведения городских СВ концепт каузального моделирования (нахождение внутренних причинно-следственных связей и реализация прогнозирования). Такой пример представлен на рисунке 4 для сравнения результатов динамического моделирования изменения pH сточных вод поступающих на вход ОС реального населённого пункта.

Рис. 4. Графическая интерпретация сравнения результатов имитационного моделирования (прогнозирования) pH городских сточных вод на входе очистных сооружений с фактически зафиксированными значениями

Анализ казуального моделирования позволяет выделить следующие уровня такого мониторинга процессов водоотведения:

– упрощённые системные и физические модели с фильтрацией информационных сигналов;

– базовые системные и информационно-логические модели;

– информационно-логические и математические (количественные) модели;

– информационно-логические, математические (количественные) и интеллектуальные модели – применяется для единого («сквозного») системного моделирования и прогнозирования процессов водоотведения.

Литература

1. Системный анализ компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций, Минск, 28 сентября 2023 года. – Минск: УГЗ, 2023. – С. 20 – 21.

2. Практическое использование информационно-аналитической системы оценки экологической безопасности водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // Искусственный интеллект в Беларуси, Минск, 12-13 октября 2023 года / Объединенный институт проблем информатики. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 251 –256.

3. Штепа, В.Н. Нейросетевой блок поддержки адаптивного управления комбинированными системами водоочистки / В.Н. Штепа // Вестник

Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого: научно-практ. журнал. – 2015. – № 4. – С. 37-43.

4. Предиктивное управление процессом биологической очистки сточных вод на основе нейросетевого прогнозирования pH / В.Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. - 2024. - № 1 (133). - С. 149-155.

УДК 628.356

Мероприятия по оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод

Панасюк Д. С., Бондарев В. В.,
Брестский государственный технический университет,
Брест, Республика Беларусь
Научный руководитель Акулич Т. И., старший преподаватель

На основании проведенных исследований показано, что при биологической очистке сточных вод наиболее распространенными мероприятиями по снижению энергопотребления являются замена аэрационной системы и воздуходувного оборудования. Задачей исследования стало изучение контрольно-измерительных приборов и системы аэрации аэротенков на примере действующих очистных сооружений канализации. Эффективным направлением оптимизации энергопотребления является автоматизация технологических процессов подачи воздуха.

Согласно литературным данным и опыту эксплуатации очистных сооружений, основное потребление электроэнергии в системах водоотведения связано с аэрацией сточной воды в аэротенках и составляет до 67–80 % от общего потребления электроэнергии [1]. Подача воздуха в аэротенки, являясь самым энергозатратным процессом, в тоже время является важной составляющей при биологической очистке. Наибольшее распространение для целей биологической очистки сточных вод получила пневматическая система аэрации, при которой воздух, нагнетаемый турбовоздуходувками, по системе воздуховодов подводится к аэрационной системе и посредством аэраторов равномерно насыщает иловую смесь.

В настоящее время наиболее распространенными мероприятиями по снижению энергопотребления являются замена аэрационной системы и замена воздуходувного оборудования. При замене аэрационной системы предпочтение отдается мелкопузырчатым мембранным аэраторам, которые

обладают высокими массообменными характеристиками, а аэрационные системы на базе данных аэраторов обладают наилучшей способностью к управлению [2]. Установка одноступенчатых центробежных управляемых редукторных воздухонагнетателей позволит снизить энергопотребление за счет регулирования мощности воздуходувки в зависимости от реальной загруженности очистных сооружений [3].

Однако для оптимизации энергопотребления при работе управляемых воздуходувок в комплексе с современной аэрационной системой необходимо сооружения биологической очистки оснастить приборами контроля, учета и мониторинга состояния процесса очистки сточных вод. Это позволит осуществлять непрерывный мониторинг технологических параметров и автоматизировать процесс подачи воздуха.

Регулирование подачи воздуха в аэротенк осуществляется воздушными клапанами по сигналу от датчика растворенного кислорода. Одновременно это приводит к изменению давления на выходе блока воздуходувок. Сигнал от датчика давления поступает на блок управления производительностью воздуходувок. Таким образом, для реализации автоматической системы управления аэрацией сточных вод необходимо на каждом аэротенке установить расходомеры воздуха, дисковые поворотные межфланцевые затворы с электроприводом и датчики растворенного кислорода.

Перспективным направлением исследований является изучение влияния автоматизации процесса подачи воздуха на эффективность удаления органических загрязнений и биогенных элементов в рамках мониторинга технологических параметров очистки сточных вод [4]. Задачей исследования стало изучение контрольно-измерительных приборов и системы аэрации аэротенков на примере очистных сооружений канализации г. Бреста.

Выбор данных контрольно-измерительных приборов следует осуществлять с учетом специфики технологического процесса на сооружениях биологической очистки сточных вод. При реконструкции аэротенков №1, 2 Брестских городских очистных сооружений канализации в них была внедрена технология совместного удаления органических загрязнений и биогенных элементов по Йоханнесбургскому процессу (JHB). На каждом из аэротенков №1, 2 установлены следующие приборы: расходомер-счетчик тепловой t-mass Proline t-mass B150 HARD – в количестве 1 штука, затворы с электроприводом на воздуховодах и датчики растворенного кислорода Oxymax COS61D – в количестве 6 и 3 штуки соответственно.

Расходомеры-счетчики тепловые t-mass Prolinet-mass B150 HARD подходят для крупных труб или вентиляционных коробов прямоугольного сечения. Это расходомеры термально-массового принципа действия,

определяющие расход по эффекту охлаждения нагреваемого электрода набегающим потоком газа. Данные расходомеры практически не создают в системе аэрации дополнительных потерь, установку и демонтаж этих приборов в погружном исполнении можно осуществлять без остановки технологического процесса.

Затворы с электроприводом и блок управления АС установлены на воздуходувках. Электропривод AUMA SA – это устройство, передающее крутящий момент трубопроводной арматуры в расчете не менее чем на один полный оборот и, таким образом, позволяющее автоматизировать функции запорной арматуры жидкостных и газовых трубопроводов. Функции диагностики блока управления AUMA AC 1.02. заключаются в протоколировании событий с указанием времени, протоколировании моментной характеристики, постоянной записи температуры и уровня вибрации на приводе, а также – в подсчете количества пусков и времени работы электродвигателя.

Концентрация растворенного кислорода в аэротенках измеряется с помощью датчика растворенного кислорода Oxymax COS61D. На очистных сооружениях приняты следующие опорные значения по кислороду: для зон нитрификации – 2,5 мг/дм^3, допустимый интервал отклонения относительно опорного параметра – ±0,3 мг/дм^3. Датчик растворенного кислорода Oxymax COS61D – это высокопроизводительный цифровой оптический датчик кислорода, обеспечивающий быстрые и точные измерения. К достоинствам его использования относятся низкие трудозатраты на техническое обслуживание, высокая доступность и простота в управлении.

Таким образом, оптимизации энергопотребления при биологической очистке сточных вод можно добиться путем реализации комплекса мероприятий, таких как замена воздуходувок и аэрационной системы, а также внедрение современных высокоточных контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих автоматизацию технологических процессов подачи воздуха. Контроль качества аэрации позволит интенсифицировать процесс очистки сточных вод, повысив ее эффективность, при этом – снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию канализационных сооружений.

Литература

1. Lawrence J. Pakenas P.E. Energy efficiency in municipal wastewater treatment plants. Technology assessment. New York state, Energy research and development authority. (2012) – 24 pp.

2. Кузьмич, Д. А. Обзор современных пневматических аэраторов / Д. А. Кузьмич, Е. С. Ильеня // Инженерно-экологические аспекты и

перспективы развития систем водоснабженияи водоотведения: сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2024. – С. 61–64.

3. Акулич, Т. И. Основные мероприятия по энергосбережению на канализационных очистных сооружениях / Т. И. Акулич // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара. – Брест: БрГТУ, 2018. – С. 21–24.

4. Андреюк, С. В. Исследование технологической эффективности городских канализационных очистных сооружений / С. В. Андреюк // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20 марта 2025 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. Ф. Кудиной. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 6–10.

УДК 628.12

Устройство и принцип работы гидроаккумулятора (гидробака) в автономной системе водоснабжения

Петроченко А.М.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Майорчик А.П., к.т.н., доцент

На основании проведенных измерений показано, что гидроаккумулятор обеспечивает стабильное давление воды в системе водоснабжения, снижая число включений насоса и предотвращая гидроудары. Полученные данные подтверждают эффективность использования гидробака для повышения надежности и долговечности автономных систем водоснабжения. Проведенные исследования позволяют рекомендовать данное устройство для применения в бытовых и промышленных системах.

Автономная система водоснабжения – это комплекс оборудования, который обеспечивает забор, подачу и распределение воды независимо от центральных сетей. Наряду с насосом, одним из ключевых элементов такой системы является гидроаккумулятор (гидробак).

По своей сути, гидроаккумулятор – это резервуар, предназначенный для накопления энергии рабочей жидкости (в данном случае, воды) под давлением. Он работает по следующему принципу: в периоды, когда потребление воды мало или отсутствует (например, ночью), аккумулятор

накапливает энергию, запасая воду под давлением. Когда же возникает интенсивный разбор (одновременно открыто несколько кранов), он отдает накопленную энергию в систему, поддерживая стабильный напор. Гидроаккумулятор позволяет насосу работать с паузами, а не включаться при каждом открытии крана, что значительно продлевает его ресурс [2]. Обеспечивает стабильный напор воды в точках потребления. В случае отключения энергии в системе остается запас воды под давлением, которой можно временно пользоваться [1].

Устройство и назначение гидроаккумулятора

1.1. В отличие от простого накопительного бака, гидроаккумулятор (ГА) имеет более сложную конструкцию, что значительно расширяет его возможности [2].

Его ключевыми элементами являются:

1. Металлический корпус.
2. Внутренняя эластичная мембрана (груша).
3. Ниппель для закачки воздуха.
4. Патрубок для подключения к водопроводу.

Мембрана разделяет бак на две камеры: для воды и для воздуха (или инертного газа). За счет воздушной камеры внутри создается давление, необходимое для поддержания стабильного напора в системе водоснабжения [2].

Основная задача гидроаккумулятора – решить проблему слабого напора воды. Хотя для этого иногда используют повышающий насос, установка ГА является более эффективным и комплексным решением [2].

Его монтируют в систему после насоса. Вода поступает в емкость и накапливается, а сжатый воздух в соседней камере обеспечивает необходимое давление для бесперебойной подачи воды ко всем точкам потребления [2].

Обычный накопительный бак создает напор лишь за счет высоты своей установки, что часто требует размещения на чердаке или эстакаде. Гидроаккумулятор же позволяет гибко регулировать давление простой подкачкой воздуха, что делает его монтаж более удобным и независимым от высотных перепадов [1].

Стабильный напор критически важен для работы бытовой техники, такой как стиральные и посудомоечные машины, джакузи или душевые кабины с гидромассажем. Даже для обычного душа достаточный напор воды гораздо комфортнее [2]. Важно отметить, что гидроаккумулятор работает в связке с реле давления, которое автоматически включает и выключает насос, и манометром для визуального контроля параметров в системе [2].

Принцип работы и преимущества системы с ГА

Реле давления настраивается на два основных параметра: верхний и нижний предел. Когда давление в системе падает до минимального

заданного значения (давление включения), реле замыкает контакты и насос запускается, начинается заполнение гидроаккумулятора. Как только давление достигает максимального заданного предела (давление отключения), реле размыкает цепь и насос прекращает работу [2].

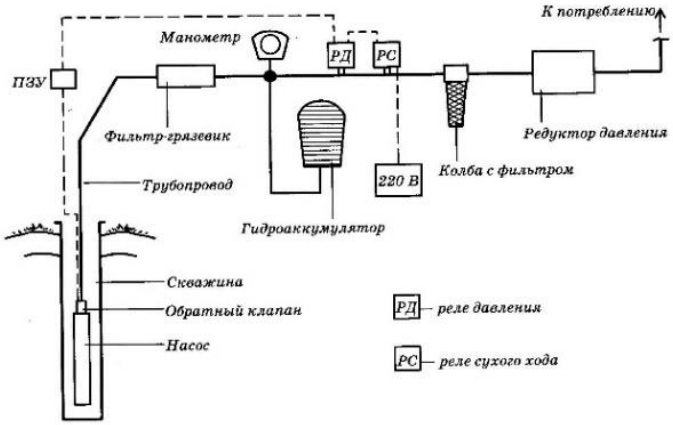


Рис. 1. Схема устройства гидроаккумулятора в сети водоснабжения

Таким образом, система работает циклически. При открытии крана вода расходуется из гидроаккумулятора, и давление постепенно падает. При достижении давления включения реле активирует насос для пополнения запаса воды. Насос наполняет бак, давление растет и после достижения давления отключения насос отключается [2].

Главная задача этой связки – защита насоса от частых включений. Без гидроаккумулятора и реле насос включался бы мгновенно при каждом повороте крана и так же быстро выключался после его закрытия. Поскольку рабочий ресурс насосного оборудования ограничен определенным количеством циклов «пуск-стоп», такой режим эксплуатации привел бы к его быстрому износу и поломке [2]. Гидроаккумулятор с реле давления обеспечивают стабильный напор и значительно продлевают срок службы насоса [1]. Помимо этого, резкий запуск насоса вызывает опасное явление – гидроудар. Возникающие при этом скачки давления создают чрезмерную нагрузку на трубопровод и могут привести к его повреждению. Гидроаккумулятор, благодаря своей прочной конструкции, служит буфером, гася эти опасные импульсы и защищая систему от разрушительных перегрузок [2].

Еще одно преимущество гидробака – возможность создания аварийного запаса воды. Даже при отключении электричества у вас будет некоторое

количество воды, хранящейся в его емкости. Хотя этот объем уступает запасу в обычном накопительном баке, он может оказаться крайне полезным в непредвиденной ситуации [2].

Типы, маркировка и монтаж гидроаккумуляторов

Гидроаккумуляторы делятся на вертикальные и горизонтальные модели, которые различаются способом монтажа. Как правило, баки небольшого объема (до 50 литров) выполняются в горизонтальном исполнении, а более вместительные – в вертикальном. Это продиктовано в первую очередь соображениями экономии пространства [2].

На производительность и функциональность устройства его ориентация в пространстве не влияет. Поэтому выбор между вертикальной и горизонтальной моделью сводится к вопросам удобства монтажа и эксплуатации, а также к тому, какая из них оптимально впишется в отведенное для нее место [2].

Все гидроаккумуляторы, независимо от их ориентации (вертикальные или горизонтальные), оснащены ниппелем. Этот воздушный клапан предназначен для стравливания излишков воздуха из водяной камеры бака. Располагается он на противоположной от водопроводного фланца стороне устройства [1].

Гидроаккумуляторы для холодной воды традиционно окрашивают в синий или голубой цвет, в то время как расширительные баки для систем отопления – в красный. Эта цветовая маркировка имеет принципиальное значение, так как устройства не являются взаимозаменяемыми. Главное отличие заключается в материале мембраны: в синих баках используется безопасная пищевая резина, рассчитанная на контакт с питьевой водой. Кроме того, гидроаккумуляторы предназначены для работы при более высоком давлении, чем отопительные. Использование бака не по назначению быстро выведет его из строя [2].

Конструктивные особенности:

1. Вертикальные модели: Подача воды осуществляется через нижний патрубок. Для удаления скапливающегося воздуха в верхней части корпуса предусмотрен специальный ниппель [2].
2. Горизонтальные модели: И подача воды, и стравливание воздуха производятся сбоку [2].

Перед установкой гидроаккумулятора необходимо корректно определить и настроить рабочие давления в системе. Первым шагом устанавливается значение минимального давления в системе, при котором будет включаться насос. Именно на этот параметр настраивается реле давления [1]. Перед подключением измеряется давление воздуха в пустом гидробаке. Оно должно быть примерно на 0.5–1 атмосферу ниже, чем расчетное минимальное давление включения насоса [3]. Монтаж осуществляется

вокруг центрального узла – пятивыводного штуцера. К его выходам последовательно подключаются гидроаккумулятор, труба, идущая от насоса (напорная линия), трубы бытового водопровода, ведущие к точкам потребления, реле давления, манометр для визуального контроля давления [2]. Такой порядок действий обеспечивает правильную работу системы и предотвращает частые включения насоса [2].

При проектировании автономной системы водоснабжения необходимо понимать устройство гидроаккумулятора и заранее продумать схему его подключения, включая способ удаления избытков воздуха и врезки в водопровод.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что гидроаккумулятор является не просто вспомогательным элементом, а системообразующим компонентом автономной системы водоснабжения, от корректного выбора и эксплуатации которого напрямую зависит эффективность и долговечность всей системы в целом.

Многофункциональность гидроаккумулятора проявляется в решении комплекса ключевых задач: от обеспечения стабильного давления в сети и защиты от гидравлических ударов до создания резервного запаса воды и, что наиболее важно, продления ресурса насосного оборудования за счет минимизации циклов включения-выключения. Конструктивная особенность устройства, основанная на разделении сред эластичной мембраной, обеспечивает ему неоспоримые преимущества перед простыми накопительными баками, предоставляя гибкость в настройке рабочего давления и монтаже без необходимости соблюдения высотных перепадов.

Классификация гидроаккумуляторов по ориентации (вертикальные и горизонтальные) и цветовая маркировка (синие для водоснабжения и красные для отопления) носят сугубо практический характер, ориентированный на оптимизацию пространства и безопасную эксплуатацию в конкретных условиях. При этом их работоспособность остается идентичной независимо от конфигурации.

Критически важным аспектом является комплексный подход к монтажу и настройке, при котором гидроаккумулятор функционирует в неразрывной связке с реле давления и манометром. Предварительная калибровка давлений (как в воздушной камере бака, так и в реле) и грамотная обвязка через пятивыводной штуцер являются обязательными условиями для запуска надежной и бесперебойной системы.

Таким образом, проектирование современной автономной системы водоснабжения требует тщательного подбора гидроаккумулятора, соответствующего расчетным параметрам расхода и давления, а также неукоснительного соблюдения регламентов его установки и дальнейшего обслуживания. Только при выполнении этих условий можно гарантировать

энергоэффективную, устойчивую к перегрузкам и комфортную в эксплуатации систему водоснабжения загородного дома.

Литература

1. Малыбаев Н. С., Касенов А. Ж., Абишев К. К., Кулумжанов Ж. Ж., Мукатов С. С. Рекомендации по выбору гидроаккумулятора для гидравлической системы / Наука и техника Казахстана –2020. – № 1. – С. 88-95.

2. Гидроаккумулятор: устройство и принцип работы гидробака в системе водоснабжения // sovet-ingenera.com [Электронный ресурс]. URL: https://sovet-ingenera.com/vodosnab/nasosy/chto-takoe-gidroakkumulyator.html (дата обращения 23.11.2025).

3. СНиП 2.04.01-85* «Внутренний водопровод и канализация зданий». – Москва: Госстрой России, 2005. – С. 60.

УДК 628.16

Аналитический обзор современных подходов к очистке подземных вод сложного состава для малых систем водоснабжения

Ружинский Д. Н., Ступакова П. И.
Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Республика Беларусь.
Научный руководитель Велюго Е. С.

В статье представлен комплексный анализ современных методов очистки подземных вод сложного состава для малых систем водоснабжения. Подробно рассмотрены технологические схемы, их преимущества и ограничения, а также критерии выбора для различных условий эксплуатации. Особое внимание уделено экономическим аспектам внедрения различных технологий.

Обеспечение качественной питьевой водой населения малых населенных пунктов представляет собой важную социально-экономическую задачу. Особую сложность вызывает очистка подземных вод сложного состава, характеризующихся одновременным присутствием железа, марганца и аммонийного азота [1]. Согласно данным мониторинга, в отдельных регионах Республики Беларусь концентрации железа в подземных водах могут достигать 5-20 мг/дм³, марганца – 0,8-1,5 мг/дм³, аммонийного азота - 3-6 мг/дм³ [2, 3]. Целью работы являлся сравнительный

анализ современных методов очистки таких вод для условий малого водопотребления.

Методология анализа. Для проведения сравнительного анализа были отобраны публикации за период 2018-2024 годов из рецензируемых научных журналов, материалов конференций и нормативно-технической документации. Критериями оценки технологий служили: эффективность очистки, капитальные и эксплуатационные затраты, надежность, простота эксплуатации и адаптивность к изменяющемуся составу воды.

Традиционные методы очистки и их ограничения. Одноступенчатые системы аэрации с фильтрацией остаются наиболее распространенным решением для малых водопроводов. Однако их эффективность существенно снижается при содержании железа выше 5 мг/дм^3 и наличии аммония свыше 1,5 мг/дм³ [4].

Дополнительные усложнения возникают из-за особенностей химических превращений железа и марганца в подземных водах: образование органо-железистых комплексов, недостаточный потенциал естественной аэрации и взаимное влияние процессов окисления.

При использовании традиционных схем применяются реагенты, усиливающие окислительные процессы, в том числе гипохлорит натрия [5, 6]. Каждый из них характеризуется определенными преимуществами и ограничениями. Например, гипохлорит натрия удобен в эксплуатации, но нестабилен при хранении, что требует регулярного обновления раствора.

Дозирование реагентов определяется исходной концентрацией целевых примесей и уровнем *pH*, так как недостаток окислителя снижает эффективность процесса, а избыток – образование нового загрязнения.

Наряду с химическими реагентами в таких системах применяются загрузки из природных материалов – кварцевый песок, антрацит [7], цеолит или сорбенты. Они обеспечивают механическую фильтрацию, сорбцию отдельных примесей и создают благоприятные условия для образования и удержания осадков гидроксидов металлов. Однако природные материалы не обладают выраженными каталитическими свойствами, поэтому требуют предварительного окисления загрязнителей.

Основные ограничения данных систем включают:

– конкуренцию окислительных процессов за растворенный кислород;

– образование устойчивых органо-железистых комплексов;

– недостаточный окислительный потенциал для марганца;

– чувствительность к колебаниям расхода и состава воды.

Исследования демонстрируют, что эффективность удаления аммония в одноступенчатых системах не превышает 15-20%, а марганца – 30-40% от исходных концентраций [8, 9]. Кроме того, при нарушении баланса между окислителем и загрязнителями возможны такие последствия, как

образование нестабильных хлопьев, осаждение марганца в водопроводных сетях и ускоренное засорение фильтрующей загрузки.

Перспективные технологические решения. Среди современных подходов к очистке подземных вод сложного состава особого внимания заслуживают двухступенчатые системы, предполагающие разделение процессов окисления и удаления различных загрязнителей между последовательными технологическими ступенями [10, 9]. В таких системах на первом этапе обычно применяется интенсивная аэрация с воздушно-водным соотношением (3-5):1 с последующей фильтрацией через каталитические загрузки, такие как сорбент *АС*, *МЖФ* или *Birm*.

Эти материалы работают по механизму гетерогенного катализа: их поверхность ускоряет реакцию окисления железа и марганца за счет переноса электронов и формирования активных центров, позволяющих поддерживать высокую скорость превращения даже при ограниченном содержании растворенного кислорода.

Эффективность каталитических материалов зависит от ряда факторов: *pH* воды, содержания органических веществ, аммония и сероводорода. Наличие перечисленных компонентов может блокировать каталитическую поверхность, снижать скорость окисления и увеличивать частоту регенераций. При несоблюдении химического режима возможно накопление осадков внутри пор загрузки и ускоренное снижение ресурса фильтра.

Второй этап технологического процесса предназначен для удаления аммония и глубокой доочистки с использованием цеолитов или ионообменных смол. Основными преимуществами данного подхода являются высокая степень очистки по всем целевым загрязнителям, стабильность работы при колебаниях состава воды и возможность независимой оптимизации параметров каждой ступени. Однако следует учитывать и существенные ограничения, включая усложнение технологической схемы, увеличение капитальных затрат на 25-40% и необходимость управления двумя независимыми технологическими линиями.

Альтернативным решением выступают системы с принудительной аэрацией фильтрующего слоя, основанные на организации восходящего потока воздуха через фильтрующую загрузку [11]. Данная конструктивная особенность обеспечивает поддержание высокой концентрации кислорода по всей высоте фильтра, что способствует интенсификации окислительных процессов. При использовании каталитических материалов это позволяет поддерживать стабильный режим их работы даже при изменении состояния воды.

Значительный практический интерес представляет технология многослойных фильтров с комбинированными загрузками, предусматривающая использование нескольких слоев фильтрующих материалов с различными функциональными свойствами в едином аппарате. Типичная компоновка таких фильтров включает каталитический материал для окисления железа и марганца, цеолит для сорбции аммония и активированный уголь для удаления органических веществ. К преимуществам данной технологии следует отнести относительно низкие капитальные затраты и универсальность для различных составов воды. Однако при эксплуатации многослойных фильтров возникают определенные технологические проблемы, включая сложность регенерации загрузки, риск смешивания слоев при промывке и ограниченный срок службы фильтрующей загрузки, что требует разработки специальных мероприятий по обслуживанию и эксплуатации таких систем.

В настоящее время для обработки воды сложного состава предлагаются и более сложные системы, включающие биологическую очистку, деферризацию в водоносных горизонтах, использование мембранных технологий, капельных фильтров, озонирование. В некоторых статьях авторы предлагают использовать наноматериалы, например, *FeCu* нанокомпозит [12] или основании наноразмерного диоксида титана. Однако все эти технологии в сравнении с альтернативными методами характеризуются значительно более высокой стоимостью очистки и сложностью технологического процесса, что ограничивает их применение в малых системах водоснабжения.

Несмотря на то, что капитальные затраты на двухступенчатые системы на 25-40% превышают затраты на многие приведенные технологические решения, их высокая эффективность и надежность делают такие инвестиции экономически оправданными при обработке вод с значительным уровнем загрязнения.

Заключение. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о высокой перспективности применения двухступенчатых систем и аппаратов с принудительной аэрацией для обработки подземных вод сложного состава. Выбор конкретной технологии должен учитывать характеристики воды, требуемую производительность и финансовые возможности объекта.

Литература

1. Водоснабжение: учебник для вузов / под ред. В. Г. Иганкова [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации. — Москва : АСВ, 2019. — 456 с.

2. Государственный водный кадастр Республики Беларусь. 2023 год [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны

окружающей среды Республики Беларусь, РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». – Минск, 2024. – URL: Архив кадастровой информации (дата обращения: 19.09.2025).

3. Общая характеристика качественного состава подземных вод на территории Республики Беларусь/ В.Д. Ющенко, Е. С. Велюго // сб. научн. Статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26-27 октября 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А.А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А.А. Волчек, О.П. Мешик, С.В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2023. – с 95 – 101.

4. Современные технологии водоподготовки : учебное пособие / А. К. Николаев, С. П. Орлова. — Санкт-Петербург : Профессионал, 2020. — 312 с.

5. Романовский, В. И., Гуринович, А. Д., Чайка, Ю. Н., & Петрык, В. (2013). Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения. Труды БГТУ.№ 3. Химия и технология неорганических веществ, (3), 55-60.

6. Романовский, В.И. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / Романовский В. И., Рымовская М. В., Бессонова Ю. Н., Ковалевская А. М., Лихавицкий В. В. // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – №2(92). – С. 68–71.

7. Клебеко, П. А., Романовский, В. И. (2017). Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов. In Молодежь в науке–2016: материалов XIII Междунар. науч. конф./Национальная академия наук Беларуси Совет молодых ученых, Минск (р. 347).

8. Велюго, Е.С. Влияние степени аэрации воды на удаление железа в напорных фильтрах с песчаной загрузкой и сорбентом АС при обработке воды сложного состава / Е.С. Велюго, В.Д. Ющенко // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2025 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2025. – С. 26-31

9. Велюго, Е. С. Предлагаемые схемы обработки сложного состава воды Витебской области Республики Беларусь / Е. С. Велюго, В. Д. Ющенко // Инновации в строительстве, сейсмическая безопасность зданий и сооружений: материалы международной научной и научно-технической конференции, 27-28 ноября 2024 года / редкол.: Ш.Т. Эргашев [и др.]. – Наманган: Наманган муҳандислик-қурилиш институти, 2024. – С. 496-499.

10. Yushchenko, V. / Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / Yushchenko V.,

Velyugo E., Romanovski V. / Groundwater for Sustainable Development – 2023. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100943

11. Yushchenko, V. / Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. / Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820

12. Chan, M.K., Abdullah, N., Rageh, E.H.A., Kumaran, P., Tee, Y.S., 2021. Oxidation of ammonia using immobilised FeCu for water treatment. Sep. Purif. Technol. 254, 117612. Чан, М.К., Абдулла, Н., Раге, Э.Х.А., Кумаран, П., Ти, Ю.С., 2021. Окисление аммиак с использованием иммобилизованного FeCu для очистки воды. Сентябрь Пуриф. Технол. 254, 117612.

УДК 628.144

Перспективы применения новых материалов в водопроводных сетях

Салянко И.А.
Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь
Научный руководитель Ратникова А.М., старший преподаватель

В статье рассматриваются современные перспективы использования новых строительных материалов в водопроводных сетях. Анализируются преимущества современных материалов, таких как композитные и полимерные материалы. Особое внимание уделяется их эксплуатационной надежности, долговечности, безвредностью к окружающей среде и экономической эффективности.

Надежность водопроводных сетей обеспечивается использованием материалов, обладающих высокой прочностью, долговечностью, безвредностью для окружающей среды и устойчивостью к различным воздействиям. Учитывая развитие технологий, особое внимание уделяется внедрению материалов, способных повысить эффективность эксплуатации и снизить эксплуатационные расходы.

Полимерные материалы. Широкому распространению труб из полимеров для прокладки водопровода способствуют следующие их достоинства:

– дешевизна изготовления и доступная стоимость для конечного потребителя;

– простота транспортировки и монтажа из-за малого веса;

– гладкие внутренние стенки, обеспечивающие меньшее гидравлическое сопротивление и сохраняющие постоянный пропускной диаметр;

– отсутствие коррозии;

– срок службы 50 и более лет;

– химическая устойчивость;

– легкость выполнения поворотов и присоединения к существующим коммуникациям.

Из минусов подобной продукции можно выделить недостаточную механическую прочность пластика.

Самыми распространенными материалами для производства полимерных труб для водоснабжения являются полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и полибутен.

Полиэтиленовые трубы – один из наиболее универсальных и востребованных видов пластиковых труб в строительстве и инженерных системах. Изготавливаются из полиэтилена низкого или высокого давления (LDPE, HDPE), который характеризуется высокой гибкостью, химической стойкостью и морозостойкостью. Но при температуре свыше 40 градусов склонен к размягчению, поэтому подходит только для холодного водоснабжения.

Полипропилен стоит дороже полиэтилена, но рассчитан на эксплуатацию с температурой жидкости 70-75° С. Данный материал отличается высокой термической стабильностью, абразивной и химической стойкостью. Простой высокотехнологичный монтаж посредством сварки гарантирует герметичность соединений.

Поливинилхлорид устойчив к воздействию химически активных веществ. Преимуществом материала является высокая стойкость к воздействию УФ-излучения. Изделия из поливинилхлорида можно повторно перерабатывать, что делает этот материал экологичным.

Полибутен является относительно новым полимерным материалом для труб. Для него характерны значительная механическая прочность при долгосрочных нагрузках, хорошая термостойкость, устойчивость как к образованию трещин, так и к абразивному износу. Соединение осуществляется методом сварки, что позволяет получать монолитные швы, свойства и параметры которых идентичны свойствам и параметрам самого изделия.

Композитные материалы. Композитные трубы представляют собой изделия, сконструированные по принципу композиции, где два или более материалов объединяются в единую структуру. Каждый компонент обладает своими уникальными характеристиками, но при совместном применении и применении передовых технологий производства образуется композит,

свойства которого превосходят суммарные характеристики его составляющих.

Главное достоинство многослойных композитных труб для водоснабжения заключается в их низкой кислородопроницаемости, высокой прочности на разрыв, гибкости и коррозионной стойкости.

Стеклопластик – один из самых дешёвых и доступных материалов. Преимущество стеклопластиковых труб (стеклопластиков) заключается в возможности их изготовления с различными механическими свойствами в зависимости от способа монтажа и толщины используемого волокна.

В настоящее время разработаны три основных типа конструкции стеклопластиковых труб: однослойные, двухслойные и многослойные. Каждый тип конструкции постоянно совершенствуется, добавляя новые материалы и соответственно совершенствуя технологию производства. Классические однослойные стеклопластиковые трубы широко используются в системах питьевого водоснабжения.

При выборе труб часто возникает проблема выбора толщины стенки труб для обеспечения необходимой прочности и надежности водопроводных сетей. В технических характеристиках полимерных труб чаще всего указываются параметры *SDR* (стандартное размерное отношение, равное отношению номинального наружного диаметра d_n трубы к ее номинальной толщине стенки e_n) и *PN* (номинальное давление, выраженное в бар), которые лишь в малой степени способствуют выбору оптимальных параметров трубопровода [1].

При выборе материала труб, а также толщины стенок необходимо руководствоваться условиями последующей эксплуатации [2].

В таблице представлены технические характеристики некоторых полимерных материалов, используемых для производства труб для водоснабжения. Диапазоны рекомендуемых *SDR для* труб из различных материалов указаны для рабочих давлений 0,4-1,0 МПа (минимальные значения рассчитаны с применением коэффициентов запаса прочности, рекомендуемых в ГОСТ [1]).

Таблица

Технические характеристики полимерных материалов

Материал	*SDR*	Срок службы	Гибкость	Экологичность
Полипропилен	13,6–21	50 лет	Средняя	Высокая
Полиэтилен	17–21	50 лет	Высокая	Высокая
Поливинилхлорид	21–26	50 лет	Низкая	Очень высокая

Полибутен	21–41	50 лет	Высокая	Средняя
Стеклопластик	-	50+ лет	Средняя	Высокая

Полимербетон. Бетон, произведенный из портландцемента, применяется во всем мире как строительный материал более 150 лет. Однако цементный состав и бетон обладают существенными изъянами, такими как слабая сопротивляемость изгибу, медленная скорость застывания, сильное растрескивание при сушке и пониженная химическая устойчивость. Для устранения указанных недостатков используют различные примеси.

Полимербетон – общее название группы бетонов, разработанных для устранения недостатков цементного бетона, в которых минеральное вяжущее частично или полностью заменено полимерами. Чаще всего под полимербетоном подразумевают бетоны на основе полимерных вяжущих без использования воды. Однако существуют и другие виды полимербетона, такие как полимерцементный бетон, пластичный бетон.

Полимерцементные материалы – это большая группа материалов, изготавливаемых с использованием двух связующих: минеральных и полимерных. К минеральным вяжущим относятся гипсовые, магнезитовые и гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, но наиболее часто используются различные виды цемента.

Пластичный бетон – это бетон, в котором минеральное связующее заменено термореактивными полимерами (эпоксидными, полиэфирными, фенолформальдегидными и др.). Пластичный бетон получают путём смешивания полимерного связующего с наполнителями. Пластичный бетон характеризуется высокой прочностью и износостойкостью, хорошей химической стойкостью и отличной адгезией к другим материалам.

Бетонополимер – это модифицированный бетон, в который вводят мономеры или жидкие олигомеры перед отверждением. Под воздействием специальных факторов, таких как тепловая обработка, эти вещества превращаются в устойчивые полимеры, надежно закупоривающие микротрещины и пустоты внутри структуры бетона. Это приводит к значительному улучшению характеристик материала: возрастанию механической прочности, способности выдерживать циклы замораживания и оттаивания, а также устойчивости к истиранию.

Полимербетоны имеют следующие достоинства:

– прочность, высокая пластичность, хорошая пригодность для ремонтных работ;

– более низкая плотность, и соответственно масса по сравнению с обычным бетоном;

– ударная стойкость, упругость в разы выше, чем у обычного бетона.

– стойкость к воздействию химическим реагентов.

Основным недостатком полимербетонов является достаточно высокая цена.

Перспективным направлением использования полимербетона в системах водоснабжения является реконструкция и ремонт сооружений на водопроводных сетях. Использование данного материала для строительства указанных сооружений не является целесообразным, поскольку требует значительных финансовых затрат из-за дороговизны материала, также необходимы дополнительные расчеты и, возможно, мероприятия для исключения возможности всплытия этих сооружений в водонасыщенных грунтах.

Использование новых материалов в водопроводных системах обладает значительным потенциалом для повышения их эффективности, надежности и заботе об окружающей среде. Современные разработки, такие как полиэтиленовые, композитные и полимербетонные материалы, позволяют уменьшить утечки, увеличить срок службы труб и снизить эксплуатационные расходы. Кроме того, новые материалы способствуют решению актуальных задач по обеспечению чистой воды и устойчивого развития городских инфраструктур.

Литература

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

2 ГОСТ ISO 13760-2024. Трубы из пластмасс для транспортирования жидкостей под давлением. Правило Майнера. Метод расчета накопленного повреждения : дата введ. 2024-11-29 / подготовлен Обществом с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИПЛАСТИК» (ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»). – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2024. – III, 8 с. – URL: https://files.stroyinf.ru/Data/845/ 84540.pdf?ysclid=mflioz13fx109124102 (дата обращения 20.11.2025).

УДК 628.316.12

Лабораторный подход к определению снижения показателя $БПК_5$ на этапах очистки сточных вод для студентов технических специальностей

Сергиенко Д. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В. Л., к.т.н., доцент

В статье рассмотрен лабораторный эксперимент по определению показателя $БПК_5$, проводимый при обучении студентов технических специальностей в курсе «Технология очистки сточных вод». Показана важность внедрения проведения лабораторных экспериментов на реальных объектах, сравнение полученных результатов с установленными нормами в процессе обучения студентов технического вуза для эффективного изучения протекающих процессов на этапах очистки сточных вод.

Биохимическое потребление кислорода за 5 суток (далее – $БПК_5$) является одним из важнейших показателей степени загрязнения сточных вод органическими веществами. Он показывает количество растворенного кислорода, которое требуется микроорганизмам для аэробного биохимического окисления и разложения нестойких органических соединений, содержащихся в воде, в течение пяти суток.

Важность мониторинга показателя $БПК_5$ определяет следующее:

– **оценка уровня загрязнения**. Высокий показатель $БПК_5$ свидетельствует о значительном содержании органических загрязнителей (пищевых отходов, фекальных масс, промышленных стоков и т. д.) в сточной воде;

– **контроль эффективности очистки.** Анализ $БПК_5$ на этапах прохождения сточными водами очистных сооружений позволяет оценить эффективность работы системы очистки и степень снижения органической нагрузки;

– **предотвращение ущерба окружающей среде.** Сброс сточных вод с высоким показателем $БПК_5$ в природные водоемы приводит к быстрому расходованию растворенного в воде кислорода, что вызывает дефицит кислорода и может привести к замору рыбы и гибели других водных организмов, нарушая экосистему водоема;

– **регулирование и соблюдение нормативно правовых актов РБ.** Показатель $БПК_5$ должен соответствовать допустимым нормативам сброса

загрязняющих веществ в сточных водах промышленных и коммунальных предприятий в водный объект, для предотвращения кислородного голодания водных экосистем;

– **оценка нагрузки на очистные сооружения.** Для персонала очистных сооружений показатель $БПК_5$ дает возможность оценить органическую нагрузку на очистные сооружения, и корректировать технологические процессы, такие как, аэрация.

Таким образом, контроль показателя $БПК_5$ является критически важным для обеспечения эффективной очистки сточных вод и защиты окружающей среды от органического загрязнения. Лабораторный анализ в области определения показателя $БПК_5$ позволяет благоприятно связать лабораторные эксперименты с дальнейшей профессиональной деятельностью студентов при проектировании и наладке технологических процессов очистных сооружений.

Лабораторный эксперимент разработан для студентов старших курсов технической специальности в рамках курса «Технология очистки сточных вод» и проводиться в течение 3 недель. Целью данного эксперимента является расчет снижения показателя $БПК_5$ в курсовом проекте и сопоставление с аналогичными объектами по производительности и органической нагрузке на очистные сооружения с дальнейшем его лабораторным определением в образцах сточных вод, отобранных на городских очистных сооружениях.

В первую неделю студенты производят расчет и определяют необходимую степень очистки сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, которая должна удовлетворять требованиям законодательства об охране и использовании вод [1]. Расчет введется в соответствии техническими нормативными правовыми актами [2; 3]. В качестве расчетных исходных данных студентам выдают статистические значения реальных объектов:

– массовые нагрузки по загрязняющим веществам;

– расход сточных вод;

– концентрации загрязняющих веществ в сточной воде.

Определение необходимой степени очистки сточных вод и расчет канализационных очистных сооружений студенты производят по основным показателям, характеризующим содержание загрязняющих веществ [3]:

– взвешенным веществам;

– суммарному содержанию в воде органических загрязняющих веществ, оцениваемому по $БПК_5$ и ХПК;

– наличию биогенных элементов (азота и фосфора).

На основании анализа данных, полученных по расчетам требуемой степени очистки сточных вод, студенты производят выбор метода и схемы

очистки сточных вод, а также подбирают состав канализационных очистных сооружений в соответствии с СТБ 17.06.02-03 [4].

Так как в данном лабораторном эксперименте требуется определить показатель $БПК_5$, то и анализ снижения концентрация загрязняющих веществ будет вестись по нему.

Эффективность удаления загрязняющих веществ на очистных сооружениях по показателю $БПК_5$ [2] составляет:

– после здания решеток 10-15 %;

– после механической очистки 20-33 %;

– после биологической очистки с различной нагрузкой на активный ил снижение до 7-15 $мгO_2/дм^3$.

После расчета и подбора очистных сооружений студенты приступят к экспериментальной части работы.

В начале второй недели студенты изучают методику определения и подготовительные этапы (отбор проб, требования к посуде и приготовление химических реактивов) $БПК_5$ [5] и растворенного кислорода [6; 7]. По результатам изучения методик преподаватель ведет дискуссию со студентами и намечается план работы.

Так как во время работы студенты будут контактировать с кислотами, щелочами и сточными водами, которые могут содержать патогенные микроорганизмы, перед началом проведения лабораторного анализа преподаватель проводит также инструктаж по технике безопасности с дальнейшей проверкой знаний.

Подготовку к эксперименту студенты начинают с посуды и приготовления химических реактивов, так как отобранные пробы нельзя консервировать, а анализировать нужно сразу.

При анализе применяют узкогорлые стеклянные колбы с пробками вместимостью 130-350 мл, калиброванные с точностью до 1 мл (колбы Винклера). Емкости тщательно моются перед применением сначала водопроводной водой несколько раз, а затем дистиллированной водой. Каждая колба и пробка к ней номеруются, а вместимость каждой колбы определяется взвешиванием.

Мерные колбы, цилиндры различного объема промываются также как колбы Винклера.

Студенты подбирают необходимые градуированные пипетки различного объема для точного дозирования реагентов, проверяют их на наличие сколов и повреждений.

Также могут потребоваться химические стаканы для вспомогательных операций, их подготовка аналогична подготовлению мерных колб и цилиндров.

Приготовление химических реактивов введется в соответствии с методиками определения [5; 6; 7] в сопровождении инженерного персонала кафедры.

Важной особенностью подготовительной стадии эксперимента (изучение методик, подготовку посуды и реактивов) является целенаправленная организация работы таким образом, чтобы стимулировать самостоятельность студентов. Минимальное участие преподавателей и инженерного персонала в этом процессе способствует развитию у обучающихся навыков планирования, организации и ответственного подхода к выполнению поставленных задач.

После подготовительного этапа студенты определят начальную концентрацию растворенного кислорода в контрольном растворе каждой пробы сточных вод городских очистных сооружений на начало отсчетного времени.

Анализ проводится на следующих точках отбора проб:

– вход на очистные сооружения;

– после здания решеток;

– после механической очистки сточных вод;

– после биологической очистки на выпусках очистных сооружений.

Так как потребление кислорода должно быть не менее 2 мгO_2/дм^3 и концентрация кислорода после инкубационного периода – не менее 2 мгO_2/дм^3, степень разбавления должна быть такой, чтобы после инкубационного периода остаточная концентрация растворенного кислорода была равна от $^1/_3$ до $^2/_3$ первоначальной концентрации [5].

В связи со сложностью определения необходимой степени разбавления, целесообразно применять несколько разных разбавлений, варьируя кратность разбавления и осуществляя разбавление, соответствующее предполагаемой концентрации $БПК_5$ в пробе первоначального расчета объекта аналога. Типовые кратности разбавления для определения $БПК_5$ представлены в табл. [5].

Таблица

Типовые кратности разбавления для определения $БПК_5$

Предполагаемое значение $БПК_5$, мг O_2/дм^3	Кратность Разбавления
1	2
3-6	Между 1,1 и 2
4-12	2
10-30	5
20-60	10
40-120	20

100-300	50
200-600	100
400-1 200	200
100-3000	500
2000-6 000	1000

Исходя из предполагаемой концентрации показателя $БПК_5$, кратность разбавления составит:

– 50 и 100 по 2 параллели на входе очистных сооружений;

– 50 и 100 по 2 параллели после здания решеток;

– 50 и 100 по 2 параллели после механической очистки сточных вод;

– 2 и 5 по 2 параллели после биологической очистки на выпусках очистных сооружений.

Определение концентрации растворенного кислорода студенты проводят йодометрическим (метод Винклера) [6] и электрохимическим методом [7], с дальнейшим помещением в герметичные колбы и в термостат в течение 5 суток в темноте.

Для понимания студентами принципов определения растворенного кислорода идеальным подходом является комбинированный анализ проб, при котором студентам сначала изучают основы классического эталонного метода Винклера, а затем электрохимического метода для получения практического опыта работы с современными аналитическими технологиями и проведения измерений в реальном времени. Такой подход позволяет студентам оценить достоинства и недостатки каждого метода с последующим выбором метода в будущем.

В начале третей недели по окончанию 5 суток студенты определят конечную концентрацию растворенного кислорода в контрольном растворе каждой пробы и далее рассчитывают значение $БПК_5$. По полученным значением показателя $БПК_5$ студенты могут рассчитать эффективность удаления загрязняющих веществ на очистных сооружениях и сопоставить со своими расчетами.

В предлагаемом лабораторном эксперименте к использованию в лабораторном практикуме «Технология очистки сточных вод» важнейшим элементом является интерпретация получаемых результатов и возможность проведения самостоятельного анализа с дальнейшим выводом, позволяет студентам развивать способность к аналитическому мышлению и самостоятельной работе.

Литература

1. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод».

2. СП 4.01.10-2025. Очистные сооружения сточных вод. – Минск: Министерство архитектуры и строительства республики Беларусь, 2025г. – 129 с.

3. СН 4.01.02.2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024г. – 80 с.

4. СТБ 17.06.02-03-2015 Охрана окружающей среды и природопользования. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод. – Минск: Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2015г. – 43с.

5. СТБ 17.13.05-22-2011/ISO 5815-1:2003 «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды. Определение биохимического потребления кислорода после n дней (БПКn). Часть 1. Метод с разбавлением и добавлением аллилтиомочевины». – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2012г. – 20с.

6. СТБ 17.13.05-30-2014/ISO 5813:1983 Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воды. Определение растворенного кислорода. Йодометрический метод. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2014г. – 16с.

7. СТБ ISO 5814-2021 Качество воды. Определение растворенного кислорода. Электрохимический метод с применением зонда. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2022г. – 20с.

УДК 628.211

Современные технологии в проектировании канализационных систем

Федорович Е.В., Алилуева Е.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Курчевский С.М., к.с.х.н., доцент

Приводятся инновационные технологии и материалы в сфере проектирования канализационных систем, позволяющие минимизировать эксплуатационные расходы и повысить качество проводимых работ.

Непрерывно развивающиеся технологии и появляющиеся инновационные материалы нашли свое отражение и в области проектирования канализационных систем различных объектов. Трехмерное моделирование, BIM-технологии, новейшие полимеры в любых объемах изготовления кардинально поменяли подход к прокладке инженерных сетей.

Технологии BIM моделирования в проектировании канализационных сетей.

BIM-технологии (Building Information Modeling) – комплексный инструмент для инженеров и проектировщиков, позволяющий управлять информацией о проекте на протяжении всего жизненного цикла. Сочетание этой методики вместе с 3D-проектированием объектов и инженерных комплексов и другим ПО дает возможность:

– повысить эффективность и качество инженерных работ;

– сравнивать эффективность различных проектных решений по целому ряду критериев и технических характеристик;

– обнаружить и исправить ошибки проектирования на ранних стадиях разработки проекта;

– минимизировать затраты на исправление выявленных ошибок и разработку системы в целом;

– визуализировать взаимодействие различных факторов (ландшафт, геометрия помещений и другие) на сеть и получить четкое понимание функционирования канализации в реальных условиях;

– осуществлять мониторинг текущего состояния элементов канализационных коммуникаций и планировать сроки техобслуживания и ремонтных работ.

Таким образом, применение BIM-технологии в строительстве различных объектов и прокладке канализации дает ощутимый экономический эффект для заказчика и снижает время и объем работ для

исполнителя разрабатываемого проекта. И чем больше и сложнее является проект, тем ощутимее эта выгода.

Применение современных материалов для трубопроводов.

Важное значение для эффективности и долговечной беспроблемной эксплуатации играет не только прокладка оптимальной конфигурации канализационных коммуникаций, но также и правильный подбор материалов для ее элементов. Чтобы это сделать, необходимо четко понимать все факторы, что воздействуют на трубы внутренней и внешней системы отведения сточных вод различного происхождения на протяжении всего срока их службы. К таковым воздействующим факторам можно отнести коррозионные процессы, химическую агрессивность среды, ультрафиолет, температурные перепады, вес почвы в случае подземной прокладки коммуникаций и другие.

Исходя из совокупности этих факторов чаще всего для прокладки трубопроводов таких комплексов помимо дорогостоящих традиционных металлических используются также пластиковые трубы. Они выигрывают у металлических по целому ряду факторов – в первую очередь, по стоимости и сроку беспроблемной службы без необходимости замены.

К числу наиболее передовых во всех отношениях пластиков для изготовления трубной продукции для систем отведения сточных вод относятся непластифицированный поливинилхлорид (НПВХ).

Изделия из НПВХ отличаются высокой прочностью, гладкой поверхностью и исключительной химической стойкостью. За счет последнего свойства они могут использоваться в том числе для отведения сточных вод предприятий химической промышленности.

Также они способны работать при более высоких температурах без потери несущей способности.

Производители предлагают конкретные решения, что оптимизированы для прокладки внутренней либо наружной канализации. Их простой монтаж не требует сварки и позволяет сэкономить на квалификации персонала, осуществляющего сборку трубопроводов. Кроме того, они могут монтироваться с участками канализационного контура, собранными из других материалов. А гидравлическое сопротивление любого контура, собранного из труб НПВХ, минимум на 20% ниже, чем у полипропиленового варианта аналогичной по конфигурации системы. Это в конечном итоге сказывается на величине расходов эксплуатации системы отвода сточных вод [1].

Бестраншейные технологии.

Бестраншейные технологии - это технология, позволяющая производить качественное восстановление и прокладку труб в стеснённых и труднодоступных условиях.

Преимущества:

– минимальное нарушение поверхности: сокращение времени и затрат на восстановление дорог и ландшафта;

– снижение воздействия на окружающую среду: уменьшение шума, пыли и выбросов;

– сокращение сроков строительства: более быстрое выполнение работ по сравнению с традиционными методами.

Примеры бестраншейной технологии: горизонтальное направленное бурение (ГНБ), микротоннелирование, санация трубопроводов методом рукава (CIPP).

Использование энергоэффективных насосных станций.

Правильный выбор современных перекачивающих агрегатов – залог высокого КПД системы и действенный рецепт снижения эксплуатационных расходов. Продуманный подбор оборудования позволяет не только снизить расход электроэнергии до 35-40% за счет снижения пиковых нагрузок, но и ощутимо продлить срок его службы и частоту техобслуживания.

Ключевыми факторами, определяющими энергоэффективность перекачивающих агрегатов, являются:

- подбор насосного оборудования с высоким КПД;
- автоматизированное управление, регулирующее мощность исходя из актуальных потребностей потребителей;
- наличие инверторных двигателей и частотных преобразователей, что оптимизирует работу всей системы [2].

Внедрение автоматизированных систем управления канализацией.

Автоматизация канализационных насосных станций и очистных сооружений на крупных объектах – еще одна важная составляющая их эффективной эксплуатации. Они построены на взаимосвязи количественных и качественных характеристик техпроцессов, имеющих место в системе отводов сточных вод в крупных масштабах.

Составными частями таких автоматизированные систем управления технологических процессов в канализационных сетях могут быть:

- системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA);
- распределенные системы управления (DCS);
- системы противоаварийной защиты (ESD);
- системы на программируемых логических контроллерах (PLC);
- другие компоненты.

Использование возобновляемых источников энергии для работы канализационных систем.

Если позволяют климатические условия, для снижения затрат на эксплуатацию канализационных сетей можно использовать возобновляемые источники энергии. К таковым, в частности, относятся:

1. Солнечная энергия. При высокой степени соляризации местности солнечные панели могут дать энергию для запитывания насосов, вентиляторов и иных устройств. Запитываемые водонагреватели в холодном климате повышают скорость разложения органики в септиках;

2. Ветровая энергия. При интенсивных ветрах в регионе источником дешевой электроэнергии могут также стать ветрогенераторы;

3. Геотермальная энергия. Тепло земли, получаемое геотермальными насосами, может способствовать поддержанию комфортной температуры в коммуникациях автономной канализации и очистки сточных вод в биореакторе;

4. Биогаз. Образующийся при анаэробном разложении ресурс может применяться для дополнительной генерации тепла (до 6 кВт/ч с кубометра биогаза) либо электрического тока (до 2 кВт/ч).

Подбор оптимального варианта решения по использованию источников энергии для работы канализации или же инженерного комплекса целиком должен учитывать специфику региона, масштаб и потребности сооружений [3].

Машинное обучение и искусственный интеллект.

Использование алгоритмов для анализа больших объемов данных и прогнозирования поведения канализационной системы позволяет:

– приток сточных вод: для оптимизации работы очистных сооружений;

– выявлять аномалии в работе системы: для предотвращения аварий;

– оптимизировать график обслуживания: для повышения надежности системы.

Таким образом, современные технологии в проектировании канализационных систем направлены на создание более эффективных, устойчивых и экологически чистых решений. Использование BIM, применение современных материалов для трубопроводов, ГИС, бестраншейных технологий и "умных" систем позволяет проектировать и эксплуатировать канализационные сети с большей надежностью и экономичностью.

Литература

1. Комиссарова, А. О. Инновационное развитие организации: основные принципы и подходы к развитию и реализации инноваций в сфере водоснабжения и водоотведения // Молодой ученый. — 2016. — №23. — С. 247-249.

2. Кривова, К. Проблемы внедрения инноваций в сфере жилищно-коммунального комплекса // Интернет-журнал «Науковедение» №6, 2013.

3. Моргун, Т. И. Новые технологии в проектировании сооружений очистки сточных вод / Т. И. Моргун, А. В. Кохович; науч. рук.

А.Д. Гуринович // Актуальные проблемы экономики строительства : материалы 8-й Республиканской научно-практической конференции, Минск, 29 ноября - 3 декабря 2010 года / Белорусский национальный технический университет, Строительный факультет ; редкол.: О.С. Голубова, Л.К. Корбан, Н.Е. Винокурова. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 118-122.

УДК 629.735

Особенности реконструкции действующих очистных сооружений населенных пунктов

Хаданович Ж.О., Зорочкина М. С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Терещенко А. В., ст. преподаватель

В данной статье рассматриваются основные аспекты реконструкции систем водоотведения с помощью современных методов и технологий, а также методы по автоматизации.

Зачастую системы водоотведения нуждаются в обновлении и модернизации, что способствует дальнейшей их эффективной и безопасной работе. Реконструкция таких сооружений оказывает устойчивое и рациональное развитие городской среды, а также безопасное существование природных объектов.

Процесс реконструкции систем и сооружений водоотведения охватывает комплекс мероприятий, нацеленных на их усовершенствование, восстановление и модернизацию существующих инфраструктурных объектов, таких как сети, насосные станции и очистные сооружения. Реализация данных мероприятий осуществляется с применением современных технологических решений, интеграцией передовых методов и комплексом экономических мер, а также посредством обновления технического оборудования.

Целью таких мероприятий является повышение эксплуатационной надежности, оптимизация эксплуатационных условий и достижение показателей, соответствующих актуальным нормативным требованиям и стандартам проектирования.

Можно утверждать, что реконструкция объектов жилищно-коммунального хозяйства зачастую обладает рядом преимуществ по сравнению с новым строительством, включая более высокую

экономическую эффективность, сокращение сроков реализации и минимизацию негативных воздействий на окружающую среду.

Кроме инновационных решений следует учитывая научные разработки и практические исследования в области водоотведения, что способствует получению результативных показателей в сфере отвода и очистки сточной воды.

При начале проектирования требуется не только определить стратегию реконструкции, но и выполнить доскональную оценку технического состояния объекта водоотведения используя определённые критерии. Это может быть исследование объёма и качества сточных вод за несколько лет, оценка состояния строительных конструкций и примененных ранее технологических подходов.

Для того чтобы начать реконструкцию очистных сооружений, необходимо также обращать внимание на рельеф местности, геологические условия, провести анализ геологической подосновы. Это обеспечивает основу для дальнейших проектных решений и повышения эффективности функционирования инфраструктуры.

На проведения реконструкции канализационных сетей влияет снижение прочностных характеристик и несоответствие современным стандартам, износ трубопроводов, что в свою очередь порождает рост аварийных случаев, которые воздействуют разрушительно на окружающую среду.

Из-за бурного роста населения городов, увеличением промышленного производства, объём сточных вод начал расти. Поэтому необходимо расширение пропускной способности действующих канализационных сетей, а также сооружений для обеспечения их эффективной работы в условиях повышенной нагрузки.

Немало важным фактом к современным требованиям, предъявляемым к системам канализации, являются факторы, обеспечивающие экологическую устойчивость и безопасность. Они предполагают сокращение уровня антропогенного загрязнения водных объектов, увеличение эффективности очистки в соответствии с нормативной базой. [1]

Проводя работы на уже существующих системах водоотведения, важно постепенно и поэтапно осуществлять с частичным выведением их из эксплуатации.

Пути к реконструкции систем и сооружений канализации направлены на эксплуатационное и техническое укрепление, которые представляют собой:

1. Восстановление и обновление действующих систем и объектов в соответствии с исполнительной документацией, что обеспечивает их соответствие текущему состоянию и требованиям эксплуатации;

2. Интенсификацию функционирования очистных сооружений посредством внедрения современных технологических решений,

направленных на повышение производительности и эффективности процессов очистки;

3. Реализацию реконструкционных мероприятий, ориентированных на улучшение качественных показателей работы систем и сооружений, что способствует достижению нормативных требований и снижению экологического воздействия [2].

Спецификой реконструкции считается выполнение строительно-монтажных работ, которые характерно отличаются от стандартных процедур, применяемых при новом строительстве, обусловленных необходимостью адаптации к существующим условиям эксплуатации, ограничениями по пространству и технологическим особенностям.

Кроме того, сложно изменять геометрические параметры объектов в условиях действующего производства. Ещё трудность предоставляет ограниченное пространство для работ, выполнение которых требуется беспрерывного процесса перекачки и очистки сточной воды.

Реконструкция производится с помощью переделывания имеющихся объектов основного, вспомогательного и обслуживающего назначения, которое необходимо для улучшения показателей технологического процесса, повышения качества очистки, а также для реализации установленных нормативов по допустимому сбросу в объекты окружающей среды. На действующих станциях могут вводиться дополнительные технологические процессы, а также сооружаться новые или расширяться существующие объекты.

Процесс реконструкции существующих систем водоотведения должен отвечать следующим требованиям:

– сокращение временных затрат на проведение работ;
– минимизация расхода материалов и финансовых ресурсов;
– снижение себестоимости реализуемых мероприятий;
– повышение надежности и качества эксплуатации сооружений;
– улучшение гидравлических характеристик системы;
– соответствие современным техническим и правовым нормам Республики Беларусь.

Комплекс мер по реконструкция очистных сооружений включает в себя:

– совершенствование работы механических элементов (решеток, песколовок, первичных отстойников);
– внедрение инновационных загрузочных материалов;
– реконструкцию и интенсификацию биофильтров различных типов, включая капельные и высоконагружаемые;
– использование рециркуляции сточных вод;
– применение систем искусственной вентиляции загрузки биофильтров;

– внедрение комбинированных технологических схем;

– модернизацию аэрационных сооружений с активным илом, включая увеличение его массы и оптимизацию аэрационной системы;

– интенсификацию процессов перемешивания иловой смеси;

– реализацию глубокой биологической очистки в аэротенках с удалением азота и биологическим удалением фосфора;

– реконструкцию вторичных отстойников;

– совершенствование сооружений для обработки осадков сточных вод;

– интенсификацию процессов илоуплотнения и стабилизации;

– внедрение аэробно-анаэробных и анаэробно-аэробных методов стабилизации;

– реконструкцию иловых площадок [1].

Для перевода насосной станции в автоматический режим следует реализовать следующие меры:

– автоматическое включение и отключение насосных агрегатов по сигналам уровня воды в резервуарах;

– диспетчеризация работы насосных агрегатов для равномерного использования моторесурса и исключения перегрева электропривода;

– защита насосных агрегатов по: пусковому току, обрыву/перекосу фаз, снижению сопротивления изоляции и перегреву статора, неисправности обратного клапана;

– перекрытие входной задвижки при пропаже напряжения на фидерах или авариях;

– внедрение автоматизации работы дробильных установок;

– регистрация учета расхода перекачиваемой воды;

– обеспечение охранной и пожарной сигнализации;

– передача информации о работе насосной станции на центральный диспетчерский пункт по телефон ному каналу связи или радиоканалу.

Полностью автоматизировать очистную станцию не получится, так как присутствует риск подтопления машинного зала. Но если заменить насосы на современные погружные агрегаты, которые устанавливают на фундамент внутри машинного зала, то возможно перевести очистную станцию на полную автоматизацию. В том случае если произойдёт подтопление, то работоспособность такой станции сохранится [3].

Таким образом, целью реконструкции систем водоотведения и очистных сооружений является повышении качества очистки сточных вод при рациональном использовании существующей инфраструктуры. Это достигается путем замены устаревших технологий и оборудования на

современные, более эффективные решения, а также внедрением автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Литература

1. Саломеев В. П., Рыжков А. Д. Реконструкция и модернизация очистных сооружений водоотведения в Московской области / Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013. – № 11 – С. 38–41.

2. Новикова О.К. Реконструкция систем водоснабжения и канализации: учебное пособие/ О.К Новикова. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2023. – С. 212.

3. В.И. Баженов, д.т.н., А.Н. Эпов Реконструкция сооружений на станциях по очистке сточных вод/ Журнал. Водоснабжение и канализация. – 2010 – № 3 – С. 90-91.

4. Ручай Н. С., Маркевич Р. М. Экологическая биотехнология. Минск, 2006.

5. Лихачев, Н.И. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин. М. : Стройиздат, 1981. 639 с.

6. Саломеев, В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения. М. : АВС, 2009. 192 с.

УДК 628.196

Анализ способов получения коагулянтов из вторичных материальных ресурсов

Хандрико Н.А.[1], Шорец Е.Д.[1],
[1]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Комаров М.А. [1, 2]

Переработка отходов и очистка промышленных сточных вод всегда представляли интерес. В последние годы все больше работ посвящено переработке различных отходов в полезные продукты. Получение коагулянтов также может быть основано на вторичных материальных ресурсах, причем получаемые материалы по своим эксплуатационным свойствам не уступают коагулянтам, получаемым на природном сырье.

Текст статьи: Получение коагулянтов из вторичных материальных ресурсов – перспективное направление, основанное на использовании отходов различных отраслей промышленности (шламы, зола, отработанные соли, осадки сточных вод [1-2]) для производства неорганических (соли алюминия, железа) и комбинированных реагентов [3], что снижает затраты и нагрузку на окружающую среду путем рециклинга и создания замкнутых технологических циклов [5-8]. Основные подходы включают переработку промышленных отходов в соли (сульфаты и хлориды) алюминия или железа либо в алюминат натрия.

В настоящее время все больше внимания уделяется переработке вторичных материальных ресурсов на полезные материалы и все менее – получению из природного сырья. Это обусловлено рядом причин:

1. Экологические причины:

– сохранение природных ресурсов: переработка отходов снижает потребность в добыче и заготовке природных ресурсов;

– снижение загрязнения: процессы добычи и производства природных материалов часто сопряжены с высоким уровнем загрязнения воздуха, воды и почвы. Переработка образующихся отходов на промышленных производствах помогает минимизировать эти негативные воздействия и снижает количество отходов, отправляемых на утилизацию или захоронение;

– борьба с изменением климата: производство из вторичного сырья обычно требует значительно меньше энергии по сравнению с производством из природного. Это приводит к сокращению выбросов CO_2, что помогает замедлить загрязнение воздуха, а также глобальное потепление.

2. Экономические причины:

– энергосбережение: использование вторичных материалов в большинстве случаев требует меньше энергии на переработку чем при однотипном производстве из природного минерального сырья;

– экономия затрат и создание рабочих мест: Для предприятий использование вторичного сырья может быть экономически выгоднее, чем закупка дорогостоящего первичного сырья, а также позволяет снизить затраты за счет уплаты экологических налогов за хранение образующихся отходов на промышленных площадях.

– устойчивое использование ресурсов: переработка вторичных материальных ресурсов обеспечивает более разумное и устойчивое использование существующих ресурсов, замыкая цикл производства и потребления (концепция циркулярной экономики).

Эти факторы, наряду с растущим осознанием обществом проблем экологии, смещают акцент с линейной модели «взять, произвести, выбросить» на более эффективное и ответственное управление ресурсами.

Исходя из вышесказанного перспективным является получение коагулянтов также из вторичных материальных ресурсов, что подтверждается многочисленными исследованиями в этой области.

Одним из вариантов получения коагулянтов (сернокислого алюминия) для нужд процессов водоснабжения и водоотведения является их получение из различных шламов, образующихся на производствах. Одним из перспективных шламов для получения коагулянтов является красный шлам. Красный шлам состоит на 50-70 % из цеолитоподобных каркасных гидроалюмосиликатов натрия и на 30-40 % из аморфизованных оксигидроксидов железа и представляет собой тонкодисперсный остаток производстваглинозема, получаемого из бокситового сырья по способу Байера [1].

Другим направлением является получение смешанных коагулянтов на основе вторичного сырья, содержащего $Al_2O_3 + Fe_2O_3$. При очистке воды смешанным коагулянтом даже при низкой температуре не наблюдается осадков оксида железа, что обусловлено образованием и осаждением хлопьев до фильтров. Хлопья осаждаются равномернее, чем в случае применения коагулянтов порознь, и в отстойниках достигается более полное осветление, что позволяет значительно уменьшить нагрузку на фильтры. Эффект обработки воды при температуре 20°С смешанным коагулянтом близок к эффекту коагуляции сульфатом железа при 50°С и сульфатом алюминия при 80°С [3].

В работе [4] приводятся результаты исследований по переработке литейных шлаков. В данном процессе шлак, содержащий различные примеси, обрабатывают растворами каустической соды с концентрацией 70-80 г/дм^3 при 60-80^{o}С в течение 1,5 ч. В этом процессе происходит переход в раствор алюмината натрия, который может быть использован в качестве коагулянтов для очистки водных сред [4].

Существуют также способы получения коагулянта при технологиях замкнутого цикла. Примером такой технологии является переработка осадков водоподготовки на синтетические сульфаты кальция [5-8]. В процессе обработки кальцийсодержащих осадков водоподготовки серной кислотой образуется фильтрат, в котором содержится растворенный сульфат железа (III). Отделенный фильтрат может быть использован в качестве коагулянта для очистки сточных вод. Его эффективность при оптимальной дозе 200 мг/л составила 77,8%, что на 4,9% ниже эффективности коммерческого сульфата железа. Результаты, полученные при очистке воды коагулянтом из фильтрата, показывают несколько

завышенные значения. Однако полученные значения не превышают нормативных значений, установленных ВОЗ [2].

Как видно из представленного анализа много работ посвящено получению коагулянтов из разнообразных вторичных материальных ресурсов, что показывает высокую актуальность данной темы исследований.

Литература

1. Тужилин А.С., Ветчинкина Т.Н. Переработка красных шламов с получением коагулянтов и сорбентов // Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» – 2018. – С. 664-667.

2. Romanovski V. et al. Approaches for filtrate utilization from synthetic gypsum production // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Т. 30. – №. 12. – С. 33243-33252.

3. Рамазони Ш. и др. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА // Вопросы физической и коллоидной химий. – 2019. – С. 119-123.

4. Тужилин А.С., Лайнер Ю.А., Сурова Л.М. // Сб. тезисов докладов Международной конференции по химии и химической технологии. М., Институт металлургии им. Байкова РАН, Химич. Технология. – 2007. – Т. 4. – с. 389.

5. Romanovski V. et al. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste // Engineering Reports. – 2025. – Т. 7. – №. 1. – С. e13028.

6. Liu D. et al. Effect of calcination temperature and superplasticizer on the properties of anhydrite II from phosphogypsum // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2024. – Т. 149. – №. 21. – С. 11587-11597.

7. Kamarou M. et al. High strength anhydrite cement based on lime mud from water treatment process: one step synthesis in water environment, characterization and technological parameters //Engineering Reports. – 2025. – Т. 7. – №. 1. – С. e13054.

8. Liu C. et al. Effect of phosphogypsum flotation purification on anhydrite properties // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2025. – С. 1-16.

УДК 504.4.062.2

Сравнительный анализ применимости различных сооружений по обращению с поверхностными сточными водами на селитебной территории

Шавейко К.Н., Шакаль Т.М.
Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Целью научного исследования является сравнительный анализ сооружений, применяемых для сбора, аккумуляции, транспортировки и очистки поверхностных сточных вод на селитебных территориях населенных пунктов в условиях Республики Беларусь.

Поверхностные сточные воды с селитебной территории представляют собой дождевые, талые и поливомоечные воды, формирующиеся с крыш, придомовой и дворовой территории, тротуаров, дорожного покрытия и других застроенных участков населенных пунктов. Их количество в населенных пунктах имеет устойчивую тенденцию к увеличению за счет постоянного уплотнения жилой застройки, а формирование уличной сети с учетом характера городской застройки, функционального назначения улиц, интенсивности транспортного и пешеходного движения ведет к постоянному росту твердых водонепроницаемых покрытий и увеличению нагрузки на дождевую канализацию населенного пункта. Изменение климата в части интенсивности выпадающих осадков, особенно в летний период, усугубляет эту проблему, что приводит к перегрузке сети дождевой канализации и подтоплениям городских территорий.

Решение данной проблемы находится в плоскости проектирования и строительства комплексных систем сбора и отведения поверхностных сточных вод, которые можно укрупнённо разделить на три типа:

– сооружения «сине-зелёной» инфраструктуры (пруды-испарители, фильтрационные каналы, растительные и биодренажные каналы и т.д.) [1];

– модульные устройства очистки (резервуары-отстойники, пескоуловите-ли, бензомаслоотделители и т.д.);

– сборные конструкции и сооружения.

Выбор типа сооружений для обращения с поверхностными сточными водами с селитебной территории будет зависеть от совокупности факторов, основными из которых являются наличие уже сложившейся застройки с ее инженерной инфраструктурой, гидрогеологические условия территории и

вид приемника поверхностных сточных вод (сети канализации или окружающая среда).

Законодательно требования к нормированию поверхностных сточных вод при их сбросе в окружающую среду или в системы канализации населенного пункта, а, следовательно, и требования к их очистке, существенно различаются.

При отведении поверхностных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов требования регламентированы постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.09.2016 №788 «Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах» и предусматривают предварительную очистку поверхностных сточных вод только с территории промплощадок предприятий при их последующем сбросе в дождевую канализацию населенного пункта.

При отведении поверхностных сточных вод в окружающую среду не зависимо от источника их образования (селитебная территория или территория предприятия) в соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26.05.2017 № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» требуется очистка поверхностных сточных вод до 20 мг/дм^3 по взвешенным веществам и до 0,3 мг/дм^3 нефтепродуктам.

При этом ЭкоНиП-17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» [2] также вводит обязательные требования в части очистки поверхностных сточных вод от объектов автомобильного транспорта:

– отведение производственных сточных и поверхностных сточных (дождевых, талых, поливочных) вод на локальные очистные сооружения с последующим использованием очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения, сбросом в поверхностный водный объект или в систему канализации населенного пункта;

– наличие очистных сооружений дождевой канализации при размещении автомобильных стоянок и автомобильных парковок: в водоохранных зонах при общей вместимости 25 и более машиномест для одного объекта, а на других территориях общей вместимостью 100 и более машиномест для одного объекта, за исключением случаев, когда отведение поверхностных сточных вод осуществляется во внеплощадочные сети дождевой канализации, оборудованные очистными сооружениями и при выполнении условий приёма сточных вод на основании гражданско-правового договора, заключенного с владельцем внеплощадочных сетей дождевой канализации [2].

Соответственно, при проектировании выпуска поверхностных сточных вод в водные объекты требования основные строительные нормы и требования будут ориентироваться на природоохранное законодательство: согласно СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» при сбросе поверхностных сточных вод в окружающую среду степень их очистки следует принимать в соответствии с требованиями законодательства об охране и использовании вод [3].

При отведении поверхностных сточных вод в подземные горизонты путем инфильтрации также имеются ограничения, закрепленные в СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населённых пунктов»: сброс поверхностных вод в инфильтрующие выемки или пруды-испарители осуществляется в инженерно-геологических условиях, исключающих загрязнение эксплуатируемых подземных водоносных горизонтов; выбор типа водоотводящих устройств следует осуществлять с учетом функционального использования территории, архитектурно-планировочных, санитарно-эпидемиологических, гигиенических и экологических требований [4].

Проведенный анализ строительных норм и строительных правил в части требований по конструктивным решениям сбора и очистки поверхностных сточных вод указывает, что отдельные общие требования содержатся только в СП 4.01.02-2022 «Сети наружной канализации и сооружения на них» [5]. В документе закреплена необходимость предусмотра решений при застройке и вертикальной планировке территории населенного пункта минимизации притока отводимых поверхностных сточных вод к дождевой канализации, в том числе за счет устройства площадок для инфильтрации поверхностных сточных вод в инженерно-геологических условиях, исключающих загрязнение эксплуатируемых подземных водоносных горизонтов. Регулирование расхода дождевых сточных вод с устройством регулирующих или аккумулирующих емкостей предусматривается с целью уменьшения и усреднения расхода, поступающего на очистные сооружения или насосные станции, также применяют перед отводными коллекторами большой протяженности для уменьшения диаметров труб. Для регулирования расхода дождевых сточных вод устраивают пруды или резервуары [5].

Таким образом, выбор сооружений и конструкций при обращении с поверхностными сточными водами на селитебной территории населенного пункта может быть реализован разными способами.

Ниже в таблице приведён сравнительный анализ трёх различных сооружений по обращению с поверхностными сточными водами, реализованный на территор

Таблица

Сравнение реализованных технологий по обращению с поверхностными сточными водами

Местоположение	Тип и площадь застройки	Приемник сточных вод	Тип очистных сооружений	Расход, л/с	Эффективность очистки, вход/выход, мг/дм^3	Эффективность очистки, в %
аг. Гатово	Жилая застройка 0,94 га	Грунт	Комбинированный пескобензомаслоуловитель	20	ВВ – 2000/20 НП – 18/0,3	ВВ–99% НП –98%
аг Ратомка	Жилая застройка и парковка 0,75 га	Водный объект	Пескоилоотделитель и отделитель нефтепродуктов	15	ВВ – 600/10,0 НП – 40/0,3	ВВ–98% НП –99%
аг. Хатежино	Детский сад и прилегающая территория 0,76 га	Канализация	Бензомаслоотделитель с интегрированным пескоилоотделителем, коалесцентным фильтром, модульные резервуары	10	ВВ – 2000/20 НП – 18/0,3	ВВ–99% НП –98%

Сравнительный анализ реализованных проектных решений проводился по трем принципиально различным очистным сооружениям, реализующим технологию сбора и очистки поверхностных сточных вод с территории жилой застройки и близкой к ней по функциональным особенностям площадью 0,75-0,94 га. Эффективность очистки сточных вод оценивалась по двум показателям, на удаление которых ориентированы данные очистные сооружения: взвешенные вещества (ВВ) и нефтепродукты (НП).

В агрогородке Гатово реализован проект с использованием комбинированного пескобензомаслоуловителя «БОС ДОЖДЬ Б 20» (рис. 1).

В комбинированном пескобензомаслоуловителе из сточных вод выделяются взвешенные вещества, а также свободные и частично эмульгированные нефтепродукты. Принцип работы основан на нескольких физических процессах. На первой стадии сточные воды из подводящего патрубка направляются вдоль стенок отделителя между стенкой и защитным экраном коалесцентного модуля.

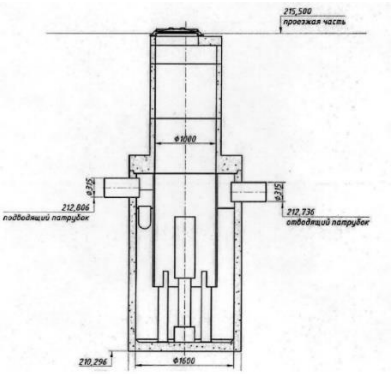


Рис. 1. Технологическая схема установки

При этом возникающие центробежные силы воздействуя на более тяжёлые чем вода частицы заставляют их скапливаться в пристенной области. Далее поток теряет скорость и ближе ко дну отделителя замедляется в достаточной мере для того, чтобы частицы под воздействием силы гравитации высадились на дне отделителя. Осветлённая таким образом вода поступает в зону коалесцентного модуля, где капельки нефтепродуктов и частично эмульгированные нефтепродукты притягиваются к поверхности модуля проходя сквозь лабиринты из полипропиленовых нитей. Коалесцентный модуль позволяет отделять из воды также мелкодисперсные взвешенные вещества, для отделения которых требуется продолжительное время отстаивания путём их агдезии к отделившимся нефтепродуктам. Далее поверхностная сточная вода попадает в перфорированную систему для инфильтрации в грунт общим объёмом 150 м^3 (рис. 2).

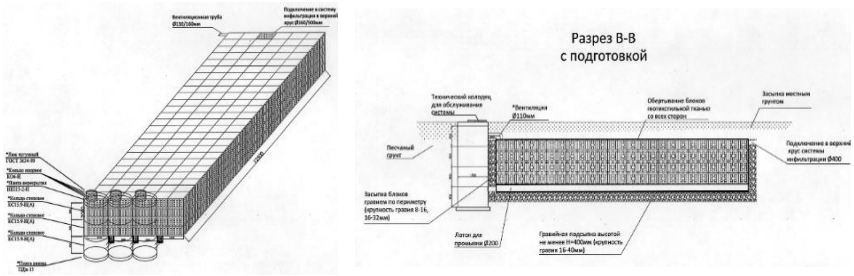


Рис. 2. Схема инфильтрационной системы

Система представляет собой резервуар, состоящий из инфильтрационных кассет и комплектующих. Резервуар устанавливается

под землёй. Для создания замкнутого контура подземного инфильтрационного резервуара и исключения проникновения грунта внутрь системы применяется геоткань, а для промывки системы – лотки.

После предварительной очистки сточные воды через входную трубу поступают в подземный инфильтрационный резервуар. Вода равномерно заполняет объём резервуара и постепенно фильтруется в грунт через поверхность дна и боковые поверхности резервуара.

Во время ливня происходит стихийное заполнение объёма резервуара с последующим равномерным отведением воды через боковые стенки системы, и постепенно и равномерно фильтруется в грунт (дренажную систему) во время дождя и после него.

В случае, когда резервуар применяется как аккумулирующий, сточные воды через входную трубу поступают в подземный аккумуляционный резервуар. Вода равномерно заполняет объём резервуара и постепенно сбрасывается в дождевую канализацию.

В агрогородке Ратомка на участке многоэтажной жилой застройки и парковках к ней предусмотрена закрытая система дождевой канализации для отвода воды с кровли зданий, прилегающей придомовой территории и парковки с очисткой поверхностных сточных вод с последующим сбросом в водный объект через мелиоканал. В схему водоотведения дождевой канализации входят магистральные сети, очистные сооружения, накопительный резервуар, насосная станция дождевых вод (ДНС). Поверхностные сточные воды от парковок поступают в накопительный резервуар V=12м^3, откуда ДНС перекачиваются в самотечные сети и далее поступают на очистные сооружения. ДНС оборудована погружным канализационным насосом, работающим в автоматическом режиме в зависимости от уровней воды в накопительном резервуаре с помощью поплавковых датчиков уровня. В накопительном резервуаре установлена сороудерживающая решётка, обеспечивающая задержание мусора. Очистные сооружения эксплуатируются в составе пескоилоотделителя и отделителя нефтепродуктов.

В агрогородке Хатежино проект сбора и очистки поверхностных сточных вод реализован для детского сада и прилегающей территории. В составе очистных сооружений предусмотрены бензомаслоотделитель с интегрированным пескоилоотделителем, коалесцентным фильтром, автоматическими затворами с обводной линией.

Поверхностная сточная вода через входной патрубок поступает в пескоилоотделитель, где происходит отделение песка и взвешенных веществ с применением эффекта центрифугирования при раскручивании сточной воды по спирали. Отделившийся песок и взвешенные вещества оседают на дно пескоилоотделителя; далее сточные воды попадают в

бензомаслоотделитель. В бензомаслоотделителе загрязненные сточные воды проходят через коалесцентные модули, где происходит отделение нефтепродуктов. Отделившиеся нефтепродукты всплывают на поверхность, а вода через выходной патрубок сбрасывается в канализацию. Сепаратор оборудован встроенным байпасом (обводная линия), который подает на очистное сооружение только максимально загрязненные поверхностные сточные воды во время таяния снега, умеренных дождей и в первые минуты обильных ливней. При возрастании объема поступающей воды во время интенсивного выпадения осадков условно чистая вода подается через специальное устройство мимо очистного сооружения. При скоплении определенного количества нефтепродуктов (при уменьшении плотности воды) в нефтеотделителе срабатывает автоматический запорный клапан (поплавок запорного клапана всплывает, и запорная арматура перекрывает выходной патрубок).

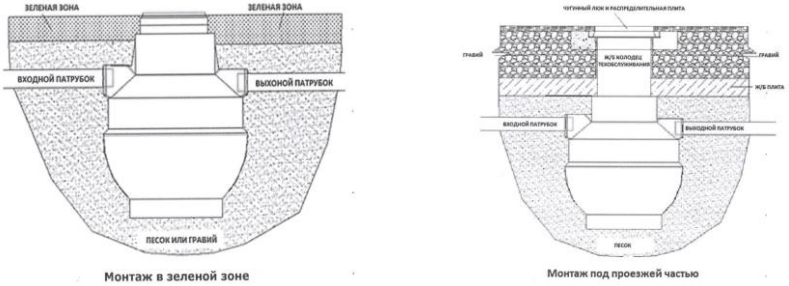


Рис. 3. Схема установки системы в зелёной зоне и под проезжей частью

Очистные сооружения также дооборудованы модульными резервуарами ACO StormBrixx для инфильтрации поверхностных сточных вод (рис. 4).

Рис. 4. Схема модульных резервуаров в разрезе

Сравнительный анализ эффективности очистки поверхностных сточных вод указывает, что все рассмотренные очистные сооружения, независимо от приемника сточных вод (окружающая среда или системы дождевой канализации населенного пункта), обеспечивают природоохранные требования по сбросу сточных вод в поверхностные водные объекты, что является избыточным, например, при сбросе сточных вод в сети дождевой канализации населенного пункта, и, соответственно, экономически более затратным как в части строительства, так и в части последующей эксплуатации.

Таким образом, рассмотрев несколько вариантов обращения с поверхностными сточными водами с учетом требований национального законодательства, очевидно, что при планировании жилой застройки целесообразно использовать различные очистные сооружения поверхностных сточных вод. В условиях агрогородков и малых населенных пунктов целесообразно расширять использование сооружений «сине-зелёной» инфраструктуры, которые являются более экономичными как в части возведения, так и в части эксплуатации.

Литература

1. Дубенок С.А., Шавейко К.Н. Анализ законодательных основ и технических решений по реализации «сине-зеленой» инфраструктуры в Республике Беларусь // V Международная научно-практическая конференция «Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий» [Электронный ресурс]: сб. докладов. /Нижегор. гос. архитектур.-строит. ун-т; редкол.: Д.Л. Щеголев [и др.]– Н. Новгород: ННГАСУ, 2024 –370 с.

2. ЭкоНиП-17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» / Минск: Минприроды, 2022.

3. СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» / В. Н. Ануфриев, Е. А. Казанли. – Минск: МАиС, 2024 – 24с.

4. СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населённых пунктов» / А.Н. Хижняк, О. М. Мазан, Ю. Н. Винников. – Минск: МАиС, 2023 – 43с.

5. СП 4.01.02-2022 «Сети наружной канализации и сооружения на них» / В. Н. Ануфриев, Г. А. Волкова, В. Н. Корнеев. – Минск: МАиС, 2023 – 24с.

УДК 628.35

Анализ перспективных способов биологической очистки сточных вод

Шакаль Т.М., Шавейко К.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Колобако А.А., ассистент

В данной статье проводится комплексный анализ современных инновационных методов биологической очистки сточных вод, направленных на повышение эффективности удаления загрязняющих веществ, минимизацию энергопотребления и реализацию принципов циркулярной экономики. Рассмотрены ключевые перспективные технологии, включая мембранные биореакторы (МБР), электрохимическая активация бактерий, применение фотокаталитических методов совместно с биологической очисткой, а также фотобиологические системы с использованием микроводорослей

Биологическая очистка сточных вод – это процесс удаления загрязняющих веществ с помощью микроорганизмов. Этот метод активно применяется в различных сферах – от бытовых канализационных систем до крупных промышленных предприятий. В этой статье мы разберем схему биологической очистки сточных вод, её этапы, методы, эффективность, а также рассмотрим перспективные способы биологической очистки.

Процесс биологической очистки основан на природных механизмах самоочищения водоемов, но в контролируемых условиях. В этом процессе ключевую роль играют микроорганизмы, которые разлагают органические загрязнители, превращая их в безопасные соединения – воду, углекислый газ и биомассу.

Необходимость разработки новых и усовершенствованных способов биологической очистки сточных вод обусловлена комплексом современных вызовов и требований [1]:

– ужесточение экологических нормативов: законодательства разных стран мира постоянно ужесточают требования к качеству очищенной воды. Существующие традиционные методы не всегда могут обеспечить удаление всех типов загрязнителей, что требует разработки более эффективных технологий;

– истощение водных ресурсов и необходимость повторного использования воды (циркулярная экономика): дефицит пресной воды становится глобальной проблемой. Новые методы очистки позволят

очищать сточные воды до качества, пригодного для технических нужд или даже питьевых целей после дополнительной обработки.

– энергоэффективность и снижение эксплуатационных расходов: традиционные аэробные методы очистки (с подачей кислорода) являются крайне энергозатратными. Новые подходы, например, анаэробные процессы, позволяют не только снизить потребление электроэнергии, но и производить биогаз (метан), который может использоваться как возобновляемый источник энергии для нужд самих очистных сооружений.

– проблема избыточного ила: классические методы очистки генерируют большие объемы активного ила, утилизация которого требует значительных затрат. Новые технологии направлены на минимизацию образования отходов или превращение их в полезные продукты (удобрения, биотопливо).

– удаление специфических и новых загрязнителей: появление тысяч новых химических соединений в сточных водах ставит задачу создания методов, способных их эффективно разлагать. Биологические методы с использованием специализированных или генетически модифицированных микроорганизмов предлагают решения для этих сложных задач

Наиболее перспективными на сегодняшний день являются следующие методы биологической очистки:

1. Биореакторы с мембранным разделением

Эти системы объединяют традиционные методы биологического окисления с мембраной обратного осмоса или микрофильтрации. Это позволяет отделять очищенную воду от микробных клеток и крупных частиц, обеспечивая высокую степень очистки. Размер пор таких мембран составляет от 0,01 до 0,1 мкм, что обеспечивает практически полное удаление всех взвешенных веществ и микроорганизмов. Для очистки бытовых сточных вод традиционно используется аэробный процесс, однако для очистки промышленных сточных вод применяют и анаэробные МБР [2].

Преимущества:

– высокая степень очистки воды;

– компактность оборудования;

– низкая потребность в обслуживании;

– возможность повторного использования очищенной воды.

Недостатки:

- высокие первоначальные затраты на установку;

- необходимость периодической замены мембран;

- ограниченная применимость для больших объемов сточной воды.

Область применения: промышленные предприятия, коммунальные службы, водоочистительные станции малого и среднего масштаба.

2. Электрохимическая активация бактерий

Метод основан на применении электрического поля для стимуляции активности микроорганизмов, участвующих в процессе очистки. Электролиз в системе может создавать атомарный кислород и другие реагенты, которые расщепляют загрязнители, обеззараживают воду и создают условия, более благоприятные для жизнедеятельности бактерий. Этот подход сочетает в себе физико-химические и биологические методы для более эффективного удаления загрязняющих веществ [3].

Преимущества:

– ускорение процесса биодеградации;

– повышение производительности очистительных сооружений;

– улучшение санитарных условий;

– эффективность против широкого спектра органических загрязнений.

Недостатки:

– энергозатратность процесса активации;

– сложность управления процессом;

– требует квалифицированного персонала.

Область применения: крупные производственные объекты, сельскохозяйственные комплексы, полигоны твердых бытовых отходов.

3. Фотокаталитический биологический метод

Использование фотокатализаторов совместно с биологическими методами позволяет значительно повысить эффективность удаления стойких органических соединений. Этот метод позволяет повысить эффективность очистки, особенно в случае трудноразлагаемых веществ, которые плохо поддаются только биологическому воздействию. Фотокатализ разрушает сложные молекулы на более простые, а биологический этап доводит процесс до полной минерализации, что снижает нагрузку на активный ил и повышает общую производительность системы. Этот метод применяется для очистки поверхностных вод и сточных вод предприятий химической промышленности.

Преимущества:

– быстрое разрушение стойких органических соединений;

– экологически чистый процесс;

– минимальное использование химических реагентов;

– универсальность метода.

Недостатки:

– дороговизна фотокатализаторов;

– трудности контроля светового излучения;

– отсутствие стандартизированных методик.

Область применения: химические производства, фармацевтические заводы, небольшие населенные пункты.

4. Использование водорослей и высших растений

Водоросли способны эффективно поглощать тяжелые металлы, нитраты и фосфаты, превращая их в биомассу. Высшие растения также могут использоваться для очистки водоемов и влажных зон. Эти организмы выполняют роль живых фильтров, снижающих концентрацию загрязняющих веществ и улучшая качество воды [4].

Преимущества:

– естественный процесс очистки;

– дополнительное производство биомассы;

– энергоэффективность;

– способствует восстановлению природных ландшафтов.

Недостатки:

– медленная скорость очищения;

– нестабильность результатов в зависимости от климатических условий;

– осложнения с удалением накопленных металлов.

Область применения: сельские территории, прибрежные зоны, заболоченные местности.

Новые технологии биологической очистки сточных вод представляют значительный интерес благодаря своей экологической устойчивости и экономичности. Они позволяют минимизировать негативное влияние человеческой деятельности на окружающую среду и обеспечивают устойчивое развитие водных ресурсов. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию существующих технологий и разработку инновационных решений, направленных на достижение максимальной эффективности и минимизации затрат.

Биологическая очистка сточных вод – это надежный, экологически безопасный и экономичный способ борьбы с загрязнением. Современные разработки, такие как новые загрузочные материалы и энергоэффективные технологии, делают этот процесс еще более продуктивным.

С развитием технологий и появлением новых методов очистки вода становится чище, а экосистемы – более устойчивыми. А значит, будущее за биологическими очистными сооружениями сточных вод, которые позволят снизить нагрузку на природу и сохранить ресурсы для будущих поколений.

Каждый из перечисленных методов имеет свою нишу в сфере биологической очистки сточных вод. Выбор оптимального подхода зависит от множества факторов, включая объем обрабатываемой воды, состав загрязнений, климатические условия и экономические возможности. Наиболее эффективные решения часто являются комбинированными, сочетающими преимущества разных подходов.

Для достижения наилучших результатов рекомендуется проводить предварительное исследование особенностей конкретного региона и характеристик сточных вод перед внедрением любого из предложенных

методов. Это позволит обеспечить оптимальное функционирование очистительной инфраструктуры и снизить негативные последствия воздействия антропогенного фактора на природу.

Литература

1. Инновации в водоочистке: почему биологические технологии [Электронный ресурс] – лучший выбор – Режим доступа: https://alta-group.ru/info_articles/polezno-znat/innovatsii-v-vodoochistke/. – Дата доступа: 29.11.2025

2. МБР – Мембранные биореакторы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://me-system.ru/tehnologii/mbr/. Дата доступа: 29.11.2025

3. Электрохимическая очистка сточных вод: методы и схемы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://wt-filter.ru/blog/elektrokhim-ochistka-stochnykh-vod/. – Дата доступа: 29.11.2025

4. Научный Вестник МГТУ ГА: науч.-практ. журн. / Моск. гос. тех. ун-т гражданской авиации; под ред. Елисеев Б.П. – Т. 23, вып. 03. – 2020. – с. 73 – 82.

УДК 628

Актуальность применения солнечных водонагревателей в Республике Беларусь

Шилкова Е.М., Крук А.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Лемеш М.И., ст. преподаватель

В настоящее время существует высокая необходимость сокращения выбросов углекислого газа и снижения негативного воздействия на окружающую среду. В рамках решения этих задач всё большую популярность приобретает использование солнечных водонагревателей для обеспечения горячего водоснабжения.

Солнечные бойлеры (солнечные водонагреватели) – это устройства, использующие солнечную энергию для нагрева воды. Они представляют собой системы, которые улавливают и преобразуют солнечное излучение в тепло, которое затем передается воде для бытового или промышленного использования.

Система солнечных водонагревателей (рис. 1) состоит из солнечного коллектора, насосной группы и аккумулирующей (буферной) емкости [1].

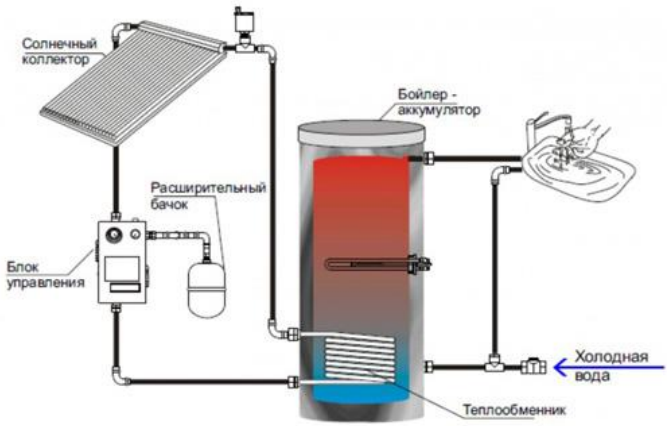


Рис. 1. Состав системы солнечного водонагревателя

Солнечные водонагреватели работают следующим образом: солнечный коллектор улавливает тепло от солнечных лучей и преобразует его в тепловую энергию, нагревая специальную жидкость – теплоноситель, который циркулирует внутри системы. Этот теплоноситель, проходя через коллектор, нагревается и переносит полученное тепло к накопительному баку, где с помощью теплообменника передает тепло воде. В результате вода в баке нагревается до нужной температуры и используется для бытовых нужд, а благодаря теплоизоляции бака тепло сохраняется длительное время, обеспечивая эффективный и экономичный нагрев без использования электричества или газа.

Основной элемент системы – солнечный коллектор (рис. 2), который обычно представляет собой плоскую панель, покрытую стеклом или прозрачным пластиком. За стеклом находится поглощающая пластина (абсорбер), которая выполнена из металла с высокой теплопроводностью и покрыта специальным слоем, обеспечивающим максимальное поглощение солнечного излучения и минимальные потери тепла. Процесс начинается с поглощения солнечной энергии, которая нагревает абсорбер, и эта теплоэнергия передается теплоносителю – обычно воде или антифризу – проходящему через встроенные трубы, закрепленные на поверхности коллектора.

Рис. 2. Солнечный коллектор

Нагретый теплоноситель, повысив свою температуру, движется в сторону теплообменника, расположенного внутри теплоизолированного бака-накопителя (рис. 3). В теплообменнике происходит передача тепла от теплоносителя к воде, которая хранится в баке и предназначена для бытового использования или отопления.

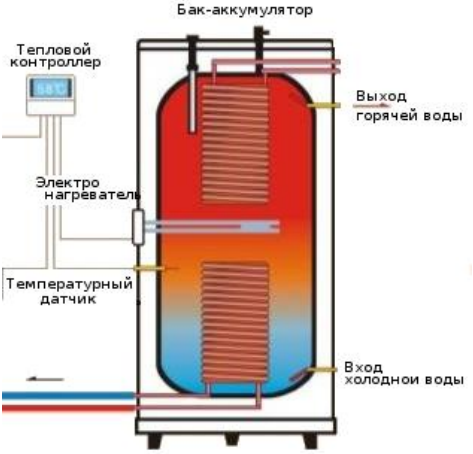


Рис. 3. Бак-накопитель

Для предотвращения потерь тепла и обеспечения длительного хранения горячей воды бак-накопитель утеплен с помощью теплоизоляционных материалов, таких как пенополиуретан или минеральная вата.

Дополнительно системы оснащаются автоматическими устройствами – термостатами, предохранительными клапанами, контроллерами температуры и автоматическими системами слива теплоносителя – чтобы защитить систему от замерзания в холодное время и от перегрева в жаркую погоду, а также обеспечить её безопасную и эффективную работу.

Иногда в системах устанавливают обходные клапаны и резервные нагреватели, которые включаются автоматически при недостатке солнечной энергии, например, в пасмурную погоду или ночью, что делает такие системы более универсальными и надежными.

Классификация видов солнечных водонагревателей:

– по конструкции и типу коллектора [1]:

а) плоские солнечные коллекторы – изолированные панели с прозрачным покрытием и абсорбером; эффективны в умеренном климате при стабильном солнечном излучении и не слишком низких температурах;

б) вакуумные (трубчатые) коллекторы состоят из стеклянных вакуумных трубок с высокой теплоизоляцией, что снижает теплопотери; они эффективнее в холодном климате и при низких температурах;

– по способу циркуляции теплоносителя:

а) системы с естественной циркуляцией (термосифонные) работают без насосов за счёт разницы плотностей горячей и холодной воды; баки размещаются выше коллекторов, обеспечивая самотёчный поток и упрощая эксплуатацию;

б) системы с принудительной циркуляцией используют насосы для движения теплоносителя, что позволяет гибко расположить компоненты и автоматически управлять процессом, повышая удобство и эффективность;

– по используемому теплоносителю и контуру [2]:

а) пассивные системы: в этих системах коллектор и бак с водой обычно представляют собой единую систему, при этом бак расположен выше коллектора; такие системы подходят для тёплого климата и районов без риска замерзания воды;

б) двухконтурные (активные) системы используют замкнутый контур с антифризом, циркулирующим в коллекторе и нагревающим воду в баке через теплообменник, бак находится внутри помещения, а коллекторы – на крыше; такие системы сложнее, дороже, эффективнее и подходят для зимнего применения;

– по способу монтажа:

а) настенные солнечные водонагреватели крепятся к внешней стене здания, экономят место и легко монтируются на вертикальных поверхностях, обычно применяются для небольших жилых систем;

б) кровельные системы устанавливаются на кровле (скатной или плоской), что позволяет максимально использовать солнечное излучение за счёт оптимального угла наклона и повышает эффективность;

в) опорные (или наземные) системы монтируются на отдельной опоре или платформе на земле, что позволяет выбрать лучший угол и ориентацию коллектора; их используют для крупных систем или при невозможности установки на здании;

– по наличию дополнительного источника тепла:

а) системы без дополнительного источника тепла;

б) системы с дополнительным источником тепла, например, электрическим или газовым водонагревателем, обеспечивающие стабильную работу даже в облачную погоду или ночью.

Общие достоинства солнечных водонагревателей [1;2;3;4]:

– экономия энергии и снижение затрат за счёт использования бесплатной солнечной энергии;

– экологичность: работа на возобновляемом и чистом источнике энергии (солнце) минимизирует выбросы вредных веществ и способствует сохранению окружающей среды;

– низкие эксплуатационные расходы: современные солнечные водонагреватели отличаются простотой конструкции, требуют минимального обслуживания и долговечны;

– широкий диапазон применения: подходят для использования в жилых домах, общественных зданиях, бассейнах, на предприятиях и фермах;

– независимость и автономность: некоторые системы могут функционировать в удалённых районах без подключения к электросети или топлива (простые системы);

– надёжность в разных климатических условиях: некоторые конструкции адаптированы для работы в различных климатических зонах, благодаря эффективной теплоизоляции и использованию технологий (вакуумные трубки).

Недостатки солнечных водонагревателей:

– зависимость от погодных условий: производительность значительно снижается в облачную погоду, в туман или в зимний период, особенно при низких температурах воздуха;

– высокая начальная стоимость: установка солнечного бойлера требует значительных инвестиций, что делает его менее доступным по сравнению с традиционными системами;

– требования к площади установки: для работы необходима достаточная и правильно ориентированная площадь, что может быть проблемой в городских условиях;

– зависимость от сезонности: в зимний период эффективность системы снижается, и может потребоваться комбинация солнечного бойлера с резервным водонагревателем;

– обслуживание: требуется регулярное обслуживание – очистка коллекторов от пыли, снега, проверка герметичности.

Особенности применения солнечных водонагревателей. В условиях роста стоимости традиционных энергоносителей и экологических требований к снижению выбросов CO_2 внедрение солнечных бойлеров становится всё более актуальным во многих странах мира. Их применение способствует экономии энергии и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Для эффективной работы системы в первую очередь важна правильная установка: коллекторы должны быть ориентированы на юг (в северном полушарии) и иметь наклон, совпадающий с широтой региона – обычно 30 – 45°, что позволяет максимально использовать солнечную энергию. Также необходимо избегать затенения объектами, утеплять трубопроводы и защищать систему от морозов.

Климатические условия региона значительно влияют на эффективность солнечных бойлеров. В районах с высокой солнечной активностью и большим числом солнечных часов системы показывают максимальную производительность. В холодных и облачных регионах эффективность снижается, особенно в зимние месяцы. Такая погода, как облачность, снег и туман, также негативно сказывается на работе системы.

Что касается температурных режимов, солнечные бойлеры достигают оптимальной эффективности при нагреве воды до 45 – 60°C. В диапазоне от 10°C до 60°C эффективность остается высокой, при этом свыше 60°C снижается из-за увеличения тепловых потерь. Максимальная рабочая температура обычно не превышает 80°C, чтобы избежать опасности ожогов и деградации системы.

В отношении температуры окружающей среды бойлеры наиболее эффективны в диапазоне от +10°C до +35°C, где достигается оптимальный баланс между солнечной инсоляцией и тепловыми потерями. При температурах ниже +10°C эффективность снижается из-за увеличения теплопотерь и риска замерзания, хотя современные системы могут работать и при минусовых температурах. При температурах выше +35°C эффективность сохраняется, но требуется контроль, чтобы избежать перегрева.

Не менее важно отметить, что яркость солнечного излучения влияет на эффективность системы гораздо больше, чем температура воздуха.

Наконец, экономическая целесообразность применения солнечных бойлеров зависит от стоимости традиционных энергоносителей, доступных государственных субсидий и стоимости оборудования. В целом, использование солнечных систем позволяет значительно снизить потребление электроэнергии и газа.

Важным фактором, влияющим на широкое распространение данного типа водонагревателей по странам, является количество солнечных часов в году: например, в Израиле количество солнечных лучей составляет около 3450 солнечных часов в году, в Китае – примерно 2400 солнечных часов в году, в Республике Беларусь – около 1800 солнечных часов в году.

В настоящее время Израиль является лидером по внедрению солнечных коллекторов в системы горячего водоснабжения. С 1980-х годов в стране введены обязательные нормативы на установку солнечных водонагревателей в новых жилых зданиях, что привело к тому, что около 90% жилых домов оборудованы солнечными коллекторами. Это значительно снизило зависимость от импортных энергоносителей и обеспечило экономические и экологические выгоды.

Китай – крупнейший мировой производитель и потребитель солнечных водонагревателей. Уже в 2007 году ими пользовались около 40 миллионов семей, а к 2009 году площадь установленных систем достигла 140 млн. м², что обеспечивало горячей водой около 60 миллионов домохозяйств.

Кроме того, солнечные системы широко применяются в странах Средиземноморья, Европе, Австралии, США и странах Ближнего Востока благодаря высоким уровням солнечной инсоляции, активному развитию законодательства и государственной поддержке.

В связи с развитием технологий, совершенствованием конструкций солнечных водонагревателей, повышением их эффективности, а также удешевлением массового производства солнечных водонагревателей, имеет смысл рассматривать широкое применение солнечных водонагревателей не только в странах с большим количеством солнечных часов (дней) в году, но и так же в странах с умеренным континентальным климатом с невысоким уровнем инсоляции. Опыт внедрения и эксплуатации в странах, активно использующих солнечные водонагреватели, может быть применён и в Республике Беларусь.

В данное время в Беларуси встречается использование солнечных водонагревателей в частных домах и коттеджах для горячего водоснабжения. В современных энергоэффективных проектах солнечные водонагреватели закладываются сразу при строительстве. В основном устанавливают вакуумные солнечные коллекторы на крыше. Летом они

покрывают 80% – 100% потребности в горячей воде, а зимой работают в связке с электрическим или газовым бойлером. В холодное время года они позволяют экономить вплоть до 40% затрат на электроэнергию. Так же применение солнечных водонагревателей встречается в фермерских хозяйствах, общественных, коммерческих и спортивных учреждениях.

Перспективы применения солнечных водонагревателей в Республике Беларусь связаны с постепенным развитием этой технологии для повышения энергоэффективности и экологической безопасности. В стране уже наблюдается интерес к использованию солнечных систем в частных домах и некоторых промышленно-строительных объектах, особенно в южных регионах, где климат более благоприятен для солнечной энергетики.

Обоснования их внедрения включают экономическую выгоду за счёт снижения затрат на электроэнергию и газовое отопление, а также вклад в уменьшение вредных выбросов и повышение энергетической независимости страны. Достоинствами является возможность использования возобновляемых источников энергии, снижение эксплуатационных расходов и создание новых рабочих мест; недостатками – высокая цена первоначальных инвестиций, необходимость правильного проектирования и ежегодного обслуживания, а также снижение эффективности в зимний период из-за снижения солнечного излучения.

В целом, развитие солнечных систем горячего водоснабжения в Беларуси представляет собой перспективное направление, которое при государственной поддержке, повышении информированности и технологическом обновлении сможет значительно повысить энергоэффективность и устойчивость энергетической системы страны.

Литература

1. Компания «БиТерм» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://betherm.by/sun-kollektors.html – Дата доступа: 20.11.2025

2. Компания «Доминант» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://dominant-wood.com.ua/ru/blog/statti/solnechnyie-kollektory-dlya-nagreva-vodyi-vidyi-sposobyi-ustanovki-effektivnost-rabotyi – Дата доступа: 05.12.2025

3. Компания «TEPLOSFERA» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://teplosfera.com/ru/blog/sonacni-stancii/sonacnij-kolektor-perevagi-ta-nedoliki-sonacnoi-energii – Дата доступа: 05.12.2025

4. Компания «ТеплоСтройИнвест» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://teplota.by/index.pl?act=SECTION&section=solnechnye kollektory – Дата доступа: 05.12.2025

УДК 628.3

Проблема очистки сточных вод в малых населенных пунктах

Шлапакова А.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель

В статье автор рассматривает проблему очистки сточных вод в малых населенных пунктах, ее последствия и предлагает пути по усовершенствованию происходящих процессов.

Проблема обеспечения надлежащего уровня очистки сточных вод является одним из приоритетных направлений в области охраны окружающей среды и здоровья населения. Для Республики Беларусь, где большое внимание уделяется развитию сельских территорий и малых населенных пунктов (агрогородков, поселков городского типа), этот вопрос стоит особенно остро. Во многих из таких мест системы водоотведения либо полностью отсутствуют, либо представлены морально и физически устаревшими очистными сооружениями, которые не справляются с современными нормативами качества очистки. Это приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, ухудшению санитарно-эпидемиологической ситуации и негативному воздействию на природные экосистемы. Необходимость поиска и внедрения эффективных, но при этом экономически обоснованных и малозатратных технологий очистки сточных вод для малых населенных пунктов обусловлена как государственными программами развития регионов, так и ужесточением природоохранного законодательства.

Основной целью данной статьи является комплексный анализ текущего состояния проблемы очистки сточных вод в малых населенных пунктах Республики Беларусь и разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору и применению современных эффективных технологий водоотведения и очистки для данных условий.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1) провести анализ существующей нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы очистки сточных вод в Республике Беларусь;

2) изучить и систематизировать основные проблемы, возникающие при эксплуатации очистных сооружений в малых населенных пунктах (например, нестабильность притока и состава сточных вод, физический износ оборудования);

3) рассмотреть и оценить применимость современных отечественных и зарубежных технологий локальной очистки сточных вод (например, биореакторы, системы почвенной очистки, корневые зоны) в условиях Беларуси;

4) разработать практические рекомендации по выбору и внедрению оптимальных технологических решений для обеспечения нормативной степени очистки сточных вод в малых населенных пунктах Республики Беларусь.

Обзор нормативно-правовой базы и применяемых технологий очистки сточных вод

Законодательство базируется на Водном кодексе Республики Беларусь, законах "Об охране окружающей среды" и "О питьевом водоснабжении и водоотведении". Детальные требования и нормативы содержатся в ТНПА, СН 4.01.02-2019, СанПиНах и ЭкоНиП.

Водный кодекс Республики Беларусь: этот документ является основным в области использования и охраны вод. Он устанавливает общие требования к предотвращению загрязнения вод. Кодекс регламентирует условия сброса сточных вод в водные объекты, устанавливая приоритет предотвращения загрязнения и необходимость соблюдения нормативов качества воды. Все сбросы должны осуществляться на основании разрешений при условии соблюдения установленных нормативов допустимых сбросов [1].

Закон Республики Беларусь "Об охране окружающей среды": он определяет общие принципы природопользования и ответственность за загрязнение. Закон подчеркивает необходимость соблюдения экологических требований при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, включая эксплуатацию систем водоотведения, с целью предотвращения негативного воздействия на окружающую среду [2].

Технические нормативные правовые акты (ТНПА): они детализируют требования законодательства.

Строительные нормы СН 4.01.02-2019 "Канализация. Наружные сети и сооружения": регламентируют технические аспекты проектирования и строительства. В них содержатся требования к выбору схем очистки, включая локальные и децентрализованные системы для малых населенных пунктов, учитывая объемы и состав сточных вод [3].

Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.06.03-001-2017 "Охрана окружающей среды и природопользование. Требования в области охраны поверхностных вод от загрязнения": устанавливают строгие нормативы допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах. Соблюдение этих нормативов является обязательным условием для всех водопользователей [4].

Эти документы устанавливают строгие требования к качеству сбрасываемых сточных вод. Однако анализ показывает, что существующая нормативная база, часто ориентированная на крупные объекты, создает сложности при ее выполнении в условиях ограниченных ресурсов малых населенных пунктов.

Законодательство Республики Беларусь предъявляет достаточно строгие требования к качеству очищенной воды, сбрасываемой в водоемы. Однако на практике выполнение этих требований в малых населенных пунктах часто затруднено. Одной из основных проблем является несоответствие устаревших или отсутствующих очистных сооружений современным нормам.

В малых населенных пунктах Беларуси преобладают устаревшие технологии (биологические пруды, устаревшие аэротенки), которые не всегда обеспечивают нормативную степень очистки особенно от биогенных элементов (азота и фосфора).

В связи с этим актуален зарубежный опыт применения малозатратных и эффективных децентрализованных систем: биофильтров, систем почвенной фильтрации, корневых зон. Изучение возможности адаптации этих решений к белорусским условиям позволит разработать обоснованные рекомендации для улучшения очистки сточных вод малых населенных пунктов.

Оценка эффективности и проблемная зона существующих очистных сооружений в малых населенных пунктах Республики Беларусь

В большинстве малых населенных пунктов современные системы очистки сточных вод либо отсутствуют, либо представлены объектами с высокой степенью физического и морального износа (например, поля фильтрации 2005 года постройки или более старые сооружения). Характерными особенностями, влияющими на эффективность их работы, являются:

1) технологическое несовершенство.

Применяемые схемы очистки часто не способны обеспечить требуемые нормативы по ряду загрязнителей.

2) недостаток финансирования.

Ограниченность бюджетных средств не позволяет проводить своевременную модернизацию или строительство новых объектов.

3) нестабильность притока и состава сточных вод.

Неравномерность поступления сточных вод, характерная для малых населенных пунктов, затрудняет поддержание стабильных биологических процессов очистки.

Эксплуатация устаревших или неэффективных очистных сооружений часто оказывается экономически нецелесообразной. Высокие затраты на ремонт, электроэнергию и реагенты при низкой производительности и

несоблюдении экологических стандартов делают их использование неэффективным [6, с.114].

Более детальный и укрупненный анализ позволит выявить основные барьеры на пути внедрения современных технологий и определить факторы, влияющие на эффективность работы существующих систем. Это станет основой для разработки конкретных рекомендаций по оптимизации и выбору наиболее подходящих решений для малых населенных пунктов Беларуси.

Выявление основных проблем и барьеров для внедрения эффективных систем очистки

Ключевые проблемы и барьеры:

1) экономические ограничения.

Недостаточное финансирование со стороны местных бюджетов и низкая платежеспособность населения являются основными препятствиями для строительства и модернизации дорогостоящих очистных сооружений.

2) отсутствие квалифицированных кадров.

В малых населенных пунктах часто не хватает специалистов для эксплуатации сложного современного оборудования, что делает простые в обслуживании, но эффективные технологии более предпочтительными.

3) специфика состава и объема сточных вод.

Неравномерность поступления и вариативность состава сточных вод усложняют выбор и проектирование стабильно работающих очистных систем.

4) нормативные барьеры.

Сложность процедур согласования, получения разрешений и выбора типовых проектов может затягивать процесс реализации проектов.

5) информационный и технологический разрыв.

Отсутствие широкой осведомленности о новых, малозатратных технологиях (например, природных методах очистки) среди лиц, принимающих решения на местном уровне.

Разработка предложений по оптимизации технологических схем очистки и рекомендаций по выбору оборудования

Необходимо провести оптимизацию технологических схем. Предложение адаптированных и комбинированных технологических решений, учитывающих специфику малых населенных пунктов (неравномерность притока, ограниченность финансирования, кадровые проблемы). Особое внимание уделяется гибридным системам, сочетающим традиционные и природные методы очистки [7, с.27].

Формирование критериев для выбора оборудования (например, модульные установки, септики с доочисткой) на основе принципов

энергоэффективности, простоты обслуживания, стоимости жизненного цикла и соответствия белорусским нормативам.

Если провести расчет примерной стоимости внедрения и эксплуатации предложенных решений, то он продемонстрирует их экономическую целесообразность в долгосрочной перспективе по сравнению с традиционными подходами.

Формулирование рекомендаций для местных органов власти и жилищно-коммунальных служб по улучшению процессов планирования, финансирования и эксплуатации очистных сооружений, что приведет к большему информированию и результату.

Вывод

Для решения данной проблемы необходим комплексный подход, включающий не только техническую модернизацию, но и совершенствование организационных и экономических механизмов. Адаптация и внедрение современных, малозатратных и простых в эксплуатации технологий, таких как природные методы очистки (корневые зоны, почвенная фильтрация) и компактные модульные установки, представляются наиболее перспективными направлениями для условий Беларуси.

Реализация предложенных в работе рекомендаций по оптимизации технологических схем и выбору оборудования позволит повысить эффективность очистки сточных вод, снизить негативное воздействие на водные объекты и улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку в малых населенных пунктах РБ, способствуя достижению целей устойчивого развития страны.

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 30 апр. 2014 г., № 149-З: принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г.: одобр. Советом Респ. 16 апр. 2014 г. // Эталон-Online [СПС]. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2025.

2. Закон Республики Беларусь "Об охране окружающей среды" [Электронный ресурс]: 26 нояб. 1992 г., № 1982-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2023 г. // Эталон-Online [СПС]. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2025.

3. Канализация. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.02-2019: утв. и введ. в действие постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь от 13.08.2019 г. № 44. – Минск: Минстройархитектуры, 2019. – 125 с.

4. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 "Охрана окружающей среды и природопользование. Требования в области

охраны и рационального использования вод»: утв. постановлением М-ва природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь от 30.10.2017 г. № 10-Т. – Минск: Минприроды, 2017. – 68 с.

5. Харламов, В. В. Очистка сточных вод малых населенных пунктов / В. В. Харламов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 6. – С. 45–51.

6. Шевцов, Т. А. Проблемы водоотведения в сельской местности Беларуси и пути их решения / Т. А. Шевцов, И. П. Сидорова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 112–117.

7. Современные методы очистки сточных вод: обзор технологий / А. К. Иванов [и др.] // Жилищно-коммунальное хозяйство: проблемы и решения. – 2020. – № 3. – С. 22–29.

УДК 628.3

Автономное водоотведение и индивидуальные системы очистки сточных вод

Шлапакова А.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель

В статье рассматривается автономное водоотведение и индивидуальные системы очистки сточных вод, производится анализ современных подходов к организации автономного водоотведения и разрабатывается научно-обоснованные рекомендации по выбору, проектированию и эксплуатации индивидуальных систем очистки сточных вод (ИСОВ) для частного сектора.

Проблема обеспечения комфортных условий проживания в загородных домах и коттеджах, расположенных вне зоны доступа к централизованным инженерным сетям, неизбежно ставит перед домовладельцами задачу организации эффективной и безопасной системы автономного водоотведения. В условиях современного загородного строительства, когда требования к качеству жизни постоянно растут, а экологическое законодательство ужесточается, традиционные и устаревшие решения, такие как примитивные выгребные ямы, перестают быть приемлемыми. Они не только не способны обеспечить нормативную степень очистки сточных вод, но и представляют серьезную угрозу загрязнения грунтовых

вод, почв и источников питьевого водоснабжения. Таким образом, поиск и внедрение надежных, технологичных и при этом экономически целесообразных индивидуальных систем очистки сточных вод становится приоритетным направлением в сфере обеспечения экологической безопасности частных владений.

Основной целью данной статьи является комплексный анализ современных подходов к организации автономного водоотведения и разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору, проектированию и эксплуатации индивидуальных систем очистки сточных вод (ИСОВ) для частного сектора.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1) провести анализ существующей нормативно-правовой базы и санитарно-эпидемиологических требований, регулирующих автономное водоотведение;

2) изучить и систематизировать основные проблемы, возникающие при выборе и эксплуатации различных типов ИСОВ;

3) рассмотреть и оценить применимость современных отечественных и зарубежных технологий локальной очистки сточных вод в условиях индивидуального жилищного строительства;

4) разработать практические рекомендации по выбору и внедрению оптимальных технологических решений для обеспечения нормативной степени очистки и минимизации эксплуатационных затрат в индивидуальных системах автономного водоотведения.

Анализ нормативно-правовой базы и санитарно-эпидемиологических требований, регулирующих автономное водоотведение

Организация систем автономного водоотведения и индивидуальной очистки сточных вод в Республике Беларусь подлежит строгому правовому регулированию. Соблюдение установленных норм и правил является обязательным условием для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны водных ресурсов и почв от загрязнения, а также предотвращения правовых конфликтов между собственниками и контролирующими органами [8, с. 36].

Ключевая нормативно-правовая база в данной сфере включает:

– Водный кодекс Республики Беларусь и Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды». Эти базовые документы определяют общие принципы водопользования, требования к охране водных объектов и ответственность за их загрязнение. [1, 2].

– Технические кодексы установившейся практики (ТКП), Строительные нормы (СН) и Правила. Фундаментальным документом является СН

4.01.02-2019 [2] и смежные с ним документы, которые детализируют требования к проектированию и размещению очистных сооружений. Они регламентируют:

1) *Санитарно-защитные зоны и минимальные расстояния*: устанавливаются обязательные минимальные расстояния от очистных сооружений до жилых домов, источников питьевого водоснабжения, границ участков и водоемов [3].

2) Требования к герметичности и технологиям очистки: регламентируется использование только герметичных емкостей и сооружений, исключающих фильтрацию неочищенных сточных вод в грунт.

– Санитарные нормы и правила (СанПиН). Документы Министерства здравоохранения РБ, регулирующие вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности, устанавливают гигиенические нормативы качества воды в водоемах и требования к условиям проживания населения.

Ключевые аспекты правового регулирования включают:

1) требования к месту размещения очистных сооружений.

Законодательство строго регламентирует минимально допустимые расстояния от места установки септика или станции очистки до жилых зданий, источников питьевого водоснабжения, границ участка, автомобильных дорог и зеленых насаждений.

2) нормативы качества очищенной воды.

Основной задачей любой ИСОВ является доведение параметров сточных вод до уровня, который позволяет безопасно их утилизировать.

3) правила утилизации и обслуживания.

Регламентируются вопросы удаления ила и осадка из накопителей. В большинстве случаев требуется привлечение специализированных ассенизаторских служб, имеющих лицензии на транспортировку и утилизацию отходов.

4) процедура согласования и ввода в эксплуатацию.

В зависимости от региона и масштаба проекта, может потребоваться разработка проектной документации, ее согласование с местными органами архитектуры.

Систематизация основных проблем эксплуатации очистных сооружений в малых населенных пунктах Республики Беларусь

Эксплуатация систем водоотведения и очистки сточных вод в условиях малых населенных пунктов, агрогородков и сельских территорий Республики Беларусь сопряжена с рядом специфических трудностей, которые отличают их от работы централизованных городских систем [6, с.117]. Эти проблемы обусловлены как объективными климатическими и

геологическими факторами, так и особенностями инфраструктуры и режимов водопотребления.

Ключевые эксплуатационные проблемы:

1) нестабильность притока и состава сточных вод.

Одной из главных проблем является неравномерность поступления сточных вод. В отличие от городов, где приток относительно стабилен, в малых населенных пунктах часто наблюдается сезонность проживания (например, дачный сезон) или резкие колебания водопотребления в течение суток/недели. Это приводит к тому, что очистные сооружения работают в неоптимальном режиме: периоды перегрузки сменяются периодами "голодания" биологической очистки, что негативно сказывается на эффективности работы активного ила и качестве очищенной воды.

2) физический и моральный износ существующего оборудования.

Значительная часть инфраструктуры водоотведения в малых населенных пунктах Беларуси была построена еще в советский период и на сегодняшний день является физически изношенной. Морально устаревшие технологии не позволяют достичь современных нормативных показателей очистки и требуют капитальной модернизации или полной замены.

3) сложные гидрогеологические условия.

Для многих регионов Беларуси характерны высокий уровень грунтовых вод (УГВ) и преобладание суглинистых, слабофильтрующих грунтов. Эти условия критически затрудняют или делают невозможным применение простых и экономически выгодных методов почвенной доочистки (дренажные поля, фильтрующие траншеи), требуя использования более сложных, герметичных и энергозависимых станций глубокой биологической очистки [7].

4) отсутствие квалифицированного эксплуатационного персонала и обслуживания.

В малых населенных пунктах часто отсутствует возможность содержания штата квалифицированных инженеров-технологов по водоочистке. Это приводит к нарушениям регламентов обслуживания, несвоевременному устранению поломок и, как следствие, снижению эффективности работы систем и их преждевременному выходу из строя.

5) ограниченность финансирования.

Небольшие объемы сточных вод и ограниченные бюджеты местных органов власти или населения затрудняют внедрение дорогостоящих высокотехнологичных решений. Необходим поиск оптимального баланса между эффективностью очистки и финансовыми затратами на этапе капитальных вложений и дальнейшей эксплуатации.

Оценка применимости современных технологий локальной очистки сточных вод в условиях Республики Беларусь

Выбор оптимальной технологии индивидуальной очистки сточных вод в Беларуси должен учитывать не только нормативные требования и специфические эксплуатационные проблемы, но и особенности рынка оборудования, а также климатические и геологические условия. Анализ применимости современных отечественных и зарубежных решений позволяет выделить несколько ключевых подходов.

Основные рассматриваемые технологии:

– септики с системами почвенной доочистки (поля фильтрации, инфильтраторы).

Это традиционный и относительно недорогой метод. Однако в Беларуси его использование часто ограничено из-за высокого уровня грунтовых вод (УГВ), характерного для многих регионов, и преобладания плохо фильтрующих глинистых или суглинистых почв. Согласно действующим СН, применение таких систем возможно только при низком УГВ (обычно не менее 1 метра от дна фильтрующего элемента до зеркала грунтовых вод) и на песчаных грунтах. Это значительно сужает географию их эффективного и законного использования.

– станции глубокой биологической очистки (СГБО), аэротенки.

Эти компактные, полностью герметичные и высокоэффективные системы являются оптимальным решением для условий с высоким УГВ и плотными грунтами [5, с.56]. Они обеспечивают степень очистки сточных вод до 95-98%. На белорусском рынке представлен широкий ассортимент как импортных (например, "Топас", "Юнилос"), так и отечественных аналогов, которые адаптированы к местным условиям эксплуатации. Их основной недостаток - энергозависимость и необходимость регулярного технического обслуживания квалифицированным персоналом.

– системы с использованием биореакторов и корневых зон (фитофильтрация).

Это инновационные, экологичные методы, использующие естественные процессы очистки с помощью микроорганизмов и растений (например, тростника, камыша). Они демонстрируют высокую эффективность и хорошо вписываются в ландшафт сельской местности. В Беларуси эти технологии пока менее распространены в индивидуальном строительстве из-за необходимости выделения значительной площади под "зеленый" фильтр и более сложного проектирования, но имеют большой потенциал для малых населенных пунктов и агроусадеб как низкозатратное и устойчивое решение.

– накопительные емкости (выгребные ямы).

В свете ужесточения природоохранного законодательства и санитарных норм, использование накопительных емкостей возможно только при

условии их абсолютной герметичности и регулярного вывоза стоков ассенизационными машинами.

Оценка применимости показывает, что в условиях Беларуси универсального решения не существует. Выбор технологии должен базироваться на тщательном анализе гидрогеологических условий конкретного участка, финансовых возможностей собственника и требуемой степени автоматизации и обслуживания.

Разработка практических рекомендаций по выбору и внедрению оптимальных технологических решений для автономного водоотведения в Республике Беларусь

Выбор и внедрение системы автономного водоотведения - это многоэтапный процесс, требующий комплексного подхода и учета всех факторов, рассмотренных ранее в статье. На основе анализа нормативно-правовой базы, характерных проблем эксплуатации и оценки применимых технологий можно сформулировать ряд практических рекомендаций для домовладельцев и застройщиков в Беларуси.

Этап 1: предварительный анализ и сбор исходных данных.

Критически важным является получение точной информации о локальных условиях участка:

– определение уровня грунтовых вод (УГВ): желательно проводить замеры в период паводка (весна, осень). Высокий УГВ (менее 1 метра от поверхности) исключает применение систем почвенной доочистки.

– анализ типа грунта: песчаные и супесчаные грунты подходят для инфильтрации; глинистые и суглинистые требуют герметичных решений.

– расчет объема сточных вод: определение количества постоянно проживающих людей и режима водопотребления (сезонное/постоянное) для расчета необходимой производительности установки (обычно 200 л/чел в сутки).

– изучение местных ограничений: консультации с местным исполкомом по поводу наличия особых требований или ограничений на данном участке.

Этап 2: выбор оптимальной технологии.

– для участков с низким УГВ и песчаными грунтами оптимальным выбором будет классический двух- или трехкамерный септик из ЖБИ или пластика в сочетании с полем подземной фильтрации или инфильтратором. Это экономичное и энергонезависимое решение;

– для участков с высоким УГВ, глинистыми грунтами или малыми площадями рекомендуется установка станции глубокой биологической очистки (аэротенка). Несмотря на более высокую стоимость и энергозависимость, она гарантирует высокую степень очистки и герметичность, соответствующую строгим белорусским нормам [3];

– для агроусадеб и крупных объектов целесообразно рассмотреть внедрение систем фитофильтрации (корневых зон) как устойчивого и экологичного решения, требующего, однако, большей площади.

Этап 3: проектирование, согласование и монтаж

– разработка проекта.

Внедрение сложной системы очистки должно сопровождаться разработкой проекта, выполненного организацией с соответствующей аттестацией. Проект должен учитывать все нормативные расстояния и технологические параметры [3].

– выполнение монтажных работ.

Критически важно соблюдение технологии монтажа (установка на "подушку", правильная обсыпка, герметизация соединений) для предотвращения всплытия емкостей при высоком УГВ и исключения протечек.

– соблюдение регламента обслуживания.

Независимо от выбранного типа системы, необходимо строго следовать инструкциям производителя по обслуживанию: регулярная откачка осадка, контроль работы компрессоров, чистка фильтров.

Вывод

Следуя данным рекомендациям, домовладельцы в Республике Беларусь смогут обеспечить надежное, эффективное и полностью легитимное автономное водоотведение, минимизирующее негативное воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 30 апр. 2014 г., № 149-З: принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г.: одобр. Советом Респ. 16 апр. 2014 г. // Эталон-Online [СПС]. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2025.

2. Закон Республики Беларусь "Об охране окружающей среды" [Электронный ресурс]: 26 нояб. 1992 г., № 1982-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2023 г. // Эталон-Online [СПС]. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2025.

3. Канализация. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.02-2019: утв. и введ. в действие постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь от 13.08.2019 г. № 44. – Минск: Минстройархитектуры, 2019. – 125 с.

4. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 "Охрана окружающей среды и природопользование. Требования в области охраны и рационального использования вод»: утв. постановлением М-ва

природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь от 30.10.2017 г. № 10-Т. – Минск: Минприроды, 2017. – 68 с.

5. Пирогов, А. Ю. Технологии очистки сточных вод для индивидуальных домов / А. Ю. Пирогов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2022. – № 5 (233). – С. 52–59.

6. Веремеюк, О. И. Особенности эксплуатации локальных очистных сооружений в условиях Беларуси / О. И. Веремеюк, С. А. Качан // Природные ресурсы. – 2023. – № 1. – С. 112–120.

7. Желдаков, В. Н. Автономные системы канализации: выбор, монтаж, эксплуатация / В. Н. Желдаков. – Москва : АСТ ; Минск : Харвест, 2021. – 160 с.

8. Иванов, В. Л. Экологическая безопасность систем автономного водоотведения / В. Л. Иванов // Экологический вестник. – 2020. – № 3. – С. 45–51.

УДК 628.16

Эффективность применения различных методов обезжелезивания воды

Шорец Е.Д., Хандрико Н.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н., доцент

В статье описаны различные методы очистки воды от железа. Рассматриваются особенности каждой технологии, рекомендации по их использованию и эффективность в обеспечении требуемого качества воды.

Удаление из воды железа – без преувеличений одна из самых сложных задач в водоочистке. Даже беглый обзор существующих способов удаления железа позволяет сделать обоснованный вывод о том, что на данный момент не существует универсального, экономически оправданного метода, применимого во всех случаях [1, 2]. Для каждого объекта водоснабжения необходим индивидуальный подбор технологической схемы и оборудования для обезжелезивания воды. Причиной такого подхода является, во-первых, то, что каждый метод имеет как достоинства, так и существенные недостатки. А во-вторых, на различных объектах водоснабжения качество воды отличается не только по количественному содержанию железа, но и по формам нахождения ионов железа в воде:

растворимая форма двухвалентного железа и нерастворимая форма трехвалентного железа.

При использовании безреагентных фильтрационных методов обезжелезивания в первую очередь должен решаться вопрос о выборе фильтрующей загрузки, а также должны рассматриваться основные технологические параметры процесса обезжелезивания (скорость фильтрации, высота слоя загрузки, метод регенерации загрузки, интенсивность промывки и длительность фильтроцикла) [3].

К важнейшим технологическим параметрам, определяющим величину капитальных затрат, следует отнести скорость фильтрации, высоту слоя загрузки и методы ее утилизации. Определению рациональных величин этих параметров и уделяется особое внимание.

Под верхней границей рациональной скорости фильтрации понимается та максимальная нагрузка на фильтр, отнесенная к его площади, которая обеспечивает при заданной высоте слоя загрузки предельно допустимую остаточную концентрацию железа (0,3 мг/дм^3) в фильтрате.

Нижняя граница рациональной скорости фильтрации обуславливается скоростью окисления закисного железа в свободном объеме. Эта величина, при которой окисление железа происходит не в сорбционном слое на границе раздела фаз, а в массе воды, что приводит к выносу тонкодисперсного коллоида гидроокиси железа в фильтрате. Как правило, эти скорости очень низки и не принимаются во внимание.

Если, исходя из конструктивных или иных соображений, нельзя задаться высотой слоя фильтрующей загрузки, то рациональные величины скорости фильтрации и высоту слоя загрузки целесообразно определять, используя методы факторного эксперимента при проведении пробного обезжелезивания.

Интенсивность промывки определяется исходя из нормативных величин расширения загрузки с учетом полноты ее отмывки от скопившихся за период фильтроцикла загрязнений. При не расширяющейся загрузке используется только вторая предпосылка.

Удаление осадка из фильтрующей загрузки достигается промывкой ее обратным током воды и, при необходимости, продувкой воздухом.

Продолжительность фильтроцикла определяется ухудшением качества профильтрованной воды или предельно допустимой величиной потери напора при фильтровании. Величина фильтроцикла определяется экспериментально при проведении пробного обезжелезивания и уточняется, как и время зарядки фильтра в период пуско-наладочных работ.

При рассмотрении существующих методов обезжелезивания воды можно выделить основные, к которым относятся:

– окисление;

– каталитическое окисление;
– ионный обмен;
– мембранные методы;
– дистилляция.

Окисление является традиционным методом, применяемым уже много десятилетий. Так как реакция окисления железа занимает довольно длительный промежуток времени, то использование только воздуха требует больших резервуаров, в которых возможно обеспечить нужное время контакта. Добавление же специальных окислителей ускоряет процесс. Наиболее передовым и сильным окислителем на сегодняшний день является озон. Однако установки для его производства довольно сложны, дороги и требуют значительных затрат электроэнергии, что ограничивает его применение. Необходимо отметить также, что в концентрированном виде (например, на точке ввода в воду) озон является ядом (как, собственно говоря, и многие другие окислители) и требует очень внимательного к себе отношения [4. 5].

Каталитическое окисление с последующей фильтрацией - наиболее распространенный на сегодняшний день метод удаления железа, применяемый в высокопроизводительных, локальных очистных системах. Суть метода заключается в том, что реакция окисления железа происходит на поверхности гранул специальной фильтрующей среды, обладающей свойствами катализатора (ускорителя химической реакции окисления) [5, 6].

Наибольшее распространение в современной водоподготовке нашли фильтрующие среды на основе диоксида марганца (MnO_2). Эти фильтрующие "загрузки" отличаются между собой как своими физическими характеристиками, так и содержанием диоксида марганца и поэтому эффективно работают в разных диапазонах значений характеризующих воду параметров. Однако принцип их работы одинаков. Железо (и в меньшей степени марганец) в присутствии диоксида марганца быстро окисляется и оседает на поверхности гранул фильтрующей среды. Впоследствии большая часть окисленного железа вымывается в дренаж при обратной промывке. Таким образом, слой гранулированного катализатора является одновременно и фильтрующей средой.

Для улучшения процесса окисления в воду могут добавляться дополнительные химические окислители. Наиболее распространенным является перманганат калия, так как его применение не только активизирует реакцию окисления, но и компенсирует "вымывание" марганца с поверхности гранул фильтрующей среды, то есть регенерирует ее. Используют как периодическую, так и непрерывную регенерацию.

Все системы на основе каталитического окисления с помощью диоксида марганца, кроме специфических, имеют и ряд общих недостатков.

Во-первых, они неэффективны в отношении органического железа. Более того, при наличии в воде любой из форм органического железа, на поверхности гранул фильтрующего материала со временем образуется органическая пленка, изолирующая катализатор (диоксид марганца) от воды. Таким образом, вся каталитическая способность фильтрующей засыпки сводится к нулю. Практически "на нет" сводится и способность фильтрующей среды удалять железо, так как в фильтрах этого типа просто не хватает времени для естественного протекания реакции окисления.

Во-вторых, системы этого типа не могут справиться со случаями, когда содержание железа в воде превышает 10–15 мг/дм^3 , что совсем не редкость. Присутствие в воде марганца только усугубляет ситуацию [7].

Ионный обмен как метод обработки воды известен довольно давно и применяется в основном для умягчения воды. Раньше для реализации этого метода использовались природные иониты (сульфоугли, цеолиты). Однако с появлением синтетических ионообменных смол эффективность использования ионного обмена для целей водоочистки резко возросла.

С точки зрения удаления из воды железа важен тот факт, что катиониты способны удалять из воды не только ионы кальция и магния, но и другие двухвалентные металлы, а значит и растворенное двухвалентное железо. Причем теоретически, концентрации железа, с которыми могут справиться ионообменные смолы, очень велики. Достоинством ионного обмена является также и то, что он "не боится" спутника железа – марганца, сильно осложняющего работу систем, основанных на использовании методов окисления. Главное же преимущество ионного обмена состоит в том, что из воды могут быть удалены железо и марганец, находящиеся в растворенном состоянии. То есть совсем отпадает необходимость в такой капризной и "грязной" (из-за необходимости вымывать ржавчину) стадии, как окисление.

Однако на практике, возможность применения катионообменных смол по железу сильно затруднена. Объясняется это следующими причинами:

– во-первых, применение катионитов целесообразно там, где существует также и проблема с жесткостью воды, так как железо удаляется из воды вместе с жесткостью. Там, где ситуация с жесткостью достаточно благополучная, применение катионообменных смол нерационально;

– во-вторых, ионообменные смолы очень критичны к наличию в воде трехвалентного железа, которое "забивает" смолу и очень плохо из нее вымывается. Именно поэтому нежелательно наличие в воде не только уже окисленного железа, но и растворенного кислорода и других окислителей, наличие которых может привести к его образованию. Этот фактор

накладывает также ограничение и на диапазон pH, в котором работа смол эффективна;

– в-третьих, при высокой концентрации в воде железа, с одной стороны возрастает вероятность образования нерастворимого трехвалентного железа (со всеми вытекающими отрицательными последствиями - см. выше) и, с другой стороны, гораздо быстрее истощается ионообменная ёмкость смолы. Оба этих фактора требуют более частой регенерации, что приводит к увеличению расхода соли;

– в-четвертых, наличие в воде органических веществ (в том числе и органического железа) может привести к быстрому "зарастанию" смолы органической пленкой, которая одновременно служит питательной средой для бактерий.

Тем не менее, именно применение ионообменных смол представляется наиболее перспективным направлением в деле борьбы с железом и марганцем в воде. Задача заключается в том, чтобы подобрать такую комбинацию ионообменных смол (иногда весьма сложную и многокомпонентную), которая была бы эффективна в достаточно широких пределах параметров качества воды.

Мембранные технологии достаточно широко используются в водоподготовке, однако удаление железа отнюдь не главное их предназначение, скорее побочный эффект. Этим и объясняется тот факт, что применение мембран пока не входит в число стандартных методов борьбы с присутствием в воде железа. Основное назначение мембранных систем – удаление бактерий, простейших и вирусов ("холодная стерилизация"), частичное или глубокое обессоливание, подготовка высококачественной питьевой воды. То есть они предназначены для глубокой доочистки воды.

Тем не менее, микрофильтрационные мембраны пригодны для удаления уже окисленного трехвалентного железа, ультрафильтрационные и нанофильтрационные мембраны также способны удалять коллоидное и бактериальное железо, а обратноосмотические мембраны удаляют даже растворенное органическое и неорганическое железо (и марганец, кстати, тоже).

Практическое же применение мембран для работы по железу ограничено следующими факторами:

– во-первых, мембраны даже в большей степени, чем гранулированные фильтрующие среды и ионообменные смолы, критичны к "зарастанию" органикой и забиванию поверхности нерастворимыми частицами (в данном случае ржавчиной). Это означает, что мембранные системы требуют достаточно тщательной предварительной подготовки воды, в частности – удаления взвесей и органики. То есть мембранные системы применимы либо там, где нет органического, коллоидного, бактериального и

трехвалентного железа, либо проблема с этими загрязнениями должна быть предварительно решена другими методами;

– во-вторых, мембранные системы весьма и весьма недешевы. Их применение рентабельно только там, где требуется очень высокое качество воды (например, в пищевой промышленности).

Дистилляция является давно известным и проверенным способом глубокой очистки воды. Принцип дистилляции фактически повторяет круговорот воды в природе.

Вода, испаряясь, освобождается практически ото всех растворенных и нерастворенных примесей. В дистилляторах для ускорения естественного процесса испарения воды применяется нагревание (в подавляющем большинстве случаев с помощью электричества) воды до температуры кипения, что приводит к интенсивному образованию пара. При этом механические частицы, содержащиеся в воде (включая бактерии, вирусы и прочие микроорганизмы, а также коллоиды и взвешенные частицы) оказываются слишком тяжелыми, чтобы быть подхваченными паром. Одновременно почти все растворенные в воде химические вещества (включая соли железа, других тяжелых металлов, соли жесткости и т.д.) достигают предела своей растворимости (за счет повышенной температуры и особенно увеличения концентрации – вода постоянно улетучивается) и выпадают в осадок. Таким образом, вместе с паром могут "уйти" только летучие органические соединения (среди которых, правда и такие опасные, как тригалометан – потенциальный канцероген – и другие). Именно поэтому в дистилляторах часто устанавливают фильтр доочистки на основе активированного угля.

В дальнейшем пар, охлаждаясь (в природе – в верхних слоях атмосферы, в дистилляторах – в специальных конденсаторах, простейшим из которых является змеевик), конденсируется, опять превращаясь в воду. Этот конденсат и является той высокоочищенной водой, которую называют дистиллятом. Иногда дистиллированную воду "прогоняют" через дистиллятор еще раз и получают так называемый би-дистиллят.

Дистиллированную воду достаточно широко используют в промышленности, медицине, в химических лабораториях. Хорошо всем известный пример использования дистиллированной воды – заливка в аккумуляторы автомобиля. В системах же водоснабжения дистилляторы не нашли широкого применения.

Ограниченность применения дистилляторов в настоящее время объясняется следующими причинами:

1) дистилляторы имеют малую производительность;

2) в бойлере дистиллятора постоянно образуются осадок, накипь и т.п., которые надо вычищать;

3) дистилляторы излучают тепло и в довольно значительных количествах;

4) дистилляторы потребляют значительное количество электроэнергии, что для многих делает их использование менее рентабельным, чем обратный осмос или деминенрализация на ионообменных смолах.

Как отмечалось выше, для удаления железа из подземных вод после окисления кислородом или воздухом широко используются различные фильтрующие загрузки: кварцевые пески, дробленый и недробленый керамзит, колотый гранитный щебень, антрацит, шлаки и др. [8].

Анализ имеющихся литературных данных показывает, что возможности улучшения свойств сорбентов для извлечения железа из подземных и поверхностных вод практически исчерпаны. Поэтому был поставлен вопрос о поиске новых высокоэффективных материалов с активной фильтрующей поверхностью.

С этой точки зрения рационален переход на активные фильтрующие материалы, позволяющие не только отделять соединения железа, как механические примеси (частицы гидроксида железа), но и путем активного химического взаимодействия материала загрузки с растворенными формами (ионами) железа образовывать труднорастворимые соединения. В этой связи обращают на себя внимание синтетические и природные силикатные и карбонатные материалы, которые могут избирательно сорбировать из сильно минерализованных растворов ионы цветных и тяжелых металлов.

В этой связи были проведены исследования по определению эффективности использования в качестве фильтрующих загрузок материала на основе силикатного песка и извести, подвергнутого термопаровой обработке, и гранулированного карбонатосодержащего трепела месторождения «Стальное» Могилевской области. По химическому составу основными компонентами трепела являются оксиды кремния, кальция и алюминия. Отличительной особенностью белорусских трепелов является высокое содержание в их составе карбона кальция. Данные материалы разрешены Минздравом РБ для применения в качестве фильтрующих загрузок в хозяйственно - питьевом водоснабжении [8].

Вывод: выбор подходящего метода очистки воды от железа играет решающую роль в обеспечении её качества и безопасности. Правильное определение оптимальной технологии с учетом конкретных условий и характеристик воды позволяет эффективно избавляться от загрязнений и предотвращать возможные негативные последствия для здоровья. Учитывая особенности воды и требования к конечному продукту, подбор наиболее подходящего метода является ключевым этапом в системе водоочистки.

Литература

1. Калинина Н. В. Взаимодействие воды, кислотных и щелочных растворов со свинцовосиликатными и боратно-бариевым стеклами: автореферат диссертации ... кандидата физико-математических наук : 01.04.07 Физика конденсированного состояния. – Нальчик, 2007. – 18 с.

2. Водоподготовка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/396860/. – Дата доступа: 29.11.25.

3. Гидрогеохимические особенности участка «Лельчицы» Лельчицкого района Гомельской области в связи с организацией водоснабжения г.п. Лельчицы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vunivere.ru/work38360/page10. – Дата доступа: 28.11.25.

4. Соединения железа в воде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.anchem.ru/FORUM/read.asp?id=7099. – Дата доступа: 28.11.25.

5. Иванова И. С. Железсодержащие подземные воды юго-восточной части среднеобского бассейна: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.07. Гидрогеология / Иванова И.С. – Томск, 2013. – 22 с.

6. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» / В. А. Чиж [и др.]. – Минск : БНТУ, 2015. – 105 с.

7. Кюберис Э.А. Технология очистки подземных вод с высоким содержанием железа и марганца на малогабаритных установках : автореферат диссертации ... кандидата технических наук : 05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных объектов / Кюберис Э.А. – Самара, 2010. – 20 с.

8. Гуринович А.Д. Повышение эффективности систем централизованного питьевого водоснабжения из подземных источников: автореферат диссертации на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.23.04 - Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных объектов / Гуринович А.Д. – Минск, 2001. – 45 с.