

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»**



**Материалы 82-ой студенческой научно-технической  
конференции**

**в рамках Международного молодежного форума  
«Креатив и инновации'2026»**

**20 мая 2026 года**

**Минск  
БНТУ  
2026**

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Дубенок С.А., Колобако А.А.

В сборнике представлены материалы 82-ой студенческой научно-технической конференции, посвященные вопросам институционального и технического развития систем водоснабжения и водоотведения, проблемам сбора, транспортировки и очистки сточных вод, обработки осадка 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.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Способы очистки сеток в водоприемных сооружениях .....	10
Сравнительный анализ материалов трубопроводов, применяемых во внутреннем холодном водоснабжении .....	14
Снижения потерь воды в системе водоснабжения как средство энергосбережения .....	20
Внедрение BIM-технологий (информационного моделирования) в организацию производства и проектирования сетей водоснабжения и водоотведения .....	25
Ледовые процессы на реках и их влияние на эксплуатацию водозаборных сооружений .....	31
Сравнительный анализ подземных и поверхностных источников водоснабжения (на примере г. Минска).....	36
Сравнительный анализ номенклатуры элементов «сине-зелёной инфраструктуры» в англосаксонской, германской, российской и белорусской научных школах .....	39
Общие принципы и требования по охране труда в водоснабжении и водоотведении .....	46
Обеспечение пожарной безопасности в водоснабжении и водоотведении .....	51
Новые подходы в строительстве в сфере водоснабжения и водоотведения: инновации в стандартизации и нормативной базе Республики Беларусь (2024–2026 гг.).....	55
Формирование стоимости на проектные работы по объектам водоснабжения .....	61
Оценка изменения качества питьевой воды г. Минска при переходе на артезианское водоснабжение .....	67
Гидроструйные насосы: устройство, принцип действия, применение в народном хозяйстве .....	72
Управление инновационными проектами ЖКХ в городской среде .....	75
Восстановление и защита истощённых подземных источников .....	81
Факторы, влияющие на выбор метода обезжелезивания .....	85
Эколого-экономическое обоснование сброса сточных вод в водный объект с проектируемых очистных сооружений консервного завода.....	91
Влияние водозабора на русловые процессы и экосистему реки.....	97

Развитие насосостроения в Республике Беларусь .....	100
Интенсификация работы осветлителей за счет применения новых флоккулянтов .....	104
Способы регулирования подачи центробежных насосов .....	109
Обоснование критериев для оценки применимости технических решений по организации нецентрализованных систем водоотведения в сельских населенных пунктах.....	112
Особенности устройства систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий.....	119
Внедрение энергоэффективных погружных насосных агрегатов на водозаборах подземных вод.....	128
Особенности эксплуатации и защиты стальной арматуры железобетонных конструкций очистных сооружений.....	132
История развития ОАО «Завод Промбурвод »: эволюция насосного оборудования.....	138
Управление ливневыми стоками в городской инфраструктуре.....	140
Биологические методы десульфуризации биогаза.....	144
Эколого-экономическое обоснование выбора сооружений для очистки поверхностных сточных вод с селитебной территории населенных пунктов .....	149
Оценка эффективности водопользования и воздействия на водный объект предприятия энергетики.....	156
Использование дронов и роботизированных комплексов для диагностики труднодоступных участков канализаций (систем водоснабжения и водоотведения) .....	161
Зеленая инфраструктура как метод управления дождевыми водами.....	166

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<p>Алейников А.А., Карпов Е.А.          Новые способы очистки сеток в водоприемных сооружениях          Научный руководитель Терещенко А.В., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	10
<p>Астаськов И.Д.          Сравнительный анализ материалов трубопроводов, применяемых во внутреннем холодном водоснабжении          Научный руководитель Литвинова А.П., преподаватель-стажер  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	14
<p>Бабич А.А., Черняк С.Н.          Снижения потерь воды в системе водоснабжения как средство энергосбережения          Научный руководитель Ануфриев В.Н., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	20
<p>Барботченко К.С., Шалик А.В.          Внедрение BIM-технологий (информационного моделирования) в организацию производства и проектирования сетей водоснабжения и водоотведения          Научный руководитель Стельмах М.А., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	24
<p>Бойко М.А., Турчинович В.О.          Ледовые процессы на реках и их влияние на эксплуатацию водозаборных сооружений          Научный руководитель Грузинова В. Л., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	31
<p>Бойко М.А., Шеко А.Д.          Сравнительный анализ подземных и поверхностных источников водоснабжения (на примере г.Минска)          Научный руководитель Терещенко А.В., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	35
<p>Борисова Д.А.</p>	39

<p>Сравнительный анализ номенклатуры элементов «сине-зеленой инфраструктуры» в англосаксонской, германской, российской и белорусской научных школах</p> <p>Научный руководитель Дубенок С.А., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	
<p>Бушейко Т.С., Петроченко А.М.</p> <p>Общие принципы и требования по охране труда в водоснабжении и водоотведении</p> <p>Научный руководитель Полякова О. Е., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	45
<p>Жовнерчик В.А., Митрахович А. А.</p> <p>Обеспечение пожарной безопасности в водоснабжении и водоотведении</p> <p>Научный руководитель Полякова О. Е., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	50
<p>Зерская Е.А., Шевчук А.Г.</p> <p>Новые подходы в строительстве в сфере водоснабжения и водоотведения: инновации в стандартизации и нормативной базе Республики Беларусь (2024–2026 гг.)</p> <p>Научный руководитель Русак Т.Г., ассистент  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	55
<p>Зорин Е.В.</p> <p>Формирование стоимости на проектные работы по объектам водоснабжения</p> <p>Научный руководитель Корбан Л.К., доцент кафедры «Строительство и экс-плуатация зданий и сооружений» факультета строительства и недвижимости МИПКиПК БНТУ, к.т.н.          Филиал БНТУ "Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров", Минск, Республика Беларусь</p>	61
<p>Зорочкина М. С., Хаданович Ж.О.</p> <p>Оценка изменения качества питьевой воды г. Минска после замещения поверхностных источников артезианскими водами</p> <p>Научный руководитель Бушуева Е. В., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	66

<p>Кароньчик А.В.  Гидроструйные насосы: устройство, принцип действия, применение в народном хозяйстве  Научный руководитель Майорчик А.П., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	71
<p>Карпович М.С., Шлапакова А.И.  Управление инновационными проектами ЖКХ в городской среде  Научный руководитель Стельмах М.А., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	74
<p>Кичёва Д.Н., Астаськов И.Д.  Восстановление и защита истощенных подземных источников  Научный руководитель Грузинова В.Л., к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	80
<p>Кныревич В.В.  Факторы, влияющие на выбор метода обезжелезивания  Научный руководитель Грузинова В.Л., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	85
<p>Криводубская А.М.  Эколого-экономическое обоснование сброса сточных вод в водный объект с проектируемых очистных сооружений консервного завода  Научный руководитель Колобако А.А., ассистент  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	91
<p>Крук А.С.  Влияние поверхностного водозабора на русловые процессы и экосистему реки  Научный руководитель Терещенко А.В., ст. преподаватель  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	97
<p>Крук А.С.  Развитие насосостроения в Республике Беларусь  Научный руководитель Майорчик А.П., доцент, к.т.н.  <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	100

<p>Кузьмин П.С. Интенсификация работы осветлителей за счет применения новых флокулянтов Научный руководитель Сергиенко Д. С., преподаватель-стажер <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	104
<p>Митрахович А.А. Способы регулирования подачи центробежных насосов Научный руководитель Майорчик А.П., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	109
<p>Мороз Е.А. Обоснование критериев для оценки применимости технических решений по организации нецентрализованных систем канализации в сельских населенных пунктах Научный руководитель Дубенок С.А., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	112
<p>Никитин А. Д., Жовнерчик В. А. Особенности устройства систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий Научный руководитель Лемеш М. И., ст. преподаватель <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	119
<p>Поляков П.Н., Гритченко А.В. Внедрение энергоэффективных погружных насосных агрегатов на водозаборах подземных вод Научный руководитель Ануфриев В.Н., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	128
<p>Сергиенко Д.С., Кузьмин П.С. Особенности эксплуатации и защиты стальной арматуры железобетонных конструкций очистных сооружений Научный руководитель Грузинова В. Л., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i></p>	132
<p>Толярёнок А.Г. История развития завода ОАО «Завод Промбурвод»: эволюция насосного оборудования Научный руководитель Майорчик А.П., доцент, к.т.н.</p>	138

<i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	
Хаданович Ж.О., Зорочкина М.С. Управление ливневыми стоками в городской инфраструктуре Научный руководитель Бушуева Е. В., ст. преподаватель <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	140
Черняк С.Н., Бабич А.А. Биологические методы десульфуризации биогаза Научный руководитель Ануфриев В.Н., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	144
Шавейко К.Н. Эколого-экономическое обоснование выбора сооружений для очистки поверхностных сточных вод с селитебной территории населенных пунктов Научный руководитель Дубенок С.А., доцент, к.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	149
Шакаль Т.М. Оценка эффективности водопользования и воздействия на водный объект предприятия энергетики Научный руководитель Колобако А.А., ассистент <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	156
Шалик А.В., Барботченко К.С. Использование дронов и роботизированных комплексов для диагностики труднодоступных участков канализаций (систем водоснабжения и водоотведения) Научный руководитель Стельмах М.А., ст. преподаватель <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	161
Шлапакова А.И., Карпович М.С. Зеленая инфраструктура как метод управления дождевыми водами Научный руководитель Стельмах М.А., ст. преподаватель <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	166

## **Новые способы очистки сеток в водоприемных сооружениях**

Алейников А.А., Карпов Е.И.

Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье проанализированы методы очистки сеток водоприемных сооружений, которые включают в себя традиционные методы, которые различаются степенью участия человека и затратами, а также перспективные методы очистки сеток в водоприемных сооружениях. Оптимальное решение зависит от конкретных условий эксплуатации, наблюдается тенденция к автоматизации и комбинированию технологий.*

Регулярная очистка сеток водоприемных сооружений поверхностных водозаборов имеет критическое значение для поддержания проектной производительности всего водопроводного узла. Со временем ячейки сеток неизбежно зарастают гидробионтами (обрастание моллюсками, водорослями), забиваются мелким песком, органическими остатками и зимой — шугой. Это приводит к возрастанию гидравлического сопротивления, что вынуждает насосы работать с перегрузкой и потреблять больше электроэнергии при снижении фактического забора воды. Кроме того, заиленные сетки становятся источником вторичного загрязнения (разложение органики, ухудшение качества воды по бактериологическим и органолептическим показателям). Без своевременной очистки возрастает риск деформации и разрушения сетчатого полотна под воздействием перепада давления, что приведет к попаданию крупных взвесей в насосное оборудование и аварийному выходу его из строя. Таким образом, четкий график очистки и обслуживания водоприемных сеток — это прямая экономия на ремонтах и энергоресурсах, а также гарантия стабильного водоснабжения потребителей.

### ***Традиционные методы очистки***

*Ручной способ:* Ручная очистка предполагает непосредственное физическое воздействие персонала на поверхность сеток. Работники используют простейший инструмент: щетки с длинными рукоятками, скребки, металлические грабли или моечные аппараты высокого давления. В зависимости от конструкции водоприемного сооружения очистка может выполняться как с сухой стороны (со стороны камеры управления), так и с мокрой — с применением водолазного труда или специальных телескопических приспособлений. Главным достоинством ручного способа

является минимальная стоимость оборудования. Сегодня ручной способ применяется ограниченно — в основном как временная мера, на малых сельских водозаборах или в качестве резервного метода на случай выхода из строя механизированных систем;

*Механизированный (полуавтоматический) способ:* Механизированная очистка предполагает использование технических устройств, которые приводятся в действие персоналом, но значительно сокращают физические усилия и время работы. К таким устройствам относятся стационарные механизмы: сороудерживающие грабли с электроприводом, вращающиеся щетки, системы промывки с насосами. Также широко распространены мобильные комплексы — автоцистерны с насосами высокого давления, которые оперативно прибывают к объекту и осуществляют гидродинамическую промывку сеток через специальные люки или съёмные панели. Механизированный способ обеспечивает оптимальный баланс между стоимостью внедрения и эксплуатационной эффективностью. Он значительно быстрее и менее трудоемок по сравнению с ручной очисткой, при этом не требует сложной электроники и может функционировать в условиях нестабильного электроснабжения. Механизированная очистка является наиболее распространённым решением для средних и крупных водозаборов, а также для объектов, где автоматизация не оправдана экономически или технически (например, при отсутствии надёжного электроснабжения);

*Автоматический способ:* Автоматические системы очистки функционируют без участия человека. Инициирование процесса происходит либо по заданному временному расписанию, либо автоматически — по сигналу от датчиков перепада давления на сетке или датчиков мутности воды. В зависимости от конструкции применяются различные технологии: гидравлическая промывка струями воды высокого давления, воздушная продувка мощными импульсами сжатого воздуха, непрерывное или циклическое вращение щеток в барабанных сетках, а также комбинированные системы. Автоматическая очистка экономически обоснована на крупных городских водопроводных станциях, промышленных предприятиях с непрерывным циклом производства, а также на удалённых объектах, где регулярное присутствие персонала затруднено.

### **Перспективные и инновационные способы очистки**

Развитие технологий направлено на снижение эксплуатационных затрат, повышение надёжности, полное исключение человеческого фактора и минимизацию воздействия на окружающую среду. Ниже представлены наиболее перспективные направления, которые уже находят применение или проходят стадию промышленного тестирования.

*Ультразвуковая очистка:* Ультразвуковая очистка относится к бесконтактным методам. Генераторы ультразвука передают колебания высокой частоты через воду непосредственно на сетку или на корпус водоприемного сооружения. В жидкости возникает эффект кавитации — образование и мгновенное схлопывание множества микроскопических пузырьков. При схлопывании возникают локальные ударные волны, которые эффективно разрушают и отрывают поверхностные загрязнения, ил, биопленки и даже пузырьки воздуха, прилипшие к сетке. В настоящее время ультразвуковая очистка активно внедряется в системах водоподготовки, на насосных станциях и в технологических линиях, где важна высокая чистота чувствительных элементов. Для крупных водоприемных сеток метод часто используется в комбинации с другими способами;

*Импульсная воздушная продувка (Airburst):* Данный метод основан на кратковременном, но чрезвычайно мощном выбросе сжатого воздуха из системы распределительных труб, расположенных под водой вблизи сетки или непосредственно внутри нее. Высвобождение воздуха происходит в виде единичного импульса или серии импульсов. Возникающая при этом ударная волна и интенсивное всплытие огромного количества пузырьков создают сильные гидродинамические нагрузки, которые отрывают даже плотно приросшие водоросли, моллюсков и накопившийся ил. Технология широко применяется на водозаборах из открытых источников с высокой биологической активностью (водохранилища, озера), а также на морских водоприемных сооружениях, где борьба с обрастанием является ключевой задачей;

*Самоочищающиеся покрытия:* Это направление относится к пассивным методам защиты: вместо активного удаления загрязнений создаются условия, при которых они просто не могут закрепиться на поверхности сетки;

*SLIPS-покрытия:* SLIPS (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces) — технология, вдохновленная природным механизмом насекомоядного растения непентес. На поверхность сетки наносится пористый матрикс, который затем пропитывается специальной смазочной жидкостью. Эта жидкость не смешивается с водой и удерживается в порах, создавая идеально гладкую скользкую поверхность. Любые загрязнения, органические обрастания или кристаллы солей не могут закрепиться на такой поверхности и легко смываются естественным потоком воды;

*Супергидрофобные покрытия:* Супергидрофобные покрытия создают эффект «листа лотоса». Угол смачивания поверхности водой достигает 150–170 градусов, благодаря чему капли воды не растекаются, а скатываются в шарообразной форме. При наклоне поверхности всего на 2–3 градуса капли

начинают движение, увлекая за собой частицы грязи. Такие покрытия формируются за счет сочетания микронного рельефа и низкой поверхностной энергии материала. Основной сложностью остается обеспечение долговечности покрытий в условиях абразивного воздействия взвешенных частиц и необходимость периодического восстановления. Ведутся активные исследования по созданию устойчивых к истиранию композиций, пригодных для длительной эксплуатации в водной среде;

*Роботизированные комплексы (подводные дроны):* Для обслуживания глубоководных водозаборов, крупных гидротехнических сооружений и морских платформ, где традиционные методы очистки с участием водолазов дорогостоящи, опасны или технически ограничены, разрабатываются роботизированные системы. Подводные дроны (например, модели типа «Alpha Boxfish» и аналоги) оснащаются мощными двигателями с 3D-векторной тягой, системами технического зрения с освещением высокой яркости (до 10 000 люмен) и манипуляторами с вращающимися щетками или форсунками высокого давления. Технология активно внедряется на глубоководных водозаборах, гидроэлектростанциях, атомных станциях и морских нефтегазовых платформах, где безопасность и надежность являются приоритетом;

*Электрохимические методы и электродиализ:* Эти методы используют электрохимические процессы для борьбы с биологическими обрастаниями непосредственно на водоприемных сетках. Вблизи сетки устанавливаются электроды, при подаче напряжения происходит электролиз раствора хлорида натрия, содержащегося в воде. В результате генерируются активные формы хлора — гипохлорит натрия и другие окислители, которые эффективно уничтожают бактерии, водоросли и разрушают уже сформированные биопленки. Электрохимические методы наиболее востребованы на морских водозаборах и промышленных объектах, где борьба с биологическим обрастанием является постоянной задачей. В системах питьевого водоснабжения их применение ограничено требованиями к качеству воды, но возможно при наличии стадии дехлорирования на последующих этапах подготовки.

Таким образом, выбор метода очистки водоприемных сеток определяется масштабом объекта, экономическими ограничениями и условиями эксплуатации. Традиционные способы (ручной, механизированный, автоматический) остаются надежной основой, однако их дополняют и постепенно вытесняют перспективные инновации — ультразвук, импульсная продувка, самоочищающиеся покрытия, роботизированные дроны и электрохимия. Наиболее эффективным решением для современных водозаборов становится разумное

комбинирование этих подходов, обеспечивающее безопасность, экономичность и непрерывность процесса водоподготовки.

### Литература

1. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 128 с.
2. Афанасьев А.К., Губанов В.Н., Карпов А.А. Исследование эффектов, возникающих в процессе пневматической очистки фильтрующих элементов русловых водозаборников // Научно-технический журнал «КиберЛенинка». – 2020. – № 3. – С. 45–52.
3. Патент РФ № 2672074 С1. Устройство акустического излучателя для регулярной очистки скважинного фильтра / Овчинников В.П., Аксёнов С.В. – Заявл. 12.02.2018 ; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 32.
4. SLIPS: Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces [Электронный ресурс] // Wyss Institute at Harvard University – Режим доступа : <https://wyss.harvard.edu/technology/slips/> (дата обращения: 07.04.2026).
5. Aquaculture Net Cleaner Underwater Robot-BGT [Электронный ресурс] // BGT (BioGas Technologies) — Режим доступа: <https://www.bgt-hydromet.com/aquaculture-net-cleaner-underwater-robot.html> (дата обращения: 07.04.2026).
6. Чистая вода в чистых трубах: в СКФУ предложили инновационный способ очистки водозаборов [Электронный ресурс] // Северо-Кавказский федеральный университет. – 2023. – Режим доступа: <https://ncfu.ru/novosti/nauka/chistaya-voda-v-chistykh-trubakh-v-skfu-predlozhili-innovatsionnyy-sposob-ochistki-vodozaborov-288/> (дата обращения: 07.04.2026).

УДК 696.1:620.22

### **Сравнительный анализ материалов трубопроводов, применяемых во внутреннем холодном водоснабжении**

Астаськов И.Д.

Научный руководитель пр.-ст. Литвинова А.П., преподаватель-стажер  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье проводится сравнительный анализ современных материалов, используемых при монтаже систем внутреннего холодного водоснабжения (ХВС) в Республике Беларусь. Рассмотрены металлические (сталь оцинкованная, медь) и полимерные (полипропилен, сшитый полиэтилен,*

*поливинилхлорид) трубопроводы. Критериями оценки служат гидравлические характеристики, коррозионная стойкость, стоимость монтажа и срок службы. На основе многокритериального анализа даны рекомендации по выбору оптимального материала для жилых и общественных зданий с учетом требований белорусских ТНПА.*

Внутренние системы холодного водоснабжения (ХВС) являются одной из наиболее ответственных частей санитарно-технического оборудования зданий (СТОЗ). Согласно терминологии, внутренний водопровод — это водопроводная сеть в объёме, ограниченном наружными поверхностями ограждающих конструкций здания и водопроводным вводом, обеспечивающая подачу воды к санитарно-техническим приборам [1, с. 4].

От выбора материала труб зависит не только долговечность системы и отсутствие протечек, но и качество подаваемой воды, уровень шума, а также стоимость эксплуатации объекта в течение всего жизненного цикла. В последние десятилетия в строительной отрасли Беларуси произошло значительное изменение структуры рынка трубопроводной арматуры: классические стальные трубы активно вытесняются полимерными и композитными аналогами.

**Целью** настоящей работы является проведение комплексного сравнения физико-механических свойств и эксплуатационных параметров материалов трубопроводов для систем ХВС с обоснованием экономической и технической целесообразности их применения на территории Республики Беларусь.

Традиционно в системах ХВС применялись стальные водогазопроводные трубы, соответствующие требованиям белорусских стандартов. Для защиты от коррозии обязательным условием для питьевой воды является использование оцинкованных труб. Цинковое покрытие обеспечивает электрохимическую защиту стали, однако при резьбовом соединении цинковый слой неизбежно повреждается, что ведёт к локальной коррозии в фитингах. С течением времени (7–10 лет) происходит процесс «зарастания» внутреннего сечения трубы продуктами коррозии и карбонатными отложениями. Коэффициент шероховатости по таблицам Швелера для стальных труб составляет  $k = 0,5–1,0$  мм, что значительно снижает пропускную способность стояков. К преимуществам стали можно отнести высокую механическую прочность, низкий коэффициент линейного температурного расширения и устойчивость к внешним механическим воздействиям.

Медные трубы являются премиальным сегментом материалов для ХВС. Медь обладает бактерицидными свойствами, высокой стойкостью к хлорсодержащей воде и практически неограниченным сроком службы

(свыше 50 лет) при соблюдении технологии пайки. Внутренняя поверхность меди гладкая и не подвержена биологическому обрастанию. Однако высокая стоимость материала и монтажа (требуется высокая квалификация сварщика-пайщика, использование газовых баллонов в стеснённых условиях) ограничивает массовое применение меди в социальном и типовом жилье. Кроме того, медь подвержена точечной (питтинговой) коррозии в агрессивных средах при определённом сочетании pH и скорости потока воды [2, с. 27].

Наибольшее распространение во внутреннем ХВС сегодня получили трубы из полипропилена (ПП, PP-R). Полипропилен рандом-сополимер (тип 3) предназначен для систем холодного и горячего водоснабжения. Ключевым преимуществом ПП-труб является их абсолютная коррозионная стойкость. Внутренняя поверхность имеет коэффициент эквивалентной шероховатости  $k = 0,01-0,03$  мм, что практически исключает потери напора по длине и позволяет применять трубы меньшего диаметра по сравнению со стальными. Соединение труб осуществляется методом диффузионной сварки в раструб, что создаёт монолитное соединение без риска протечки в скрытой прокладке. Недостатками ПП являются высокий коэффициент линейного расширения ( $0,15$  мм/м·°С) и необходимость установки компенсаторов на длинных участках, а также горючесть материала (группа Г4).

Альтернативой ПП выступают трубы из сшитого полиэтилена (РЕХ). Благодаря сшивке молекулярной структуры (РЕХ-а, РЕХ-б, РЕХ-с), материал приобретает эффект «памяти формы». Это свойство делает РЕХ незаменимым при скрытой прокладке в стяжке пола (лучевая разводка), но для магистральных стояков ХВС в шахтах РЕХ излишне гибок и требует жёсткого крепления. Соединение РЕХ-труб производится с помощью дорогостоящих латунных обжимных фитингов (цанговое соединение) или подвижных гильз. В условиях ХВС важным нюансом является абсолютная кислородонепроницаемость РЕХ-а только при наличии специального внешнего слоя ЕVОН, что для холодной воды не критично, но для питьевой воды важно отсутствие диффузии загрязнений снаружи.

Трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) для внутреннего ХВС применяются ограниченно, в основном в промышленных цехах и насосных станциях, что связано с их высокой хрупкостью при отрицательных температурах и сложностью монтажа (клеевое соединение). Для питьевого водоснабжения чаще применяется ХПВХ (хлорированный ПВХ), обладающий повышенной термостойкостью. Основным минусом ПВХ в быту – выделение токсичных веществ при горении, что ограничивает его применение в жилых этажах согласно действующим нормам пожарной безопасности.

Гидравлический расчёт системы ХВС демонстрирует значительное преимущество полимеров. При расчёте удельных потерь напора на трение по формуле Дарси-Вейсбаха определяющим фактором является коэффициент гидравлического трения ( $\lambda$ ). Для стальных труб после 5–7 лет эксплуатации  $\lambda$  увеличивается в 2–3 раза от расчётного значения. Это приводит к падению давления у верхних потребителей в часы пикового водоразбора. При замене металлического стояка на полипропиленовый, даже при сохранении внутреннего диаметра, фактический расход воды может вырасти на 15–20 % за счёт снижения гидравлического сопротивления. Для систем ХВС это критично при этажности выше 9 этажей без установки повысительных насосов.

Выбор материала труб для внутреннего ХВС жёстко регламентирован техническими нормативными правовыми актами (ТНПА). основополагающими документами для Республики Беларусь является СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [3] и СП 4.01.01-2019 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [1]. Согласно требованиям этих документов, для внутреннего хозяйственно-питьевого водопровода должны применяться трубы, имеющие санитарно-гигиенический сертификат Министерства здравоохранения Республики Беларусь и удостоверение о государственной гигиенической регистрации.

С точки зрения монтажа наиболее технологичными являются полипропиленовые трубы. Инструмент для сварки ПП недорог, а навыки у монтажников приобретаются за несколько дней. Однако в последние годы выявилась проблема некачественного полипропилена с завышенным содержанием мела и низкой термостабильностью, что приводит к расслоению стенки трубы в ХВС под воздействием перепадов давления. При закупке материала критически важно требовать сертификат соответствия ГОСТ 32415-2013 «Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия» [4]. Монтаж труб из сшитого полиэтилена (РЕХ) более трудоёмок и требует наличия пресс-инструмента (радиального или аксиального). Ошибка в выборе фитинга или недостаточное обжатие гильзы приводит к появлению свищей сразу после опрессовки. В то же время, система РЕХ идеальна для коллекторной (лучевой) разводки ХВС, так как позволяет проложить неразрывный участок трубы от гребёнки до сантехприбора, исключая скрытые соединения в стене.

Отдельного внимания заслуживает проблема гидроударов. Стальные трубы благодаря высокой жёсткости и малому объёмному расширению хорошо демпфируют кратковременные скачки давления. Полимерные трубы более эластичны, что снижает риск разрыва тела трубы, но при этом передают ударную волну на запорную арматуру (смесители). В системах с

ПП и РЕХ крайне рекомендуется установка демпферов и реле давления на вводе в квартиру.

Для объективной картины был проведён расчёт сметной стоимости системы ХВС для типовой двухкомнатной квартиры в Минске (один стояк, 5 точек водоразбора, длина магистралей -- 15 м). Цены указаны в белорусских рублях (BYN) по состоянию на начало 2025 года (таблица).

Таблица

Сравнение затрат на устройство ХВС в квартире (BYN)

Статья расходов	Сталь оцинк.	Полипропилен (PP-R)	Сшитый ПЭ (РЕХ)
Трубы и фитинги	510	250	410
Стоимость монтажных работ	900	540	690
Оборудование (фильтры, краны)	180	180	180
<b>Итого прямые затраты</b>	<b>1 590</b>	<b>970</b>	<b>1 280</b>
Расходы на эксплуатацию (10 лет)*	480	0	0

\*В расчёте учтена периодическая промывка или замена участков стальных труб из-за снижения напора.

Данные таблицы наглядно показывают, что несмотря на более высокую стоимость некоторых комплектующих (латунных фитингов для РЕХ), общая стоимость владения металлической системы за 10-летний горизонт оказывается на 40–60 % выше, чем полимерной. Исключение составляет премиум-сегмент коттеджного строительства, где заказчик готов платить за медный трубопровод как за элемент статуса и долговечности, сопоставимой со сроком службы самого здания.

В контексте устойчивого развития и современных экологических требований немаловажным фактором является экологичность материала. Сталь и медь являются продуктами переработки руды с высоким углеродным следом, однако сталь на 100 % подлежит вторичной переработке по окончании срока службы. Полипропилен и РЕХ производятся из продуктов нефтехимии, их углеродный след ниже, но технологии вторичной переработки полимерных труб в Республике Беларусь находятся на стадии становления. С точки зрения воздействия на

качество воды во время эксплуатации, полимерные материалы сертифицированной продукции не выделяют в холодную воду опасных концентраций вредных веществ [4, с. 42].

На основании проведённого сравнительного анализа можно сделать следующие выводы, сформулированные в виде рекомендаций для проектных организаций и частных застройщиков Республики Беларусь:

Для многоквартирных жилых домов (стояки и магистрали) наиболее рациональным выбором является применение труб из полипропилена (PP-R), соответствующих требованиям ГОСТ 32415-2013 [4, с. 15], армированных стекловолокном или алюминием для компенсации теплового расширения. Применение стали на ХВС в новом строительстве экономически нецелесообразно и влечёт за собой жалобы жильцов на падение напора через 8–10 лет после сдачи дома.

Для индивидуального жилого строительства (коттеджи) рекомендуется сшитый полиэтилен (PEX) при лучевой разводке (коллекторная схема) или полипропилен при тройниковой схеме. Применение меди оправдано только в том случае, если все внутренние сети (ГВС, отопление) также выполняются из меди для создания единой, долговечной системы.

Для реконструкции старого фонда (замена труб ХВС) однозначно следует выбирать ПП (PP-R). Лёгкий вес и возможность сварки в условиях ограниченного пространства делают полипропилен вне конкуренции.

Сравнительный анализ материалов трубопроводов для систем внутреннего холодного водоснабжения показывает чёткую тенденцию к вытеснению металлических труб полимерными аналогами. Несмотря на бесспорные преимущества меди в части долговечности и гигиеничности, её высокая стоимость и сложность монтажа оставляют за ней лишь нишу элитного строительства. Стальные оцинкованные трубы проигрывают полимерам по всем ключевым показателям: коррозионная стойкость, гидравлическое сопротивление, скорость и стоимость монтажа. Полипропилен (PP-R) является оптимальным решением с точки зрения соотношения «цена-качество-надёжность» для большинства задач в области СТОЗ.

### **Литература**

1. СП 4.01.01-2019 Внутренний водопровод и канализация зданий. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019. — 52 с.
2. Отставнов, А. А. Выбор материалов труб для систем водоснабжения и отопления / А. А. Отставнов, В. А. Устюгов // Сантехника, отопление, кондиционирование (С.О.К.). - 2023. -- № 5. - С. 24–29.

3. СН 3.01.03-2020 Планировка и застройка населенных пунктов. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 67 с.

4. ГОСТ 32415-2013. Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия. — Введ. 2015-01-01. — М.: Стандартинформ, 2014. — 72 с.

УДК 628.179.34

### **Снижения потерь воды в системе водоснабжения как средство энергосбережения**

Бабич А. А., Черняк С. Н.

Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются возможности снижения потерь воды в системах водоснабжения и повышения энергоэффективности, рационального потребления энергетических ресурсов. Показана взаимосвязь между объемами неучтенных расходов воды и затратами электроэнергии на её добычу, подготовку и транспортировку. Рассмотрены методы мониторинга и контроля системы водоснабжения, которые позволяют получить данные о структуре потерь воды (физических и коммерческих) и возможных направлениях мероприятий по снижению потерь.*

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года потери и неучтенные расходы воды в коммунальных системах водоснабжения в 2020 году составили 83,4 млн. м<sup>3</sup>, или 14,5 % от общего подъема воды. В целом по республике потери и неучтенные расходы воды в системах коммунального водоснабжения сравнимы с аналогичными параметрами регистрируемых в европейских странах, которые находятся в диапазоне от 10% до 30% [1].

В контексте таких стран, как Беларусь, с ее существующей инфраструктурой водоснабжения, проблема безучётного водопотребления приобретает особую актуальность. Многие сети были построены десятилетия назад, и их физическое состояние является ключевым фактором, определяющим уровень потерь. Изношенные чугунные и

стальные трубы, коррозия, деформация соединений — все это приводит высокому уровню физических утечек.

Потери воды подразделяются на физические (утечки) и коммерческие (неучтённые расходы).

Физические потери воды (утечки) – потери воды из системы подачи и распределения воды, вызванные самопроизвольным истечением воды через неплотности или повреждения трубопроводов, их соединений, сальников и запорных узлов водопроводной арматуры, стен и днищ емкостных сооружений для хранения воды, скрытые потери воды, потери воды при опорожнении участков трубопроводов для выполнения ремонтных работ по устранению аварий и повреждений системы ПРВ и (или) замены технологического оборудования и устройств [2].

Коммерческие потери связаны с несовершенством систем измерений, их низкой чувствительностью при малых расходах, погрешностями измерений, несанкционированными подключениями и ошибками биллинга.

Важно, что основными причинами потерь воды является:

– **износ инфраструктуры.** Износ трубопроводов и других элементов системы водоснабжения — одна из главных причин утечек;

– **повреждения из-за природных условий.** Перепады температур, особенно в зимний период, могут приводить к разрыву труб и другим повреждениям;

– **некачественные материалы и оборудование.** Использование дешевых или низкокачественных материалов при строительстве и ремонте водопроводных сетей приводит к увеличению частоты аварий и, как следствие, к потерям воды;

– **ошибки в проектировании и строительстве.** Неправильное проектирование сети, ошибки при монтаже и недостаток контроля за процессом строительства часто становятся причиной возникновения течей в системе;

– **коммерческие потери.** Некорректный учет потребления, нелегальные подключения и ошибки при выставлении счетов также способствуют увеличению коммерческих потерь воды.

Рациональная эксплуатация систем водоснабжения требует минимизации всех видов потерь, поскольку чем выше неучтённый расход, тем больше воды необходимо подать в сеть для обеспечения нормативного давления у потребителей. Избыточное давление, в свою очередь, ускоряет износ труб и увеличивает частоту аварий.

Эффективное управление потерями воды требует организации постоянного мониторинга и оперативного контроля за состоянием водопроводной сети. Принцип мониторинга (District Metered Areas – DMA), основан на разделении системы на изолированные районы, оснащённые

расходомерами, датчиками давления и, при необходимости, акустическими датчиками [3]. Для каждого района формируется суточный баланс подачи и отведения воды, что позволяет определять фактический уровень неучтённых расходов.

Наиболее информативным показателем для оценки физических утечек является минимальный ночной расход (МНР). Анализ водопотребления в ночные часы, когда водоразбор минимален, даёт возможность определения объёма утечек воды в зоне [3]. Рост этого показателя свидетельствует о появлении новых повреждений и требует немедленного реагирования. Современные системы телеметрии и диспетчеризации (SCADA) позволяют регистрировать МНР в автоматическом режиме и формировать аварийные сигналы при превышении установленных предельных значений.

Данные о давлении, получаемые с датчиков в контрольных точках сети, служат исходной информацией для внедрения методик управления давлением. Поскольку существует прямая зависимость между давлением и утечками, управление давлением является одним из эффективных методов снижения утечек в системах водоснабжения.

Системы управления давлением — это комплекс инженерных решений для автоматического поддержания оптимального давления воды в разных зонах сети. Система постоянно поддерживает давление в сети, которое соответствует реальному разбору воды из сети, предотвращая как избыточное давление (которое ведет к утечкам, авариям и перерасход энергии), так и чрезмерно низкого (которое ухудшает водоснабжение). Осуществляется это с помощью двух типов устройств: регулятор давления и насос с регулируемой частотой вращения [4].

Регулятор давления – это механический или электронный клапан, устанавливаемый на трубопроводе, который снижает давление на участке трубопровода за регулятором.

Применение насосных агрегатов с регулируемой частотой вращения насосных станциях позволяет регулировать давление в сети в автоматическом режиме.

Система непрерывно измеряет давление в узлах сети, с помощью алгоритма оптимизации рассчитывает, насколько нужно снизить давление, и изменяет либо частоту вращения насосов, либо установки регуляторов давления. Это позволяет равномерно распределять давление и снижать избыточное давление в водопроводной сети в любое время суток, тем самым уменьшая потери воды и энергопотребление.

Для выявления скрытых утечек, не проявляющихся на поверхности, применяются акустические сенсоры способные обнаруживать утечки по характерному шуму воды, проходящей через трещины или повреждения в трубах. Эта технология особенно эффективна для больших сетей, где

ручной осмотр всех участков невозможен. Акустические сенсоры устанавливаются на гидрантах, клапанах или непосредственно на трубах. Современные системы с беспроводной передачей данных и централизованной обработкой сигналов позволяют обнаруживать утечки с точностью до метра и оперативно информировать диспетчера [5].

Для снижения коммерческих потерь рекомендуется переход на автоматизированные системы учёта воды с использованием так называемых «умных» счетчиков, работающих по технологиям NB-IoT и LoRaWAN [6]. Счетчики позволяют получать показания в реальном времени без участия человека, выявлять несанкционированные врезки по аномалиям расхода и снижать погрешности измерений благодаря высокочувствительным датчикам.

Технология NB-IoT основана на стандарте сотовой связи с передачей данных от средств измерения через сервер сотового оператора к клиенту. Водомеры комплектуются модулем передачи данных, оснащённым SIM-картой мобильного оператора, подключенной к сети. Данное оборудование собирает информацию у средства измерения расхода, преобразует в нужный формат и передает далее через сеть мобильного оператора на серверы водоканала [6].

Технология LoRaWAN основана на передаче данных с приборов по выделенному радиоканалу на базовую станцию производителя счётчиков. Каждый из производителей счетчиков устанавливает некоторое количество базовых станций, которые покрывают определенный район. Приборы передают данные на базовую станцию, а она в свою очередь отправляет информацию на серверы водоканала [6].

В результате мониторинга могут быть получены следующие данные:

- оценка объёма утечек;
- профили давления в контрольных узлах;
- выявлять несанкционированные врезки;
- акустические отметки потенциальных утечек.

Анализ этих данных позволяет строить актуальные гидравлические модели сети, регулировать давление для уменьшения количества фоновых утечек при сохранении нормативных напоров, прогнозировать развитие утечек и обоснованно планировать ремонтно-восстановительные работы.

Значительные потери воды, обусловленные физическим износом инфраструктуры, техническими неисправностями и коммерческими факторами, являются не только причиной прямых экономических убытков, но и приводят к значительному перерасходу энергетических ресурсов на транспортировку и обработку воды.

Таким образом, комплексный мониторинг и контроль системы водоснабжения выступает не только инструментом учёта потерь, но и

мощным средством управления энергосбережением. Цифровизация водопроводного хозяйства, внедрение систем SCADA, умных счётчиков и средств акустического поиска утечек создают информационную основу для принятия взвешенных технических и инвестиционных решений, напрямую отвечающих требованиям Директивы Президента Республики Беларусь № 3 «Об экономии и бережливости» [7].

### Литература

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года (одобрена протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10) 2017. – 148 с.

2. Об утверждении Инструкции по расчету норматива потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь: Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – № 43.

3. Pearson, D. Standard Definitions for Water Losses / D. Pearson // IWA Publishing, 2019. – P. 18–39.

4. Pressure management in water distribution systems to reduce energy consumption and background leakage // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hdl.handle.net/10871/34830> - Дата обращения: 21.04.2026.

5. Акустические датчики утечек: частотный анализ и современные технологии 2025 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://inner.su/articles/akusticheskie-datchiki-utechek-chastotnyy-analiz-i-sovremennye-tehnologii-2025/> – Дата обращения: 09.04.2026.

6. Умные счетчики: как развиваются новые технологии в ЖКХ 2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://belta.by/tech/view/reportazh-umnye-schetniki-kak-razvivajutsja-novye-tehnologii-v-zhkh-503654-2022/> - Дата обращения: 09.04.2026.

7. Об экономии и бережливости: Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 (в ред. Указа от 19 февраля 2021 г. № 58) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pravo.by/>. – Дата обращения: 09.04.2026.

**Внедрение BIM-технологий (информационного моделирования) в организацию производства и проектирования сетей водоснабжения и водоотведения**

Барботченко К.С., Шалик А.В.

Научный руководитель Стельмах М.А., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются современные подходы к внедрению BIM-технологий при проектировании и организации строительства систем водоснабжения и водоотведения. Проведен анализ преимуществ перехода от традиционного двухмерного проектирования к информационному моделированию, выявлены ключевые барьеры цифровизации в водохозяйственном секторе и предложена поэтапная методика интеграции BIM-решений, направленная на снижение коллизий, повышение точности расчетов и оптимизацию жизненного цикла объектов.*

Инженерные сети водоснабжения и водоотведения (ВиВ) обеспечивают экологическую устойчивость и санитарное благополучие городских территорий. Многие коллекторы спроектированы десятилетия назад, и при их реконструкции проявляется информационный голод — отсутствие полных и достоверных данных о пространственном положении, материале труб и гидравлических режимах. Цифровые технологии информационного моделирования (BIM) позволяют создавать единую базу, агрегирующую геометрические, атрибутивные и динамические параметры сетей [1, с. 56]. Однако проектирование водопроводных и особенно самотечных канализационных сетей имеет свою специфику: критичность соблюдения уклонов, зависимость от геологии и уровня грунтовых вод, а также жесткие нормативные требования к сопряжению колодцев [2, с. 32].

Целью данной статьи является системный анализ внедрения BIM-решений в данные процессы с детальной проработкой сравнительных характеристик программных средств и выявлением нормативных барьеров. Целью работы является обоснование эффективности применения BIM-технологий в проектировании и организации производства работ для систем ВиВ, а также формирование научно-практических рекомендаций по адаптации программных комплексов к специфике эксплуатации напорных и безнапорных трубопроводов.

Для реализации цели решались следующие задачи:

1. Идентифицировать системные недостатки классических методов

проектирования;

2. Провести сравнительный анализ функциональности программного обеспечения (Autodesk Revit, Civil 3D, Model Studio CS) применительно к задачам гидравлики и плана трасс;

3. Разработать алгоритм автоматизированной увязки сетей и выявления коллизий на этапе ПОС (проекта организации строительства);

4. Оценить экономический эффект и выявить сдерживающие факторы внедрения BIM в Республике Беларусь.

#### **Анализ ограничений классических методов проектирования**

Традиционное проектирование сетей ВиВ в среде САПР (AutoCAD без интеллектуальных надстроек) ведет к информационной разобщенности. Планы, профили и детализировка существуют как независимые сущности, не связанные ассоциативными связями. Внесение изменения в диаметр трубопровода требует ручной корректировки десятков чертежей, что порождает риск асинхронизации данных. Особенно критично это для канализационных самотечных линий, где принципиальны уклоны и высотные отметки сопряжений колодцев [3, с. 48]. Отсутствие трехмерной увязки с другими инженерными сетями (теплотрассы, газопроводы и др.) в стесненных условиях городского подземного пространства приводит к пересечениям в одном уровне. Выявление таких коллизий на этапе строительства влечет остановку работ, переделку креплений котлованов и дополнительные затраты до 20% от сметной стоимости земляных работ [6, с. 87].

#### **Методология внедрения информационного моделирования в проектах ВиВ**

Информационная модель сети водоснабжения или водоотведения — это совокупность объектов (трубы, фасонные части, колодцы, арматура, насосные станции), несущих атрибутивную информацию. В качестве базового инструмента для создания инженерной цифровой модели (ЦМ) предлагается использование связки программных продуктов: геоинформационной системы для обработки топоосновы (Civil 3D / IndorCAD), платформы информационного моделирования для проектирования линейно-протяженных объектов и среды для координации сводной модели (Navisworks / Renga).

Процесс внедрения методики можно разбить на четыре уровня:

1. Переход на 3D-трассировку. В отличие от плоского черчения, трасса сети создается с учетом геодезии и геологических слоев. Для напорных водоводов это позволяет автоматически генерировать продольный профиль и компенсаторы;

2. Гидравлическое связывание. Через API (Application Programming Interface) или прямой экспорт данных из BIM-среды в гидравлические

модули (EPANET, WaterGEMS) создается единый расчетный массив. Изменение диаметра или шероховатости трубы в модели мгновенно пересчитывает пьезометрические напоры и автоматически обновляет спецификацию [4, с. 112];

3. Автоматизация поиска коллизий. Сводная модель инженерных сетей загружается в модуль clash-detection. Система в автоматическом режиме выявляет недопустимые пересечения трубопроводов с фундаментами зданий, кабельными линиями и коробами. При этом алгоритм учитывает не только геометрию, но и нормативные разрывы (например, по СН 4.01.02-2019 [7]);

4. Формирование раздела ПОС (организация строительства). На основе календарно-сетевого графика создается 4D-модель, где элементы сети привязываются к срокам выполнения работ. Это позволяет визуализировать этапы прокладки труб, установки насосного оборудования и обратной засыпки, исключая пространственно-временные конфликты на площадке [8, с. 35].

#### **Сравнительный анализ и выбор программной платформы для проектирования внутренних и наружных сетей**

При внедрении BIM критическим этапом становится подбор инструментальной базы. Универсальных решений не существует, и выбор платформы зависит от масштаба сети и этапа жизненного цикла. Для крупных магистральных водоводов и тоннельных коллекторов глубокого заложения предпочтительна связка Autodesk Civil 3D и Revit с гидравлическим модулем WaterGEMS. Civil 3D позволяет строить динамическую модель рельефа и продольного профиля с автоматической корректировкой уклонов при изменении ситуации на поверхности. Пакет WaterGEMS подключается для многовариантных расчетов потокораспределения в кольцевых сетях с учетом пожарных расходов и пьезометрических высот [9, с. 94]. Преимуществом является полная интеграция результатов расчета обратно в 3D-модель: если по результатам анализа напора изменяется диаметр участка, автоматически обновляются спецификация и листы подсчета объемов земляных работ. Недостатком связки является высокая стоимость лицензий и требование к квалификации пользователя [10, с. 118].

Российско-белорусские разработки, представленные комплексом Model Studio CS Трубопроводы и средой nanoCAD, ориентированы на соблюдение стандартов СП и ТКП. В них хорошо проработаны каталоги типовых колодцев по сериям 3.900.1-14 и арматуры отечественного производства. С позиций организации производства преимуществом является прямая выгрузка данных в сметные программы (Синкевич, Гранд-Смета) без двойной конвертации. При выборе ПО для проектов в Беларуси стоит

учитывать постановление об импортозамещении ПО. Российское ПО имеет преимущество в скорости адаптации к новым ТНПА, так как разработчики теснее сотрудничают с нормотворческими органами ЕАЭС. Однако функциональность clash-анализа (поиска пространственных пересечений) в nanoCAD пока уступает Navisworks, что требует при больших проектах экспорта моделей в открытый формат IFC и проверки в сторонних программах [11, с. 55].

Для внутримплощадочных сетей небольших населенных пунктов оправдана работа в среде Renga. Это легковесное российское BIM-решение, где архитектор и смежник ВиВ работают в общей модели без потери данных. Для инженера ВиВ важен автоматический расчет отметок лотка трубы при задании начальной и конечной глубины заложения, а также функция раскладки труб вдоль трассы с учетом нормативных расстояний в траншее. С точки зрения организации производства (ПОС) инструмент позволяет смоделировать этапы разработки узкой траншеи с креплением.

Практический опыт показывает, что использование специализированных средств ускоряет выпуск стадии «Р» на 35–40 % по сравнению с плоским черчением, но требует тщательной предварительной настройки шаблонов [12, с. 102].

### **Оценка эффективности и особенности применения в Республике Беларусь**

Анализ пилотных проектов, реализованных в Минске с применением элементов BIM (реконструкция городских канализационных коллекторов), демонстрирует следующие преимущества подхода:

- сокращение сроков разработки проектно-сметной документации (ПСД) благодаря автоматической генерации чертежей на 30–40%;
- уменьшение количества коллизий на стадии строительства на 70%, что достигается проверкой модели до выхода на площадку;
- снижение объема бетонных монолитных работ по упорам и камерам за счет точного расчета радиусов поворота и компенсационных ниш;
- прямая выгрузка вздомостей объемов работ (BOR) и спецификаций в сметные программы (SXW, СМР-Про), что исключает арифметические ошибки [5, с. 201].

Несмотря на очевидные плюсы, широкомасштабное внедрение BIM-технологий сдерживается следующими факторами. Во-первых, отсутствует адаптированная база данных оборудования белорусских производителей труб и арматуры в форматах, пригодных для информационного моделирования. Проектировщики вынуждены использовать «заглушки» или строить семейства вручную, что нивелирует временные преимущества. Во-вторых, остро стоит кадровая проблема: инженер-проектировщик ВиВ обязан владеть не только нормативной базой, но и навыками системного

администрирования баз данных [6, с. 90].

### **Анализ нормативно-правовых и организационных барьеров внедрения BIM в Республике Беларусь**

Несмотря на очевидные технологические преимущества, массовое внедрение BIM в отрасли ВиВ сдерживается комплексом юридических и организационных проблем. Первым барьером является неадаптированность нормативной базы. Сегодня в республике принят и реализуется план действий по внедрению ОКЭД и классификаторов в стройотрасли, однако технический регламент, обязывающий передавать цифровую информационную модель (ЦИМ) на экспертизу именно в виде связанных баз данных, а не плоских чертежей-подложек, все еще находится на стадии обсуждения. Как следствие, проектировщики ВиВ вынуждены параллельно разрабатывать и 3D-модель сети для внутренних нужд, и стандартные бумажные профили для прохождения государственной экспертизы. Это удваивает трудозатраты и снижает привлекательность технологии в глазах руководства проектных институтов [13, с. 100].

Второй серьезный аспект — отсутствие единой государственной библиотеки типовых элементов для сетей водоснабжения и водоотведения, привязанной к производителям. При построении колодца или камеры гашения напора инженер затрачивает время на моделирование нестандартной опалубки или специфической запорной арматуры. Без централизованного «цифрового склада» с утвержденными семействами (стеклопластиковые трубы, полиэтиленовые фитинги, белорусские насосы) каждая организация строит собственную базу, что приводит к несопоставимости моделей разных участников в сводной среде [14, с. 51].

### **Практические рекомендации по переходу проектных организаций на BIM**

Для успешной цифровой трансформации организаций, проектирующих сети водоснабжения и водоотведения, необходима реализация следующих шагов:

- разработка корпоративного BIM-стандарта: детально прописать уровни проработки LOD (Level of Detail) для элементов сетей. На стадии «П» (проект) достаточно отображения габаритов и присоединительных размеров насосной станции, тогда как на стадии «Р» (рабочая документация) требуется точная геометрия впусков, выпусков и монтажных петель;

- создание общей среды данных (ОСД): все участники (гидротехники, строители, смежники) работают в единой облачной среде, исключая передачу устаревших файлов;

- интеграция с расчетными модулями: внедрение скриптов автоматизированной передачи расчетных данных из гидравлических

моделей обратно в Revit/Civil для простановки маркировки и высот.

Переход на BIM-технологии в отрасли водоснабжения и водоотведения представляет собой не просто смену инструмента черчения, а коренное изменение философии проектирования. Информационное моделирование позволяет создать среду, где гидравлический расчет, строительная конструкция и план организации работ являются неделимым целым. Это минимизирует инвестиционные риски и обеспечивает надежность эксплуатации сетей на десятилетия вперед. Необходимым условием развития является государственная поддержка в части актуализации нормативных баз и субсидирования разработки отечественных библиотек элементов для инженерных сетей.

### Литература

1. Талапов, В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 410 с.
2. Куприянов, А. В. Цифровые технологии в проектировании инженерных систем: учебное пособие / А. В. Куприянов. — М.: АСВ, 2022. — 280 с.
3. Игнатова, Е. В. Применение систем автоматизированного проектирования в задачах водоотведения городских территорий / Е. В. Игнатова, А. Б. Кузнецов // Водоснабжение и санитарная техника. — 2022. — № 9. — С. 46–52.
4. Козлов, А. Ю. Интеграция гидравлических моделей и информационной среды здания для анализа режимов подачи воды / А. Ю. Козлов // Вестник МГСУ. — 2023. — Т. 18, вып. 5. — С. 108–117.
5. Дронов, Д. С. Экономическая эффективность внедрения технологий информационного моделирования при прокладке наружных инженерных сетей / Д. С. Дронов // Инновации в строительстве. — 2023. — № 2. — С. 198–205.
6. Гольдберг, Л. И. Проблемы и перспективы цифровизации коммунальной инфраструктуры городов Беларуси / Л. И. Гольдберг. // Архитектура и строительство. — 2024. — № 1. — С. 85–91.
7. СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. — Минск: Минстройархитектуры, 2020. — 80 с.
8. Пинчук, М. Е. Организация и планирование строительного производства с применением 4D-моделей инфраструктурных проектов / М. Е. Пинчук. — Минск: Вышэйшая школа, 2023. — 188 с.

9. Шилкин, А. С. Гидравлические расчеты в среде информационного моделирования: опыт увязки с Civil 3D и WaterGEMS / А. С. Шилкин // Сантехника. — 2023. — № 5. — С. 92–98.

10. Степанов, И. А. Сравнительный анализ производительности программных комплексов при укладке наружных сетей / И. А. Степанов, П. С. Лемешев // CAD/CAM/CAE Observer. — 2022. — № 4. — С. 114–121.

11. Жук, П. М. Российские BIM-решения для промышленного проектирования: адаптация к белорусским нормам / П. М. Жук // Архитектура и строительство Беларуси. — 2023. — № 6. — С. 53–57.

12. Никитина, Е. В. Опыт внедрения Renga на объектах водоснабжения малых городов / Е. В. Никитина // Инженерные системы. — 2024. — № 1. — С. 100–106.

13. Лисовский, Д. М. Цифровая трансформация строительной отрасли Республики Беларусь: проблемы и вектор развития нормативной базы / Д. М. Лисовский // Вестник БНТУ. — 2023. — № 3. — С. 96–103.

14. Корнеев, А. В. Государственные цифровые библиотеки инженерного оборудования как драйвер внедрения ТИМ / А.В. Корнеев // САПР и графика. — 2023. — № 10. — С. 48–53.

УДК 628.113

### **Ледовые процессы на реках и их влияние на эксплуатацию водозаборных сооружений**

Бойко М. А., Турчинович В. О.

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

*Рассматриваются проблемы эксплуатации водозаборов в зимний период. Описаны механизмы образования шуги, донного льда и зажоров в зависимости от скорости течения рек. Проанализированы способы блокировки водоприемных отверстий — обмерзание, закупоривание и аккумуляция льда. Приведен анализ методов борьбы с обледенением: гидравлических, термических, пневматических, конструктивных и механических. Обобщен опыт эксплуатации водозаборов в условиях Крайнего Севера. Даны рекомендации по проектированию в суровых климатических условиях.*

Обеспечение надежной работы систем водоснабжения в зимний период является одной из ключевых задач при эксплуатации водозаборных сооружений. Ледяная закупорка водозаборов может создавать серьезные

угрозы для бесперебойной подачи воды потребителям. Данное явление приводит к снижению пропускной способности водоприемных отверстий, значительным потерям напора и, в критических случаях, к полной остановке насосных станций.

Обледенение водозаборов возникает вследствие взаимодействия конструктивных элементов сооружений с различными формами льда, образующимися в водоемах в период ледостава. Процесс замерзания рек начинается с обязательного условия — переохлаждения воды. Характер этого процесса в значительной степени зависит от скорости течения. На участках с малыми уклонами и небольшой скоростью течения (до 0,2 м/с) переохлаждение воды имеет место только в тонком поверхностном слое, в котором появляются и смерзаются между собой кристаллы льда игольчатой формы, образуя корку льда. В таких условиях формируется ледяной покров, который сцепляется с берегами. Ледяной покров также может формироваться в результате роста и смыкания заберегов — полос льда, примерзших к берегам. Для рек с устойчивым ледяным покровом лед обычно не вызывает проблем на водозаборах, если только он не взламывается и не сносится вниз по течению [1].

При более высоких скоростях течения (свыше 0,4 м/с) перемешивание водных масс способствует переохлаждению всей толщи воды, и образуется форма льда, называемая шугой [2]. Шуга состоит из очень маленьких кристаллов, которые изначально взвешены в потоке по всей глубине, но впоследствии объединяются в кластеры и поднимаются на поверхность. Шуга может образовываться почти во всех реках, и ее количество зависит от протяженности открытой воды и интенсивности потери тепла. Важной характеристикой шуги является ее способность слипаться и прилипать к поверхностям. Пока шуга образуется и растет, то есть при температуре воды ниже 0 °С, она находится в активном состоянии и будет агломерироваться сама с собой, а также прилипать к любым подводным объектам. Когда температура воды возвращается к 0 °С, рост кристаллов прекращается, и такая шуга называется пассивной, теряя свои липкие свойства [6].

Шуга также может образовывать донный лед — отложение и нарастание кристаллов на грунте. Его опасность для водозаборов заключается в том, что он часто всплывает на поверхность в более теплые периоды и может принести с собой камни и гальку. Особую опасность представляют зажоры — скопления шуги с включением мелкобитого льда в русле реки, вызывающие стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды [3]. Зажоры образуются на шугоносных реках в период формирования ледяного покрова на участках с повышенными уклонами, а также в местах стеснения русла островами или валунами [4].

Большое значение для бесперебойного отбора воды имеет шуголедовый режим реки. В предледоставный период происходят колебания уровня со сложной закономерностью, не связанные с водностью источника, что необходимо учитывать при проектировании водозаборных сооружений. Исследования ледотермических процессов в нижних бьефах плотин показывают, что наиболее опасной для работы водозаборов является зона интенсивного шугообразования, где формируются основные ледовые массы.

Активная шуга способна прилипать к металлическим поверхностям и расти даже в толще потока, поражая не только поверхностные, но и глубинные водоприемники. Существует несколько способов, которыми шуга блокирует водозаборы. Первый — обмерзание, то есть нарастание льда непосредственно на стержнях сороудерживающих решеток путем примерзания частиц или роста кристаллов, прикрепленных к стержням. Второй — закупоривание, когда водозаборы забиваются из-за больших масс шуги, ударяющихся о входное отверстие, при этом небольшие отверстия решеток легко перекрываются шугой по типу моста. Третий — аккумуляция, то есть накопление шуги над водопропускным каналом до такой степени, что проходное сечение сильно сужается. Наиболее уязвимым элементом водозаборов являются сороудерживающие решетки, которые обеспечивают основу для накопления шуги.

Проблема защиты водозаборных сооружений от обледенения требует комплексного подхода, включающего как учет ледовых условий на стадии проектирования, так и применение специальных инженерных мер в процессе эксплуатации. Главным условием, гарантирующим при наличии шуги в источнике надежный прием воды, является обеспечение очень малых скоростей поступления воды в водоприемные устройства. При интенсивном шугообразовании скорость воды должна составлять всего 0,005–0,01 м/с [5].

Для освобождения решеток от шуги используется обратная промывка, а при интенсивном шугоходе периодичность промывки может достигать 2–3 часов. В таких случаях наиболее эффективна импульсная промывка, создающая волновой импульс, воздействующий на всю решетку независимо от степени ее засорения. Для водозаборов средней и большой производительности в условиях обильной шуги рекомендуется устройство водоприемных ковшей, которые гарантируют надежную защиту от шуги и донного льда [7].

При малом количестве шуги надежным средством может стать применение сороудерживающих решеток из гидрофобных материалов — каучука, эбонита, дерева, резины, а также металлических стержней со специальными покрытиями. Характерной особенностью северных

водозаборов является использование древесины для изготовления сороудерживающих решеток и футеровки патрубков, так как дерево менее подвержено внутриводному обледенению по сравнению с металлом и бетоном [7]. Для защиты от шуги, взвешенных наносов, а также для рыбозащиты устраивают водозаборы с фильтрующими водоприемниками из гравия, щебня или керамзита, которые могут выполняться в виде оголовков, дамб или галерей.

В суровых климатических условиях для защиты от обмерзания применяется подача нагретой воды с температурой до 25 °С, что обеспечивает подогрев забираемой воды до 0,5 °С. Эффективным методом является электрообогрев решеток, при котором на стержни подается напряжение 50–150 В, и проходящий ток нагревает решетку, исключая закупорку шугой. Применяется также подача пара перед решетками, ориентировочный расход пара составляет 0,15–0,20 кг/м<sup>3</sup> подогреваемой воды.

Для защиты от шуги используются водовоздушные завесы. Сущность этого способа заключается в создании зоны восходящих потоков, которые выносят шуговые массы на поверхность, предотвращая их вовлечение в водоприемные окна. Для создания пневмозащиты по дну реки на некотором удалении от водоприемника укладывают перфорированные трубы, через которые подается сжатый воздух. При средней скорости реки 0,5 м/с и глубине потока 3,5 м расход воздуха составляет около 1 м<sup>3</sup>/мин на метр завесы [6].

Помимо перечисленных методов, для борьбы с ледовыми проблемами могут применяться механические способы: взрывные работы и механическое удаление льда с помощью специального оборудования. Однако эти методы обычно нежелательны, так как взрывные работы опасны и имеют неопределенные результаты, а механическое удаление часто приводит к повреждению установки.

Существенный интерес представляет опыт эксплуатации водозаборов в условиях Крайнего Севера. На реках со сложными шуголедовыми условиями, где зашугованность достигает 60 % живого сечения, толщина льда доходит до 1,9 м, а период ледостава длится около 8 месяцев, применяются ковшовые водозаборы с подачей нагретой воды от ТЭЦ и электрообогревом решеток [7]. Малые глубины в руслах северных рек требуют строительства регулирующих сооружений: дамб, прорезей, полузапруд. В нижних бьефах плотин выделяют несколько зон ледотермического режима, и наиболее опасной для работы водозаборов является зона интенсивного шугообразования, что необходимо учитывать при проектировании водозаборов ниже гидроузлов.

Таким образом, борьба с ледовыми проблемами ведется тремя основными путями: учет ледовых условий при первоначальном проектировании с выбором оптимального типа водоприемника, достаточным заглублением отверстий и использованием фильтрующих оголовков; пост-строительная модификация существующих объектов; изменение методов эксплуатации, включающее корректировку графиков забора воды и удаление решеток на зимний период. Мониторинг температуры воды и ледовых условий позволяет более эффективно управлять водозабором для предотвращения проблем и в случае серьезных остановок помогает точно диагностировать причину.

### Литература

1. Сычѳв, А. О. Анализ теплового потенциала ряда рек Московского региона для целей теплонасосного теплоснабжения / А. О. Сычѳв. — Текст: непосредственный // Инновации в сельском хозяйстве. — 2019. — № 3 (32). — С. 16–25.
2. Бузин, В. А. Опасные гидрологические явления: учебное пособие / В. А. Бузин. — Санкт-Петербург: Издательство РГГМУ, 2008. — 228 с. — ISBN отсутствует. — Текст: непосредственный.
3. Малафеева, С. Н. Практические и самостоятельные работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»: учебное пособие для студентов педагогических вузов / С. Н. Малафеева, Н. А. Вершинина, П. В. Мещеряков. — Екатеринбург: [б. и.], 2018. — Текст: непосредственный.
4. Авакян, А. Б. Природные и антропогенные причины наводнений / А. Б. Авакян, М. Н. Истомина. — Текст: непосредственный // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. — 2013. — Т. 3, № 1 (4). — С. 269–281.
5. Смирнов, Ю. А. Водоснабжение. Водозаборные сооружения: конспект лекций: учебное пособие / Ю. А. Смирнов. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2013. — 146 с.
6. Остриков, В. В. Водозаборные сооружения из поверхностных источников: методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов / В. В. Остриков, Л. И. Нечаева, А. Ю. Скрябин [и др.]. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2008. — 42 с.
7. Порядин, А. Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов / А. Ф. Порядин. — Москва: Стройиздат, 1984. — 183 с.

**Сравнительный анализ подземных и поверхностных источников водоснабжения (на примере г. Минска)**

Бойко М.А., Шеко А.Д.

Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*Проведен сравнительный анализ подземных и поверхностных источников воды на примере города Минска. Также рассмотрены природные свойства и технологии очистки, описаны плюсы и минусы каждого подхода: качество воды, сложность и стоимость инфраструктуры. Подчёркнуты преимущества артезианской воды, такие как высокая экологичность, автоматизация и долговечность оборудования.*

Масштабный проект по переводу Минска на артезианскую воду, завершённый в январе 2025 года, стал важнейшим этапом в развитии городской инфраструктуры и позволил наглядно сравнить два принципиально разных подхода к водоснабжению. До этого момента почти треть столицы, включая Фрунзенский, Московский и часть Октябрьского районов, получала воду из поверхностных источников. А именно из Вилейского водохранилища через Вилейско-Минскую водную систему. Остальные районы уже использовали артезианскую воду из подземных скважин. Завершение проекта сделало возможным прямое сравнение двух типов водных ресурсов по целому ряду параметров: органолептическим свойствам, химическому составу, технологиям очистки, экономической эффективности и долговечности оборудования.

Главное различие между поверхностной и подземной водой кроется в их природных свойствах. Вода из Вилейского водохранилища, как и любая поверхностная вода, требует обязательного обеззараживания. На протяжении многих лет для этих целей использовалось хлорирование, что приводило к появлению характерного запаха и привкуса, вызывавшего многочисленные нарекания жителей. Вода из поверхностных источников всегда содержит остаточные следы хлора, тогда как артезианская вода такой недостаток исключает. Именно стремление избавиться от этого, а также многочисленные просьбы горожан стали ключевыми факторами, побудившими принять окончательное решение о полном переводе столицы на артезианское водоснабжение, несмотря на то что технически это более сложный и дорогостоящий вариант [1].

Артезианская вода, добываемая из скважин глубиной до 350 м, имеет иную особенность. Она, как правило, содержит повышенное количество

растворенного двухвалентного железа и марганца. Даже из артезианской скважины может поступать вода с содержанием железа, достигающим 10 мг/л при норме в 0,3 мг/л. В исходном состоянии такая вода прозрачна, но при контакте с кислородом железо окисляется и выпадает в осадок, что может приводить к изменению цвета и эстетическому дискомфорту у потребителей, однако это не является признаком ее небезопасности [2].

Технологии подготовки двух типов воды кардинально различаются по сложности и требуемым ресурсам. Поверхностная вода проходит через многоступенчатую систему водоподготовки, включающую коагуляцию, отстаивание, фильтрацию и финальное обеззараживание гипохлоритом натрия. Это сложный, централизованный процесс, требующий использования дорогостоящих реагентов и обслуживания масштабной инфраструктуры. В свою очередь, подготовка артезианской воды обычно сводится к удалению излишков железа и марганца на модульных станциях обезжелезивания. Технология здесь принципиально иная и более простая: она основана на аэрации – насыщении воды кислородом, который окисляет растворенное железо, переводя его в нерастворимую форму, после чего примеси задерживаются на фильтрах. Современные станции используют упрощенную аэрацию без применения каких-либо реагентов, а в качестве фильтрующего материала применяют природный кварцевый песок. После обезжелезивания вода подвергается ультрафиолетовому обеззараживанию, что исключает использование хлора.

Современное оборудование для подготовки артезианской воды представляет собой полностью укомплектованные модульные станции, внутри которых смонтированы фильтры, насосы, система автоматики, отопление и вентиляция. Такие станции работают автономно и не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала – управление и мониторинг осуществляются удаленно, с диспетчерского пункта или даже со смартфона. Принципиальное значение имеет материал, из которого изготавливается оборудование. При производстве станций используется нержавеющая сталь пищевого назначения [3].

Это критически важно, поскольку пластиковые или стеклопластиковые аналоги в химически агрессивной среде (вода с высоким содержанием железа и марганца является таковой) со временем теряют свои свойства, могут выделять микропластик и требуют замены уже через 3–5 лет. Срок службы станций из нержавеющей стали оценивается в 30–50 лет, что с макроэкономической точки зрения делает их использование более выгодным [2].

Сравнение экономической эффективности двух подходов демонстрирует неочевидную картину. Использование поверхностных источников обходится дешевле с точки зрения эксплуатационных затрат. Однако

приоритетом стало качество жизни горожан. В долгосрочной перспективе артезианское водоснабжение имеет ряд преимуществ. Простота технологии (безреагентная аэрация), меньшее количество этапов очистки, высокая степень автоматизации и, главное, долговечность оборудования из нержавеющей стали делают этот вариант стратегически более предпочтительным и предсказуемым в части текущих расходов [2;3].

Проект по переводу Минска потребовал значительных инвестиций. За чуть более чем два года было пробурено 87 новых скважин, еще более 40 скважин перебурено, уложено почти 115 км только крупных трубопроводов. В ходе строительства были возведены новые насосные станции, в том числе станция «Щомыслица», и проведены работы на трех водозаборах южной группы – Вицковщина, Острова и Фелицианово. На этих объектах построены новые резервуары чистой воды, проложены сборные водоводы и смонтированы современные станции обезжелезивания и ультрафиолетового обеззараживания [4].

Стоит отметить, что переход на артезианскую воду не отменяет необходимости содержания и модернизации существующей инфраструктуры, связанной с очисткой сточных вод. В январе 2025 года началась реконструкция Минской очистной станции в Шабанах, которая представляет собой сооружение площадью 80 га и принимает 400-450 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Проект, разбитый на пять очередей (сооружения механической очистки, здания для биологической очистки, сооружения по работе с осадком, комплексы по сбраживанию и сжиганию осадка), призван решить проблему специфического запаха, периодически возникающего в близлежащих микрорайонах, и модернизировать устаревшую инфраструктуру [5].

Таким образом, сравнение поверхностной и подземной воды на примере Минска показывает, что выбор источника водоснабжения – это баланс между эксплуатационными затратами, качеством жизни и долгосрочной надежностью. Артезианская вода, несмотря на необходимость обезжелезивания, позволяет применять простые безреагентные технологии в компактных модульных установках из нержавеющей стали, что обеспечивает ее высокое качество, отсутствие запаха хлора и долгий срок службы оборудования, что и было подтверждено реализацией проекта по переводу всей столицы на подземные источники.

### **Литература**

1. Беларусь-новости: Артезианская вода теперь во всём Минске! Почему Лукашенко сравнил новое водоснабжение с космосом // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://belarus-news.by/project/artezianskaya-voda->

teper-vo-vsyom-minske-pochemu-lukashenko-sravnil-novoe-vodosnabzhenie-s — Дата обращения 28.04.2026.

2. Минск-новости: Они помогают улучшить качество воды. Какое оборудование предлагает компания «Элкерм» // [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://minsknews.by/oni-pomogayut-uluchshit-kachestvo-vody-kakoe-oborudovanie-predlagaet-kompaniya-elkerm/> — Дата обращения 28.04.2026.

3. Министерство промышленности Республики Беларусь: Современные станции обезжелезивания питьевой воды от завода ПАК // [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://minprom.gov.by/sovremennye-stancii-obezzhelezivaniya-pitevoj-vody-ot-zavoda-pak/> — Дата обращения 28.04.2026.

4. Reform.news: «Минскводоканал» рассказал о ходе перевода Минска на артезианскую воду // [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://reform.news/minskvodokanal-rasskazal-o-hode-perevoda-minska-na-arteziianskiyu-vodu/amp> — Дата обращения 28.04.2026.

5. Официальный сайт РУП «Белэнергосетьпроект» // [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.besp.by/index.php/ru/> — Дата обращения 28.04.2026.

УДК 504.4.062.2

### **Сравнительный анализ номенклатуры элементов «сине-зелёной инфраструктуры» в англосаксонской, германской, российской и белорусской научных школах**

Борисова Д.А.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Элементы сине-зелёной инфраструктуры — дождевые сады, биодренажные каналы, зелёные кровли — выполняют одни и те же функции в любой точке мира: принимают, очищают и задерживают дождевые и талые воды. Однако их названия варьируются от страны к стране, создавая межъязыковую путаницу. Для Республики Беларусь, находящейся на стыке нескольких нормативных традиций, проблема усугубляется отсутствием собственного терминологического стандарта в этой области.*

Представьте себе неглубокое понижение рельефа, засаженное злаками и многолетниками, куда после дождя стекает вода с тротуаров и проезжей части. В Портленде его называют *rain garden*, в Берлине — *Versickerungsmulde*, в Москве — дождевой сад, а в Минске проектировщик колеблется между «дождевым садом» и «биодренажной канавой». Объект один с одной и тоже выполняемой функцией, имеет сразу четыре названия. Эта ситуация не просто курьёз переводчика. За ней стоят различные научные школы, разные истории развития и внедрения технологий, разные культурные установки по отношению к обращению с дождевыми водами.

В современном мире концепция использования сооружений «сине-зеленой» инфраструктуры (далее - СЗИ) развивается очень активно с начала 2000-х годов. За последние два десятилетия СЗИ стала признанным инструментом устойчивого управления дождевыми водами, особенно в условиях урбанизации и изменения климата. В Европейском Союзе, США, Китае и других странах реализованы тысячи проектов по внедрению дождевых садов, зелёных кровель, проницаемых покрытий и биодренажных систем. Эти сооружения не только снижают нагрузку на традиционные ливневые сети, но и улучшают микроклимат, повышают биоразнообразие и создают комфортную городскую среду. Международные организации (Всемирный банк, ООН-Хабитат) рекомендуют СЗИ, как ключевой элемент адаптации городов к климатическим изменениям.

Для Республики Беларусь рассматриваемое направление имеет особое значение: страна активно перенимает международный опыт в области проектирования и строительства СЗИ, но пока не выработала единого терминологического языка для его описания и применения.

Цель работы — провести сравнение наименований и области применения четырёх базовых элементов СЗИ в США, Германии, России и Беларуси, установить генетические корни белорусских терминов и показать, какие риски несёт терминологическая неопределённость.

В качестве объекта исследования выбраны четыре элемента СЗИ, конструктивно идентичные во всех странах: дождевой сад, озеленённая траншея, проницаемое покрытие, зелёная кровля.

Краткое конструктивное описание выбранных объектов СЗИ приведено в таблице 1.

Таблица 1

## Краткое конструктивное описание выбранных объектов СЗИ

№ п/п	Объект	Физическое описание
1	Дождевой сад	Локальное понижение с фильтрующим грунтом и растениями, принимающее дождевые и талые воды
2	Озеленённая траншея	Линейная выемка в грунте с растительностью, транспортирующая дождевые и талые воды
2	Проницаемое покрытие	Дорожная одежда, пропускающая воду в грунт сквозь поры или швы
4	Зелёная кровля	Крыша с растительным слоем, задерживающая и испаряющая выпадающие на нее осадки

Проведенный анализ законодательства четырех стран показал, что рассматриваемые объекты СЗИ на уровне терминологии и описания их базовых характеристик встречаются в различных видах национальных документов: от нормативных правовых актов (НПА) и технических нормативных правовых актов (ТНПА) до технических руководств.

В США основные требования закреплены в следующих документах: «Национальное меню наилучших методов управления ливневыми водами» (EPA National Menu of Best Management Practices for Stormwater) [1] и «Руководство по проектированию низко импактного развития округа Принс-Джордж» (Prince George's County Low Impact Development Design Manual) [2].

В Германии основная терминология закреплена в документе Немецкой ассоциации водного хозяйства (DWA — Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) DWA-A 138 «Планирование, строительство и эксплуатация сооружений для инфильтрации дождевых вод» [3], а также в руководстве Фонда исследований ландшафта (FLL — Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) «Рекомендации по планированию, выполнению и уходу за озеленением крыш» [4].

В России действует целая отдельная система ГОСТов по «зеленым стандартам», устанавливающая экологические требования к строительству, эксплуатации зданий и производству продукции для снижения воздействия на среду, повышения энергоэффективности и комфорта. В части рассматриваемых сооружений СЗИ действует ГОСТ Р 58875-2020 «Зеленые стандарты. Сине-зеленая инфраструктура. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования» [9] касается, в основном, зелёных кровель. Термины и описание для остальных трёх элементов (дождевой сад, озеленённая траншея, проницаемое

покрытие) содержатся в СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [10], СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [11], СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» [12].

В Республике Беларусь действует достаточно большое количество НПА и ТНПА в части обустройства дождевой канализации в населенных пунктах (СП 3.02.10-2025 «Благоустройство территорий. Правила устройства», СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения», СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенных пунктов», СН 3.03.06-2022 «Улицы населенных пунктов» и др.), однако применение рассматриваемых сооружений СЗИ закреплено только в одном ТНПА - Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах, утвержденном Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды [13].

Каждый из четырех рассматриваемых терминов «сине-зелёной инфраструктуры» разложен на лексические компоненты. Выделены корневые морфемы двух типов: указывающие на воду, дренаж, инженерную функцию («синий» код) и указывающие на растительность, экосистемность, эстетику природы («зелёный» код). Долевое соотношение этих кодов в национальной терминосистеме каждой страны позволяет судить о доминирующей концептуальной модели (таблицы 2-5).

Таблица 2

Фито-углубление для приёма дождевых и талых вод

Страна	Термин	Буквальные перевод	Код
США	Rain Garden	«Дождевой сад»	Зелёный
Германия	Versicker ungsmulde	«Инфильтрационная мульда»	Синий
Россия	Дождевой сад и Биодренажная канава	—	Зелёный + синий
Беларусь	Дождевой сад (проекты) и Биодренажная канава (расчёты)	—	Зелёный + синий

Таблица 3

## Озеленённая траншея

Страна	Термин	Буквальный перевод	Код
США	Bioswale	«Биоканавы»	Зелёный
Германия	Rasenmul	«Газонная мульда»	Зелёный и синий
Россия	Водоотводная канава и фито-дренажная траншея	—	Синий + зелёный и синий
Беларусь	Водоотводная канава	—	Синий

Таблица 4

## Проницаемое покрытие

Страна	Термин	Буквальный перевод	Код
США	Pervious Pavement	«Проницаемое покрытие»	Синий
Германия	Sickerfähige Verkehrsflächen	«Фильтрующие транспортные площади»	Синий
Россия	Водопроницаемое покрытие	—	Синий
Беларусь	Водапронікальняе пакрыццё	—	Синий

Таблица 5

## Зелёная кровля

Страна	Термин	Буквальный перевод	Код
США	Eco-Roof / Green Roof	«Эко-крыша» и «Зелёная крыша»	Зелёный
Германия	Dachbegrünung / Gründach	«Озеленение крыши» и «Зелёная крыша»	Зелёный
Россия	Зелёная кровля	—	Зелёный
Беларусь	Зялёны дах	—	Зелёный

Проведенный анализ таблиц показывает тройную зависимость белорусской лексики СЗИ:

1. Советский корень. Самые прочные, законодательно закреплённые термины — «водоотводная канава» и «водапроникающее покрытие» — унаследованы от советских СНиПов. Они надёжны, но терминологически устарели: не отражают экосистемную функцию объектов.

2. Российский корень. «Дождевой сад» и «биодренажная канава» проникли в белорусскую практику через российскую нормативную и научную литературу [5,6]. Они активно используются, но не имеют юридической силы в ТКП.

3. Европейский корень. «Зялёны дах» — гость из западноевропейских проектов (ПРООН, трансграничное сотрудничество) [3,4]. Термин эстетически привлекателен, но нормативно не определён.

Эта трёхкорневая система пока работает, но с каждым новым проектом СЗИ в Беларуси риск терминологической путаницы возрастает.

Отсутствие единого стандарта при использовании терминологии в области «сине-зеленой» инфраструктуры создаёт несколько серьёзных проблем:

1. Проектная: заказчик пишет в задании «дождевой сад», а проектировщик и подрядчик, руководствуясь действующими ТНПА, реализуют «биодренажную канаву» — разные конструкции с разной стоимостью строительства и эксплуатации [8-10];

2. Научная: белорусский исследователь публикует статью в международном журнале, переводя «водоотводную канаву» как *drainage ditch*, тогда как в международной научной литературе этот объект называется *bioswale* [2], — статья не индексируется по нужным ключевым словам;

3. Трансфертная: немецкий партнёр предлагает технологию *Versickerungsmulde* [3], белорусский специалист ищет аналог в национальных ТНПА и не находит, после чего проект откладывается.

В заключение исследования необходимо отметить, что сравнительный анализ показал, что одни и те же элементы «сине-зелёной» инфраструктуры действительно получают принципиально разные имена в зависимости от страны. За этими различиями стоят не физические свойства объектов, а культурные и исторические особенности их внедрения. Беларусь, находясь на пересечении нескольких нормативных традиций, пока не выработала собственного терминологического языка для СЗИ и пользуется заимствованиями. Составленные в работе таблицы могут служить практическим глоссарием для проектировщиков и учёных, а также отправной точкой для создания национального стандарта.

## Литература

1. EPA. National Menu of Best Management Practices (BMPs) for Stormwater [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.epa.gov/npdes/national-menu-best-management-practices-bmps-stormwater> — Дата доступа: 25.04.2026.

2. Prince George's County. Low Impact Development (LID) Design Manual [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.princegeorgescountymd.gov/> — Дата доступа: 25.04.2026.

3. DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser (Планирование, строительство и эксплуатация сооружений для инфильтрации дождевых вод). — Hennef: DWA (Немецкая ассоциация по водному хозяйству, сточным водам и отходам), 2005. — 182 с.

4. FLL. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen (Руководство по планированию, выполнению и уходу за озеленением крыш). — Bonn: FLL (Исследовательское общество ландшафтного развития и ландшафтного строительства), 2018. — 150 с.

5. Строительные нормы Республики Беларусь СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://normy.by/mand.php>. — Дата доступа: 25.04.2026.

6. Строительные нормы Республики Беларусь СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенных пунктов» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://normy.by/mand.php>. — Дата доступа: 25.04.2026.

7. Строительные нормы Республики Беларусь СН 3.03.06-2022 «Улицы населенных пунктов» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://normy.by/mand.php?7950>. — Дата доступа: 25.04.2026.

8. Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/news-ru/view/utverzhdeny-ndtm-sbora-transportirovki-ochistki-i-ispolzovaniya-poverkhnostnyx-stochnyx-vod-5531/>. — Дата доступа: 25.04.2026.

9. ГОСТ Р 58875-2020. Зеленые стандарты. Сине-зеленая инфраструктура. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2020. — 24 с.

10. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> — Дата доступа: 25.04.2026.

11. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 [Электронный ресурс]. —

Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293730/4293730021.htm> —  
Дата доступа: 25.04.2026.

12. СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://base.garant.ru/71705482/> — Дата доступа: 25.04.2026.

13. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20.02.2024 № 70-Д «Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах».

УДК 66.013.8

### **Общие принципы и требования по охране труда в водоснабжении и водоотведении**

Бушейко Т.С., Петрович А.М.

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

*Аннотация: в статье рассмотрены ключевые принципы организации охраны труда на предприятиях водоснабжения и водоотведения. Описаны базовые обязанности нанимателя по контролю условий труда, выдаче средств защиты, обучению персонала и медицинскому контролю. Уделено внимание особенностям безопасной работы с химическими реагентами, в частности с хлором, а также правилам проведения работ на очистных сооружениях. Приведен обзор актуальных нормативных правовых актов Республики Беларусь, регулирующих данную сферу.*

Труд работников систем питьевого водоснабжения и канализации связан с постоянным воздействием комплекса вредных и опасных производственных факторов. К ним относятся химические реагенты, такие как хлор и коагулянты, повышенная влажность, загазованность помещений и колодцев, риск падения в технологические емкости, опасность поражения электрическим током, а также биологические факторы при контакте со сточными водами [1]. Именно поэтому соблюдение требований охраны труда здесь является не просто административной обязанностью, а жизненной необходимостью для каждого работника. Согласно Правилам технической эксплуатации, весь персонал обязан строго соблюдать установленные требования безопасности [2].

*Контроль за состоянием рабочих мест и оборудования.* На каждом предприятии отрасли должен вестись постоянный и тщательный мониторинг состояния условий труда. При ежедневном осмотре территорий, проездов и проходов особое внимание обращается на чистоту и порядок, правильность складирования материалов и запасных частей, отсутствие неисправного инструмента. В обязательном порядке проверяется наличие и исправность первичных средств пожаротушения, систем связи и сигнализации, защитных ограждений опасных зон и знаков безопасности. Важнейшими аспектами являются исправность систем освещения как на рабочих местах, так и на территории, соблюдение параметров микроклимата в производственных помещениях и организация бесперебойного водно-питьевого режима для персонала [2].

При контроле за эксплуатацией машин и механизмов необходимо следить за их общим техническим состоянием, наличием всех предусмотренных конструкцией защитных устройств, таких как ограждения вращающихся частей, блокировки, заземление, а также четкостью маркировки пусковых устройств. Отдельно контролируется правильность допуска работников к обслуживанию оборудования и своевременность проведения планового технического обслуживания и ремонта [2].

*Обеспечение работников средствами защиты.* Работа с осадком сточных вод, хлором и другими химическими реагентами неизбежно связана с загрязнениями и вредным воздействием на кожу. Поэтому работникам бесплатно выдаются смывающие и обезвреживающие средства в соответствии с установленными нормами [3]. Также законодательство обязывает нанимателя бесплатно выдавать средства индивидуальной защиты (далее – СИЗ) всем, кто трудится во вредных, опасных или неблагоприятных температурных условиях [1; 4]. К таким СИЗ относятся специальная одежда и обувь, защитные перчатки и рукавицы, средства защиты органов дыхания и зрения. Выдача СИЗ осуществляется в соответствии с типовыми отраслевыми нормами в зависимости от профессии и вида выполняемых работ [4].

*Обучение, инструктаж и проверка знаний.* Допуск к самостоятельной работе на объектах водоснабжения и водоотведения невозможен без полноценного обучения, стажировки на рабочем месте, проведения всех видов инструктажей и последующей проверки знаний по вопросам охраны труда [5]. Этот непрерывный процесс гарантирует, что работник не просто формально прослушал материал, а действительно знает безопасные приемы труда и осознает все риски, связанные с выполнением своих должностных обязанностей. Инструктажи подразделяются на вводный, первичный на

рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой. Каждый из них имеет свою периодичность и цели проведения [5].

*Медицинский контроль работников.* Для контроля физического состояния работников, занятых на работах с повышенной опасностью, к которым относится обслуживание напорных коллекторов, хлораторных установок, высотных водонапорных башен, в обязательном порядке проводится предсменный медицинский осмотр либо освидетельствование. Наниматель обязан отстранить от работы человека, находящегося в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения [1; 6]. Такая мера является важнейшим элементом профилактики производственного травматизма, поскольку даже незначительное снижение внимания и реакции при работе на опасных объектах может привести к катастрофическим последствиям.

*Особенности работы с химическими веществами.* На многих объектах водоснабжения применяются опасные химические вещества, в первую очередь хлор для обеззараживания воды. При работе с такими веществами действуют особые требования, установленные специальными правилами по охране труда. Основными опасными факторами при этом являются токсические, раздражающие и сенсибилизирующие свойства химических веществ, а также повышенная загазованность воздуха рабочей зоны [1; 7].

Сведения об опасных свойствах конкретных химических веществ должны в обязательном порядке указываться в маркировке тары и в паспорте безопасности химической продукции. В этих документах также содержится информация о необходимых средствах контроля за опасным воздействием, о применяемых СИЗ, мерах первой помощи пострадавшим и действиях персонала по предотвращению и ликвидации аварийных ситуаций [7].

Для безопасной работы с химическими веществами требуется обязательное применение приточно-вытяжной вентиляции и аспирационных систем, а также автоматизация и герметизация технологических процессов, являющихся источниками вредных и опасных производственных факторов. Это касается в первую очередь операций по транспортировке, загрузке, переливанию и выгрузке реагентов [7].

Правила безопасности при работе с хлором. Хлор является одним из самых опасных веществ, применяемых в водоподготовке. Помещения хлораторных должны быть оборудованы стационарными газоанализаторами, способными определять пороговые значения предельно допустимой концентрации (ПДК). При достижении уровня загазованности, равного 0,8–1,2 ПДК, газоанализатор подает команду на срабатывание предупредительных звуковых и световых сигналов. При уровне свыше 1,2 ПДК немедленно включаются аварийные сигналы [7].

Оператор хлораторной установки при получении сигнала тревоги обязан немедленно надеть противогаз, покинуть помещение и продублировать сигнал диспетчеру. Далее необходимо проверить срабатывание автоматической аварийной вентиляции и системы нейтрализации хлорной волны, а также незамедлительно вызвать специализированную группу повышенной готовности для ликвидации утечки [7].

*Безопасность на очистных сооружениях.* Работы по эксплуатации и ремонту очистных сооружений относятся к разряду особо опасных и должны проводиться только по наряду-допуску установленной формы. Основными вредными и опасными факторами здесь являются подвижные части технологического оборудования, загазованность резервуаров и отстойников, опасность падения в технологические емкости и внезапного воздействия потока воды [1].

При необходимости спуска в технологические емкости бригада должна состоять не менее чем из трех человек: один работает в емкости, второй находится на поверхности и страхует его, третий специально наблюдает и в случае необходимости немедленно оказывает помощь. Наблюдающего категорически запрещено отвлекать на другие работы до полного выхода работника на поверхность. Все спускающиеся должны быть в обязательном порядке обеспечены предохранительными поясами, страховочными веревками и при необходимости противогазами [1].

Особые требования предъявляются к складскому хранению химических реагентов. Их количество на складе не должно превышать 30-суточного запаса. Запрещается хранить в одном помещении вещества, способные химически взаимодействовать между собой с выделением тепла или токсичных газов. На складах обязательно наличие утвержденного перечня совместимости используемых химических веществ [1].

*Социально-бытовые условия и питание.* Требования охраны труда охватывают не только производственный процесс, но и социально-бытовое обеспечение работников. Наниматель обязан создавать надлежащие условия для питания сотрудников: организовывать работу столовой или буфета, оборудовать комнату приема пищи либо обеспечить централизованную доставку обедов [8]. Для отдельных профессий с особо вредными условиями труда предусмотрена бесплатная выдача лечебно-профилактического питания, которое призвано укрепить здоровье работников и повысить сопротивляемость организма воздействию вредных факторов [8].

*Аттестация рабочих мест и расследование несчастных случаев.* Важнейшим инструментом управления охраной труда на предприятии является аттестация рабочих мест по условиям труда. В ходе аттестации специальная комиссия оценивает химические, биологические,

виброакустические факторы, параметры микроклимата, освещенность, а также тяжесть и напряженность трудового процесса. По результатам аттестации разрабатываются конкретные мероприятия по улучшению условий труда, которые обязательны для выполнения нанимателем [1].

Если, несмотря на все принятые меры безопасности, на производстве произошел несчастный случай, работодатель обязан незамедлительно провести его расследование, оформить все необходимые документы и разработать комплекс мер по профилактике и предупреждению подобных инцидентов в будущем. Это позволяет выявить коренные причины происшествий и не допустить их повторения [1].

Таким образом, общие принципы охраны труда в водоснабжении и водоотведении строятся на комплексном системном подходе: от постоянного контроля условий труда и полного обеспечения СИЗ до специальных мер безопасности при работе с опасными химическими веществами и в замкнутых пространствах. Только неукоснительное соблюдение всех перечисленных требований позволяет сохранить жизнь и здоровье работников этой стратегически важной для населения отрасли.

### **Литература**

1. Закон Республики Беларусь от 23.06.2008 № 356-З «Об охране труда» (в ред. Закона от 17.07.2023 № 300-З), Принят Палатой представителей 19.06.2008, одобрен Советом Республики 26.06.2008, Минск – 28 с.
2. Правила технической эксплуатации систем питьевого водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 04.09.2019 № 594, Минск – 45 с.
3. О нормах и порядке обеспечения работников смывающими и обезвреживающими средствами // Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.12.2008 № 208, Минск – 12 с.
4. Инструкция о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты // Утверждена постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.12.2008 № 209, Минск – 23 с.
5. Инструкция о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда // Утверждена постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28.11.2008 № 175, Минск – 18 с.
6. О предсменном (перед началом работы, смены) медицинском осмотре и освидетельствовании работников // Постановление

Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 02.12.2013 № 116/119, Минск – 10 с.

7. Правила по обеспечению промышленной безопасности при использовании и хранении хлора // Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30.06.2017 № 31, Минск – 35 с.

8. О создании условий для питания работников // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 07.02.2012 № 127, Минск – 8 с.

УДК 614.843

### **Обеспечение пожарной безопасности в водоснабжении и водоотведении**

Жовнерчик В.А. Митрахович А.А.

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

*В материале рассмотрены обязанности организаций в Беларуси по пожарной безопасности (содержание средств пожаротушения, обучение работников), виды противопожарных инструктажей и требования к пожарно-техническому минимуму, а также бухучёт расходов на сигнализацию, инвентарь, знаки безопасности и обучение.*

В контексте водоснабжения и водоотведения пожарная безопасность обеспечивается комплексом мер, направленных на предотвращение пожаров и обеспечение готовности к их тушению. Руководители и должностные лица организаций обязаны организовывать обучение работников мерам пожарной безопасности и обеспечивать их участие в предупреждении и тушении пожаров. К работе не допускаются лица, не прошедшие противопожарный инструктаж и/или подготовку по программе пожарно-технического минимума, если это предусмотрено законодательством (пункт 8 статьи 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХП «О пожарной безопасности»).

Обязанности субъектов хозяйствования по обеспечению пожарной безопасности включают:

– обеспечение пожарной безопасности и противопожарного режима в организации (статья 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХП «О пожарной безопасности»);

– обеспечение соблюдения и контроля выполнения требований пожарной безопасности на территории, в здании, сооружении, помещении или его части, наружной установке (подпункт 3.1, абзацы 5, 6 подпункта 3.2 пункта 3, абзац 3 пункта 62 общих требований пожарной безопасности к содержанию и эксплуатации капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений и иных объектов, принадлежащих субъектам хозяйствования, утвержденных Декретом Президента Республики Беларусь от 23.11.2017 № 7 «О развитии предпринимательства»);

– обеспечение работоспособности и исправности средств противопожарной защиты и пожаротушения, противопожарного водоснабжения, связи, защиты от статического электричества, наружных пожарных лестниц, ограждений крыш зданий, а также постоянной готовности к применению этих средств (абзац 2 подпункта 3.1 пункта 3 общих требований пожарной безопасности к содержанию и эксплуатации капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений и иных объектов, принадлежащих субъектам хозяйствования, утвержденных Декретом Президента Республики Беларусь от 23.11.2017 № 7 «О развитии предпринимательства»);

– обеспечение применения (использования) средств обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения, соответствующих требованиям технических регламентов Таможенного союза, ЕАЭС в области пожарной безопасности (статья 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХІІ «О пожарной безопасности»);

– организация обучения работников мерам пожарной безопасности (подпункт 3.2 пункта 3 общих требований пожарной безопасности к содержанию и эксплуатации капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений и иных объектов, принадлежащих субъектам хозяйствования, утвержденных Декретом Президента Республики Беларусь от 23.11.2017 № 7 «О развитии предпринимательства»);

– разработка порядка действий работников на случай возникновения пожара (статья 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХІІ «О пожарной безопасности»);

– информирование работников о состоянии пожарной безопасности (статья 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХІІ «О пожарной безопасности»);

– обеспечение наличия стендов с информацией о пожарной безопасности и их своевременного обновления (статья 20 Закона Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХІІ «О пожарной безопасности»).

Обучение работников мерам пожарной безопасности включает:

1. Противопожарный инструктаж – ознакомление с мерами по обеспечению пожарной безопасности, безопасными методами и приемами работы. Противопожарные инструктажи подразделяются на:

- вводный (пункты 4–7, 12, 13 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»);

- первичный на рабочем месте (пункты 4–6, 8, 12, 13 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»);

- внеплановый;

- целевой (пункты 4–6, 11–13 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»).

О проведении противопожарных инструктажей делаются записи в журнале регистрации противопожарных инструктажей по форме согласно приложению 3 к Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности». Допускается регистрация в журналах регистрации инструктажей по охране труда или личной карточке по охране труда (пункт 12 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»).

2. Пожарно-технический минимум – система знаний, умений и навыков, позволяющая работнику обеспечивать пожарную безопасность. Обязателен для конкретного перечня работников, установленного пунктом 15 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности». Проводится не реже 1 раза в 3 года (пункт 16 Инструкции о порядке подготовки работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»). Подготовка завершается проверкой знаний комиссией, по результатам которой выдается талон о прохождении подготовки (пункт 19 Инструкции о порядке подготовки

работников по вопросам пожарной безопасности и проверки их знаний в данной сфере, утвержденной постановлением МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82 «Об обеспечении пожарной безопасности»).

Для выполнения требований законодательства организация несет расходы на установку пожарной сигнализации, приобретение и поддержание в исправном состоянии пожарного оборудования и инвентаря, приобретение знаков пожарной безопасности и стендов, а также на обучение работников.

Бухгалтерский учет расходов на пожарную безопасность:

– обслуживание пожарной сигнализации: расходы учитываются в составе расходов в том периоде, в котором они произведены, по дебету счетов учета затрат (часть 2 пункта 32 Инструкции по бухгалтерскому учету доходов и расходов, утвержденной постановлением Минфина Республики Беларусь от 30.09.2011 № 102);

– приобретение огнетушителей и иного пожарного инвентаря: учитываются в составе запасов или основных средств в зависимости от срока использования и учетной политики организации (абзац 2 подпункта 2.1 пункта 2 Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Запасы», утвержденного постановлением Минфина Республики Беларусь от 28.12.2022 № 64);

– поддержание исправности огнетушителей и иного пожарного инвентаря: расходы на техобслуживание, ремонт и перезарядку огнетушителей учитываются по дебету счетов учета затрат (пункт 14 Инструкции по бухгалтерскому учету доходов и расходов, утвержденной постановлением Минфина Республики Беларусь от 30.09.2011 № 102);

– приобретение знаков пожарной безопасности: учитываются в бухгалтерском учете в составе запасов по дебету счета 10. Списание стоимости производится в корреспонденции со счетами учета затрат (часть 3 пункта 3, часть 1 пункта 16, часть 1 пункта 23, часть 1 пункта 26, часть 1 пункта 27, часть 1 пункта 28, часть 1 пункта 30, часть 1 пункта 35 Инструкции о порядке применения типового плана счетов бухгалтерского учета, утвержденной постановлением Минфина Республики Беларусь от 29.06.2011 № 50);

– подготовка по программе пожарно-технического минимума: расходы учитываются по дебету счетов учета затрат (часть 1 пункта 23, часть 1 пункта 26, часть 1 пункта 27, часть 1 пункта 28, часть 1 пункта 30, часть 1 пункта 35, часть 1 пункта 47 Инструкции о порядке применения типового плана счетов бухгалтерского учета, утвержденной постановлением Минфина Республики Беларусь от 29.06.2011 № 50).

## Литература

1. Закон Республики Беларусь от 15.06.1993 № 2403-ХП «О пожарной безопасности» (в ред. Закона от 16.10.2025 г. № 99-З), Принят Палатой представителей 3.05.1996 г., одобрен Верховным Советом Республики Беларусь 15 июня 1993 г., Минск – 18 с.
2. О развитии предпринимательства // Декрет Президента Республики Беларусь от 23.11.2017 № 7, Минск – 59 с.
3. Правило об обеспечении пожарной безопасности // Постановление МЧС Республики Беларусь от 21.12.2021 № 82, Минск – 75 с.
4. Инструкция по бухгалтерскому учету доходов и расходов // Постановление Министерства финансов Республики Беларусь от 30.09.2011 №102, Минск – 10 с.
5. Национальный стандарт бухгалтерского учета и отчетности // Постановление Минфина Республики Беларусь от 28.12.2022 № 64, Минск – 29 с.
6. Инструкции о порядке применения типового плана счетов бухгалтерского учета // Постановление Минфина Республики Беларусь от 29.06.2011 № 50, Минск – 80 с.

УДК 628.1, 628.2/3

### **Новые подходы в строительстве в сфере водоснабжения и водоотведения: инновации в стандартизации и нормативной базе Республики Беларусь (2024–2026 гг.)**

Зерская Е.А., Шевчук А.Г.  
Научный руководитель Русак Т.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье выполнен анализ обновленной нормативной базы Республики Беларусь в сфере водоснабжения и водоотведения за 2024–2026 гг. Рассмотрены ключевые изменения в системе технического нормирования: переход от устаревших ТКП к новой системе СН и СП, принятие Закона «О питьевом водоснабжении и водоотведении» (2026), внедрение гармонизированных с европейскими стандартов на полимерные материалы, а также экономические механизмы снижения потерь воды. Обновлена система регулирования безопасности строительных материалов. Показано, что новые подходы направлены на цифровизацию, ресурсосбережение и повышение надежности систем. Дополнительно рассмотрены стандарты информационного моделирования (BIM),*

Новые подходы к водоснабжению и водоотведению в строительстве Республики Беларусь в условиях цифровизации ориентированы на модернизацию инфраструктуры, использование энергоэффективных технологий, автоматизацию процессов и повышение качества питьевой воды. Основной акцент делается на применении современных материалов и оборудования для обеспечения надежности и долговечности систем.

Ключевым событием в этой сфере стало принятие Закона Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении и водоотведении» (далее – Закон), который впервые комплексно регулирует вопросы централизованного и нецентрализованного водоснабжения и канализации [1]. Он заменил устаревший закон 1999 года, ужесточив контроль качества воды от источника до потребителя. Данный документ впервые законодательно объединяет вопросы водоснабжения и водоотведения, что позволяет формировать единую политику управления водным хозяйством страны.

Закон вводит следующие инновации:

- государственный реестр систем питьевого водоснабжения и водоотведения — цифровой ресурс, содержащий данные о сооружениях, их характеристиках и объемах сброса сточных вод;
- обязательность внедрения ресурсосберегающих технологий и повышения надежности систем, что напрямую влияет на выбор материалов и схем при проектировании новых объектов;
- легализацию бурения временных скважин для обеспечения водой при авариях и чрезвычайных ситуациях;
- принципы тарифообразования, стимулирующие снижение потерь воды и повышение энергоэффективности систем.

Кроме того, Закон предусматривает строгие меры для обеспечения бесперебойности подачи питьевой воды. В случае аварийного прекращения или ограничения подачи воды Законом предусмотрена возможность бурения временных скважин для обеспечения потребителей водой предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства (далее - ВКХ) или организациями жилищно-коммунального хозяйства (далее - ЖКХ) для оперативного восстановления водоснабжения всего за 2 месяца, вместо прежних 6 месяцев.

В соответствии с принятым Законом, все системы водоснабжения и водоотведения будут проходить обязательную ежегодную инвентаризацию.

В целом принятый Закон регулирует все наиболее важные направления в сфере водоснабжения и водоотведения – от оказания самих услуг водоснабжения, водоотведения (канализации), услуг по транспортировке

сточных вод ассенизационным транспортом, охраны и использования источников питьевого водоснабжения, обеспечения питьевой водой при чрезвычайных ситуациях, приема сточных вод в централизованные системы водоотведения (канализации) до безопасности питьевой воды централизованных и нецентрализованных систем питьевого водоснабжения [1].

Претерпел кардинальное обновление и строительный блок технических нормативных правовых актов (далее - ТНПА). Устаревшие технические кодексы (ТКП) заменены на строительные правила (СП).

В период с 2024 года введены в действие новые строительные правила (СП):

- СП 4.01.06-2024 «Монтаж наружных сетей и сооружений водоснабжения и канализации»;
- СП 4.01.07-2024 «Наружные сети и сооружения. Контроль качества работ»;
- СП 4.01.08-2024 «Системы внутреннего водоснабжения и канализации. Контроль качества работ»;
- СП 4.01.09-2025 «Сооружения водоподготовки»;
- СП 4.01.10-2025 «Очистные сооружения сточных вод»;
- СП 4.01.11-2025 «Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий».

Особое значение имеет введение СП 4.01.11-2025, которые задают новые подходы к проектированию разводки внутри зданий, требования к шумоизоляции и использованию пластиковых труб.

Важным нововведением стало внедрение принципов наилучших доступных технических методов (НДТМ) в сфере ВКХ. С 1 марта 2026 года применяется ТКП 17.06-18-2025 «Наилучшие доступные технические методы очистки сточных вод», который закрепляет необходимость применения при проектировании очистных сооружений сточных вод населенных пунктов самые современные стандарты, сопоставимые с европейскими.

Новые подходы в строительстве тесно связаны с экономикой эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения. Постановлением Министерства ЖКХ №18 от 8 сентября 2025 года установлен жесткий норматив: потери и неучтенные расходы воды в сетях не должны превышать 12% [5]. Это стимулирует:

- применение безаварийных сетей и методов санации (бестраншейного ремонта) старых трубопроводов;
- внедрение автоматических систем контроля протечек (аналог российского ГОСТ Р 72535–2026);

– использование современных полимерных труб с высокими эксплуатационными характеристиками.

Кроме того, утверждены лимиты накладных расходов на водоснабжение и водоотведение (0,26 и 0,20 руб./м<sup>3</sup> соответственно), что требует оптимизации затрат еще на стадии проектирования.

Нормативная база теперь официально поощряет использование новых технологий, ранее считавшихся нестандартными. Анализ действующих ТНПА показывает, что в Беларуси сформирована комплексная система стандартов на современные материалы:

- полимерные трубы и соединительные детали (СТБ 2244–2012, СТБ EN 13476–3–2012, ГОСТ 32415–2013);
- композитные санитарно-технические изделия (СТБ 1227–2000);
- европейские методы испытаний (СТБ EN 805–2009, СТБ EN 1295–1–2009).

Введение СП 4.01.11–2025 снимает барьеры для применения многослойных и композитных труб, которые пришли на смену чугуну и стали во внутренних сетях. Активно развивается нормативная база для бестраншейной санации (восстановления) трубопроводов без вскрытия грунта, что критически важно для городского строительства.

Кроме того, в 2025–2026 гг. актуализированы стандарты на радиационный контроль железобетонных конструкций и системы дистанционного контроля протечки, что позволяет строить более безопасные и «умные» системы водоснабжения.

В 2025–2026 годах в Республике Беларусь начала действовать обновленная система регулирования безопасности строительных материалов. Новый технический регламент Республики Беларусь ТР 2025/013/ВУ «О безопасности строительных материалов и изделий», который устанавливает жесткие обязательные требования к качеству, ресурсосбережению, гигиенической и механической безопасности элементов инженерных сетей [6].

Регламент распространяется на трубы, фасонные детали, запорную арматуру, резервуары и другие изделия, выпускаемые в обращение на территории РБ для строительства систем водоснабжения и водоотведения. Материалы должны гарантировать, что питьевая вода не меняет свои качества (безопасность для здоровья), а системы водоотведения обеспечивают герметичность и устойчивость к коррозии [6].

Строительные изделия, влияющие на безопасность, подлежат обязательной сертификации или декларированию соответствия (схема зависит от конкретного вида продукции, определенного перечнем к регламенту).

Если на продукцию нет взаимосвязанных государственных стандартов (ГОСТ), то безопасность материалов (например, новых видов полимерных труб) оценивается через процедуру технической оценки пригодности.

В целях максимального использования информационных технологий во всех процессах взаимодействия государственных органов, доступности для субъектов хозяйствования текстов нормативных правовых актов, в том числе текстов обязательных для соблюдения ТНПА, регулирующих порядок и условия осуществления экономической деятельности, отраслевой организацией Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь по стандартизации в области технического нормирования и стандартизации РУП «Стройтехнорм» разработан и внедрен online-доступ к информационно – поисковой системе ИПС «СтройДОКУМЕНТ» (далее - ИПС «СтройДОК online») [7]. Система предоставляет онлайн-доступ к действующим стандартам, техническим кодексам и документам Минстройархитектуры 24/7 с любого устройства.

В Республике Беларусь активно развивается внедрение стандартов информационного моделирования (BIM/ТИМ), ориентируясь на повышение качества проектирования, сокращение ошибок и оптимизацию строительства.

Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) представляет собой один из ключевых трендов цифровой трансформации строительной отрасли. Применительно к сетям водоснабжения и водоотведения BIM-технологии обеспечивают создание интегрированной информационной модели, объединяющей геометрические, физические и эксплуатационные характеристики объекта на всех этапах жизненного цикла [2,4].

Как отмечают А. Б. Невзорова и Н. С. Савков [2], применение BIM-технологий при реализации строительного проекта по инженерным сетям водоснабжения и канализации требует четкого определения ролей участников процесса проектирования. Авторами разработаны карты базовых процессов, включающие:

- разработку моделей;
- проверку и оценку технических решений;
- пространственную междисциплинарную координацию и выявление коллизий (3D-координацию).

Преимущества внедрения BIM-технологий для объектов водоснабжения и водоотведения включают:

- сокращение числа ошибок и коллизий на этапе проектирования;
- возможность автоматизированной проверки соответствия нормативным требованиям;
- создание цифрового двойника для последующей эксплуатации;

– снижение затрат на внесение изменений в проект [2,4].

Если BIM-технологии фокусируются на этапе проектирования, то цифровые платформы управления охватывают эксплуатационную фазу жизненного цикла объектов водоснабжения и водоотведения. Исследование И.В. Войтова и соавторов [3] обосновывает актуальность использования цифровых решений при строительстве, модернизации и реконструкции объектов ВКХ в Республике Беларусь.

Планируемые результаты функционирования цифровой платформы включают: соблюдение нормативов государственных социальных стандартов по обслуживанию населения в области ВКХ, обеспечение экологической безопасности, повышение экономичности функционирования на различных этапах жизненных циклов объектов водоснабжения и водоотведения [3].

В Республике Беларусь основной серией стандартов, регулирующих процессы управления информацией с использованием BIM (информационного моделирования) на всех этапах жизненного цикла, является ГОСТ ISO 19650 (аналог международных стандартов ISO 19650), внедряемый в рамках Национального комплекса технических нормативных правовых актов.

Для обеспечения совместимости программных приложений (формат IFC) при информационном моделировании разработан и внедрен стандарт СТБ 2599–2021 «Информационное моделирование зданий», который предоставляет цифровую технологию для описания и отображения информации, необходимой для планирования, проектирования, строительства и эксплуатации построенных объектов.

Функциональное моделирование все больше развивается, охватывая все аспекты построенной среды, включая гражданскую инфраструктуру, коммунальные услуги и общественное пространство. Все вместе они называются процессами строительства. Такой метод управления информацией объединяет разные наборы информации, используемые в течение жизненного цикла построенной среды, в единую информационную среду, сокращая и часто устраняя необходимость в различных типах бумажной документации, используемой в настоящее время.

И, хотя строгих обязательных требований на законодательном уровне для всех проектов пока нет, Минстройархитектуры стимулирует переход через пилотные проекты. На 2026 год запланировано масштабное внедрение новых государственных стандартов, направленных на автоматизацию проектирования. Для улучшения качества проектирования рекомендуется внедрять стандарты серии ISO 19650/СТБ, регламентирующие работу в общей среде данных, а также создавать ВЕР (BIM Execution Plan – План реализации BIM-проекта) для каждого проекта.

## Литература

1. О питьевом водоснабжении и водоотведении: Закон Республики Беларусь, 12 марта 2026 г., № 131-З // Эталон – Беларусь / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2026.
2. Невзорова, А.Б. Методология разработки интегрированного информационно-строительного проекта с использованием BIM-технологий / А. Б. Невзорова, Н.С. Савков // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 1 (133). – С. 85–94.
3. Войтов, И.В. Оценка степени автоматизации и внедрения цифровых платформ управления системам водоотведения / И. В. Войтов, В. Н. Штепа, В. В. Смелов, Д.С. Карпович // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – 2024. – № 2 (284). – С. 43–52.
4. Усс, Н.В. Информационные технологии в градостроительстве / Н. В. Усс, Н.И. Кулаков, А.Ю. Лисовец, О.А. Акулова // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения: сборник научных статей. – Брест: БрГТУ, 2024. – С. 170–174.
5. О нормативах потерь воды: постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, 8 сент. 2025 г., № 18 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2025. – № 112. – 8/39872.
6. ТР 2025/013/ВУ «О безопасности строительных материалов и изделий» – Введ. 03.03.2025. – Минск: Госстандарт, 2025. – 11 с.
7. ИПС «СтройДОК Online» – официальный информационный ресурс Минстройархитектуры Республики Беларусь [Электронный ресурс]. / Научная библиотека БНТУ – Режим доступа: <https://library.bntu.by/bazy-dannyh/ips-strojdok-online/> – Дата доступа: 13.04.2026.

УДК 69:003:628.1

### **Формирование стоимости на проектные работы по объектам водоснабжения**

Зорин Е.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель Корбан Л.К<sup>2</sup>., доцент

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Филиал БНТУ "Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров", Минск, Республика Беларусь

*В статье приведены методологические основы формирования стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности по объектам водоснабжения.*

С 1 июля 2014 года стоимость разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности (далее – ДПОСД) определяется ресурсным методом согласно Приказу Министерства архитектуры и строительства (далее – МАиС) от 13.06.2014 № 169 «О совершенствовании порядка определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности» (Приказ МАиС № 169) [1].

Методологической основой нового порядка определения стоимости проектных работ являются Методические указания о порядке определения стоимости разработки ДПОСД ресурсным методом (далее – МУ-2014) [2] и 29 Сборников норм затрат трудовых ресурсов (далее – Сборник НЗТР) [3][4] для объектов различного назначения. Данные документы применяют все субъекты, участвующие в разработке ДПОСД, в том числе индивидуальные предприниматели, при заключении договоров на выполнение проектных работ (услуг) после 01.07.2014.

Согласно данной методике стоимость разработки ДПОСД определяется в зависимости от норм затрат трудовых ресурсов (далее – НЗТР), представленных в Сборник НЗТР, и стоимости работ (услуг), приходящейся на 1 человеко-день работы исполнителя 14 разряда (далее –  $V_{14p}^{чел-дн}$ ).

МУ-2014 устанавливают порядок определения ресурсным методом суммы средств, предусматриваемых в Главе 10 Сводного сметного расчёта (далее – ССР) стоимости строительства на выполнение проектных работ и (или) иных работ (услуг), т.е. позволяют определить:

1. Максимальную стоимость разработки ДПОСД объекта;

2. Обоснования цены заказа и цены предложения на разработку ДПОСД, в том числе градостроительной документации.

Окончательная стоимость проектных работ устанавливается договором, заключаемым заказчиком и проектной организацией, с учётом выполнения предусмотренных законодательством процедур закупок.

Ресурсные нормы – это усреднённые укрупнённые НЗТР, необходимые для разработки проектной или градостроительной документации в составе и объёме, предусмотренных законодательством.

Укрупнённые НЗТР устанавливают трудоёмкость выполнения основных проектных работ на конкретный объект проектирования и зависят от его характеристик, в том числе значений натурального показателя.

НЗТР в зависимости от ситуации определяются [5]:

1. По Сборникам НЗТР в зависимости от значения натуральных показателей объекта проектирования;

2. В зависимости от сметной стоимости объекта строительства в случаях, когда объект проектирования отсутствует в Сборниках НЗТР на момент выполнения расчётов либо значение натурального показателя меньше половины минимального или больше удвоенного максимального значения, приведённого в Сборниках НЗТР;

3. По индивидуально разработанным в организации НЗТР при выполнении дополнительных и сопутствующих работ при условии отсутствия межотраслевых, отраслевых или местных норм и нормативов.

Для каждого конкретного типа и вида документации на объект проектирования в Сборниках НЗТР указывается [5]:

1. Количество человеко-дней, нужных для её разработки в условиях применения современных технологий выполнения проектных работ;

2. Средний разряд сложности разработки, который характеризует сложность выполняемых работ.

В качестве разряда сложности разработки принято среднее значение тарифных разрядов специалистов проектных организаций согласно Единой тарифной сетке работников Республики Беларусь, принимающих непосредственное участие в разработке документации.

НЗТР учитывают затраты времени, за исключением работ (услуг), связанных с выполнением функций, непосредственно отнесённых законодательством к функциям заказчика, необходимые для [5]:

1. Разработки документации в объёме и составе согласно НПА и ТНПА;

2. Согласования разработанной документации в порядке, установленном законодательством;

3. Выполнения всех работ, предшествующих заключению договора подряда, в их числе: проведение маркетинговых исследований; составление калькуляций; подготовка коммерческих предложений; ознакомление с исходными данными; участие в подготовке проекта договора подряда.

НЗТР учтено выполнение основных проектных работ (услуг) – это проектные работы (услуги) по разработке комплекта разделов проектной документации, выполняемые (оказываемые) разработчиком документации, имеющие для объекта проектирования постоянный характер.

Проектные организации, кроме основных проектных работ (услуг), могут выполнять дополнительные проектные работы (услуги) и сопутствующие работы (услуги).

Дополнительные проектные работы (услуги) – проектные работы (услуги) по разработке комплекта разделов проектной документации, выполняемые (оказываемые) разработчиком документации, имеющие для объекта проектирования переменный (непостоянный) характер.

НЗТР не учитывает трудоёмкость выполнения данных работ (услуг).

Перечень неучтённых дополнительных проектных работ (услуг) приводится в указаниях к таблице (её позиции), разделу и (или) главе, общих указаниях Сборника НЗТР, где есть данная НЗТР, а также в МУ-2014.

Сопутствующие работы (услуги) – работы (услуги), выполняемые (оказываемые) разработчиком проектной документации, не относящиеся к основным и (или) дополнительным проектным работам.

Затраты времени на выполнение дополнительных проектных работ (услуг) и сопутствующих работ (услуг) не учтены НЗТР, приведенными в Сборниках НЗТР, и учитываются дополнительно.

В зависимости от конкретных условий разработки ДПОСД к НЗТР могут быть применены корректирующие коэффициенты, учитывающие влияние определённых усложняющих или упрощающих факторов.

Корректирующие коэффициенты приводятся в МУ-2014, общих указаниях, указаниях главы и (или) раздела, указаниях и (или) примечаниях к конкретной таблице и (или) позиции Сборника НЗТР и применяются только к тем НЗТР, к которым данные коэффициенты относятся.

Значение  $n$ -го корректирующего коэффициента  $K_n$  определяется:

1. Для линейных сооружений (инженерные сети, уличные и дорожные сети, тоннели) – пропорционально протяжённости участка, на котором имеется влияние определённого усложняющего или упрощающего фактора;

2. Для объектов, отличных от линейных сооружений – пропорционально значению натурального показателя объекта проектирования, на котором имеется влияние определённого усложняющего или упрощающего фактора.

Значение общего корректирующего коэффициента  $K^{OP}$  определяется путём суммирования дробных частей всех корректирующих коэффициентов  $K_n$ , учитывающих усложняющие и упрощающие факторы, имеющие место при разработке ДПОСД [5].

Максимальное значение общего корректирующего коэффициента  $K^{OP}$  ограничено для каждого объекта проектирования и не может превышать:

1. Для объектов жилищно-гражданского назначения, общеобразовательных зданий и сооружений – 1,6;

2. Для объектов инженерно-транспортной инфраструктуры СНЗТ 22-2014 – значений, указанных в общих указаниях СНЗТ 22-2014;

3. Для иных объектов, в том числе промышленного назначения – 2,0.

Максимальное значение  $K^{OP}$  при определении трудоёмкости обследовательских работ ограничено следующими значениями [5]:

1. Для объектов жилищно-гражданского назначения – 3,0;

2. Для иных объектов, в том числе промышленного назначения – 2,0.

*Минимальное значение общего корректирующего коэффициента  $K^{OP}$  для каждого объекта проектирования не может быть меньше 0,05.*

Для определения стоимости разработки ДПОСД для объекта строительства необходимо выделить отдельные объекты проектирования с учётом их характеристик, приведённых в таблицах Сборников НЗТР, таким образом, чтобы совокупность выделенных объектов проектирования по своему составу полностью описывала указанный объект строительства.

Стоимость основных и дополнительных проектных работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства рассчитывается путём умножения НЗТР (с учётом применения корректирующих коэффициентов) на стоимость  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$ , и на тарифный коэффициент  $K_{\text{средний разряд}}$  для пересчета стоимости  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$ , в стоимость, приходящуюся на 1 человеко-день работы специалиста среднего тарифного разряда, приведённой для конкретной позиции Сборника НЗТР.

Стоимость  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$  определяется ежегодно на 1 января на основании [5]:

1. Статистических данных об экономическом развитии Беларуси;
2. Результаты деятельности проектных организаций в базовом году;
3. Прогнозных данных на планируемый период.

При строительстве объектов, финансируемых полностью или частично за счёт средств республиканского и (или) местных бюджетов, в том числе государственных целевых бюджетных фондов, а также государственных внебюджетных фондов, внешних государственных займов и внешних займов, привлечённых под гарантии Правительства Беларуси, кредитов банков Беларуси под гарантии Правительства Беларуси и областных, Минского городского исполкомов, а также при строительстве жилых домов (за исключением финансируемых с использованием средств иностранных инвесторов), стоимость  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$ , устанавливается МАиС [5].

При строительстве иных объектов стоимость  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$  устанавливается проектной организацией-разработчиком на основании учетных данных о результатах финансово-хозяйственной деятельности в предыдущем (базовом) году, а также прогнозных данных на планируемый период.

При определении стартовой (предельной) цены и цены предложения на разработку ДПОСД, в т. ч. градостроительной документации, стоимость  $V_{14p}^{\text{чел-дн}}$ , принимаемая в расчёт базовой и общей стоимости работ (услуг), рассчитывается с учётом изменений, вносимых постановлением МАиС от 17.12.2025 № 144 «Об установлении показателя стоимости работ (услуг) в денежном выражении» [6], и разъяснений согласно письму от 02.02.2026 № 04.3-05/1412 «О разъяснении применения норм постановления № 144» [7].

Общая стоимость работ (услуг) на разработку комплекта разделов проектной документации для объекта строительства (в целом по договору) рассчитывается как сумма [5]:

1. Стоимости основных проектных работ (услуг) по каждому объекту проектирования;
2. Стоимости всех дополнительных проектных работ (услуг) по каждому объекту проектирования;
3. Стоимости всех сопутствующих работ (услуг);
4. Ненормируемых расходов организации-разработчика;
5. Стоимости BIM-моделей, разработанных по поручению Заказчика и передаваемых ему;
6. Налогов и сборов, исчисляемых согласно действующему законодательству от выручки реализации, продукции, товаров, работ, услуг.

### Литература

1. О совершенствовании порядка определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности : приказ Министерства архитектуры и строительства от 13.06.2014 № 169 // Информационно-правовая система (ИПС) «ЭТАЛОН-ONLINE» – URL: [https://etalonline.by/document/?regnum=w614p0070&q\\_id=&type=card](https://etalonline.by/document/?regnum=w614p0070&q_id=&type=card) (дата обращения: 20.05.2026);
2. Методические указания о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом // Справочно-информационный ресурс «SNZT.BY» – URL: [https://snzt.by/pir/pir\\_sborniki.php?doc\\_id=2014\\_00](https://snzt.by/pir/pir_sborniki.php?doc_id=2014_00) (дата обращения: 20.05.2026);
3. О сборниках норм затрат трудовых ресурсов // Справочно-информационный ресурс «SNZT.BY» – URL: [https://snzt.by/pir/pir\\_sborniki\\_about.html](https://snzt.by/pir/pir_sborniki_about.html) (дата обращения: 20.05.2026);
4. Сборники НЗТ // Справочно-информационный ресурс «SNZT.BY» – URL: [https://snzt.by/pir/pir\\_sborniki.html](https://snzt.by/pir/pir_sborniki.html) (дата обращения: 20.05.2026);
5. Ресурсный метод определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности // Справочно-информационный ресурс «SNZT.BY» – URL: [https://snzt.by/pir/pir\\_metod\\_ob.html](https://snzt.by/pir/pir_metod_ob.html) (дата обращения: 20.05.2026);
6. Об установлении показателя стоимости работ (услуг) в денежном выражении : постановление Министерства архитектуры и строительства от 17.12.2025 № 144 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22544358> (дата обращения: 20.05.2026);
7. О разъяснении применения норм постановления № 144 : письмо Министерства архитектуры и строительства от 02.02.2026 №04.3-05/1412 // Справочно-информационный ресурс «SNZT.BY» – URL:

УДК 628.1

**Оценка изменения качества питьевой воды г. Минска при переходе на артезианское водоснабжение**

Зорочкина М. С., Хаданович Ж.О.

Научный руководитель Бушуева Е. В., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В январе 2025 года Минск полностью перевёл городское водоснабжение на подачу из артезианских скважин. В статье проанализированы физико-химические и органолептические изменения воды после отказа от поверхностного водозабора, сопоставлены официальные результаты замеров и жалобы населения, исследованы механизмы вторичного загрязнения в распределительных сетях. Выявлено, что высокое качество воды на выходе со станций нивелируется изношенностью городских и внутридомовых труб. Сделан вывод о необходимости замены труб.*

До 2025 года система водоснабжения Минска была комбинированной: около 70% горожан получали артезианскую воду, а жители районов Московского и Фрунзенского воду из поверхностных источников реки Свислочь и водохранилища Крылово. Поверхностная вода требовала интенсивного хлорирования, что вызывало характерный запах. 10 января 2025 года проект, длившийся более 10 лет, был завершён. Было пробурено 87 новых скважин, еще 40 реконструировано, проложено 114 км водоводов, построены и реконструированы две станции обезжелезивания, построена новая насосная станция «Щомыслица», на трех водозаборах («Фелицианово», «Острова», «Вицковщина») реконструированы насосные станции 2-го подъема.

До 2025 года качество воды в западных районах Минска определялось состоянием открытых водоемов. Поверхностные воды подвержены сезонным изменениям состава, органическому загрязнению и влиянию антропогенных факторов. Для приведения их к нормам СанПиН требовалась сложная многоступенчатая очистка, включая обязательное хлорирование для дезинфекции. Это часто приводило к жалобам потребителей на характерный запах и привкус хлора.

Артезианские воды добываются из водоносных слоёв, перекрытых глинами и известняками на глубине до 350 метров. Они мало подвержены

органическому загрязнению и микробиологическим рискам, но более минерализованы.

По информации «Минскводоканала» вода из артезианских источников преимущественно подается потребителям без дополнительной очистки и обработки хлором. Однако, некоторые водоносные горизонты характеризуются повышенным содержанием железа и марганца. Особенно это характерно для водоносных горизонтов, питающих водозаборы №2 «Петровщина», №6 «Острова», №8 «Вицковщина», №9 «Водопой», №10 «Фелицианово». Вода с этих водозаборов поступает на станции обезжелезивания (СОЖ), расположенные на площадках насосных станций, где подвергается аэрации и фильтрованию, что позволяет снизить остаточную концентрацию железа и марганца в воде при подаче потребителям до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>[1].

Я использовала отчёты водоканала, результаты выборочных лабораторных анализов воды в бытовых точках отбора, включая многоквартирные дома в Московском и Фрунзенском районах, опросы и публикации СМИ, а также полевые наблюдения сотрудников службы доставки воды и жителей. Анализ включал сравнение параметров на выходе со станций и в конечных точках, оценку корреляции жёсткости и содержания железа с возрастом труб и типом водопроводного контура. Сравнительная характеристика воды приведена в таблице.

Таблица

Сравнительная характеристика поверхностной и артезианской воды в Минске

Параметр	Поверхностная вода (до января 2025)	Артезианская вода (после перехода)
1	2	3
Источник	р. Свислочь, вдхр. Крылово	Скважины
Обеззараживание	Жидкий хлор	УФ-облучение
Запах	Хлорный, иногда болотный	Отсутствует
Средняя жёсткость ммоль-экв/л	2,5–4,0 (мягкая)	5,0–7,0 (среднежёсткая)
Сезонные колебания состава	Значительные	Отсутствуют
Органические загрязнения	Присутствуют (гумус, антропогенные)	Практически отсутствуют

Продолжение таблицы

1	2	3
Железо общее на выходе со станции, мг/л	0,2–0,3	0,1 (после обезжелезивания)
Железо в кране, мг/л	0,2–0,4	0,3–0,8 (локально)
Микробиологические риски	Высокие	Низкие

В результате выявлено, что главное преимущество перехода — исключение жидкого хлора из процесса подготовки. Теперь для безопасности используются современные методы обеззараживания, включая ультрафиолетовое облучение.

Самый массовый негативный фактор — рост жесткости. Жители микрорайонов Малиновка, Каменная Горка, Сухарево фиксируют быструю накипь в чайниках, ухудшение состояния кожи и волос. Специалисты «Минскводоканала» отмечают, что это естественный минеральный состав, соответствующий физиологической полноценности воды [2]. Средняя жёсткость на выходе со станций соответствует среднежёсткой воде (общая жёсткость 5–7 ммоль/л экв.). В квартирных точках отбора жёсткость варьирует: в новых районах — близка к исходной, в старых микрорайонах отмечено повышение за счёт концентрирования солей в застойных участках и частичной вымывки наслоений. Жители, привыкшие к мягкой речной воде, воспринимают среднежёсткую артезианскую воду как ухудшение. Те, кто ранее пользовался артезианской водой, изменений не заметил.

Несмотря на улучшение качества воды на выходе с водозаборов, конечный потребитель может сталкиваться с проблемами, связанными с состоянием внутридомовых коммуникаций.

Лабораторные пробы показали, что в ряде квартир содержание растворимого и коллоидного железа превышает ранее регистрировавшиеся уровни. Одной из особенностей белорусских подземных вод является повышенная концентрацией ионов кальция и магния, иногда железа и марганца. При движении по старым стальным или чугунным трубам такая вода может:

- взаимодействовать с коррозионными продуктами и вымывать отложения;
- из-за низкого содержания растворённого кислорода и другого химического баланса проявлять коррозионную активность к определённым материалам;

– накапливаться в застойных участках, создавая локальные повышенные концентрации примесей.

Согласно данным «Минскводоканала», вода во всех районах города соответствует действующим санитарным нормам (СанПиН), Качество проверяется по 60 показателям. Ведомственные замеры и жалобы граждан могут расходиться так как водоканал анализирует воду на контролируемых точках: выход со станции, магистральные узлы. Эти точки не отражают состояния внутриквартирных сетей и старых городских коллекторов. Сети имеют участки разного возраста и материала; на отдельных ветках сохраняются отложения, смешивающиеся с новой водой. Химическая агрессивность по отношению к старым отложениям и алюмо-железистым ржавым наслоениям приводит к вторичному загрязнению уже в городе. Это типичная ситуация при смене гидрохимического типа воды: преимущества источника проявляются не везде одновременно, пока сеть не обновлена.

Практические рекомендации для коммунальных служб (Минскводоканал, ЖКХ):

– опубликовать интерактивные карты жёсткости и наличия железа по районам и по времени суток;

– провести приоритизированную проверку и санацию участков сетей с длительным сроком эксплуатации (ремонтных программ не менее чем на 5 лет), начать с внутренних магистралей и распределительных коллекторов в проблемных районах;

– внедрить режим промывок магистральных веток и автоматизированный график промывки стояков многоквартирных домов (особенно после ввода новой подачи);

– организовать бесплатные или субсидированные тест-наборы для населения для оперативной оценки жёсткости и железа в квартире;

– информировать население о характере изменений, безопасных способах приготовления воды и уходе за бытовой техникой.

Для жителей:

– для питья и приготовления пищи: использовать фильтр-кувшин с картриджем, содержащим ионообменные смолы (умягчение) или фильтры обратного осмоса; при отсутствии — кипятить воду (осаждение солей и уничтожение микроорганизмов, если возникнут сомнения);

– для душа и стирки: ставить насадки и фильтры для душа с ионообменными элементами (уменьшают образование налёта и смягчают воду); использовать смягчители при мытье посуды/белья;

– утром не сливать первую порцию воды после ночного простоя (2–3 л) — она может содержать концентрированные примеси; вместо этого слить и использовать последующую воду;

– регулярно менять картриджи и фильтры, особенно при показе потемнения или снижения напора;

– при наличии окрашиваний или посторонних запахов — сообщать в службу ЖКХ с указанием времени и адреса.

Перевод Минска на 100% артезианское водоснабжение повысил санитарную безопасность и устранил запах хлора, значительно улучшив органолептические свойства, но выявил проблему: старые распределительные и внутридомовые трубы нивелируют часть преимуществ нового источника, что проявляется локально повышенной жёсткостью и присутствием коррозионных продуктов. Необходимо сочетание инфраструктурных работ (санация/замена труб, промывки) и информационно-практической поддержки населения (карты жёсткости, рекомендации по фильтрации и использованию воды). Без этих мер благо от нового источника будет распределён неравномерно. Только этот двусторонний подход гарантирует, что преимущества нового источника будут реализованы в полной мере для всех жителей.

### Литература

1. Как столицу переводили на подземные источники: рассказали в «Минскводоканале» [Электронный ресурс] // БЕЛТА. – 2026. – Режим доступа: <https://belta.by/regions/view/kak-stolitsu-perevodili-na-podzemnye-istochniki-rasskazali-v-minskvodokanale-760611-2026/> (дата обращения: 23.05.2026).

2. Качество водопроводной воды в Минске: проблемы и эффективные решения в 2025 году [Электронный ресурс] // Kristallwasser.by. – 2025. – 23 мая. – Режим доступа: <https://kristallwasser.by/2025/05/23/kachestvo-vodoprovodnoj-vody-v-minske-problemy-i-effektivnye-resheniya-v-2025-god/> (дата обращения: 23.05.2026).

3. Официальный сайт УП «Минскводоканал» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minskvodokanal.by> (дата обращения: 23.05.2026).

4. Артезианская вода в Минске: что изменилось для жителей [Электронный ресурс] // Комсомольская правда в Беларуси. – 2026. – Режим доступа: <https://www.belarus.kp.ru/daily/27650.5/5034928/> (дата обращения: 23.05.2026).

5. Санитарные правила и нормы Республики Беларусь. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : СанПиН 10-124 РБ99. – Введ. 1999–07–01. – Минск : Минздрав РБ, 1999. – 67 с.

## Гидроструйные насосы: устройство, принцип действия, применение в народном хозяйстве

Кароньчик А.В.

Научный руководитель Майорчик А.П., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены устройство и принцип действия гидроструйных насосов. Показано, что работа аппарата основана на использовании энергии активной струи, которая создает разрежение и увлекает пассивную среду. Отмечены основные достоинства, недостатки и области применения таких насосов в водоснабжении, коммунальном хозяйстве, сельском хозяйстве и промышленности.*

Гидроструйный насос, или жидкостный эжектор, относится к струйным аппаратам. Его особенность состоит в том, что перенос жидкости выполняется без рабочего колеса, поршня и других движущихся деталей в зоне перекачивания. Основными элементами являются корпус, активное сопло, приемная камера, всасывающий патрубок, камера смешения и диффузор [1; 2].

Рабочая жидкость подается в сопло под давлением и разгоняется до высокой скорости. При выходе из сопла возникает зона пониженного давления, за счет чего в приемную камеру подсасывается пассивная среда: вода, раствор, пульпа, нефтегазовая смесь или воздух. После этого активный и пассивный потоки смешиваются, а в диффузоре часть скорости переходит в напор.

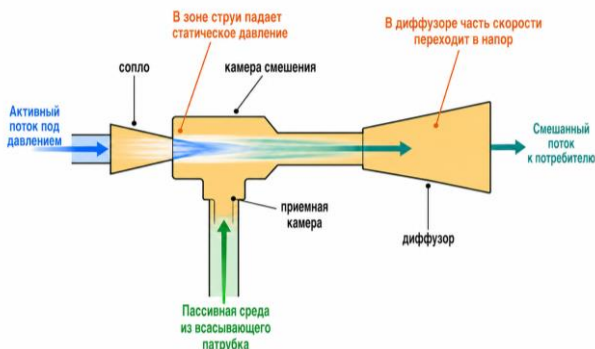


Рис. 1. Схема устройства гидроструйного насоса

Работа насоса основана на передаче количества движения от активного потока пассивному. Для оценки режима часто используют коэффициент эжекции. Он показывает, во сколько раз расход подсосываемой среды отличается от расхода рабочей жидкости:

$$u = Q_n / Q_p, \quad (1)$$

где  $u$  - коэффициент эжекции;  $Q_n$  - расход пассивной среды, м<sup>3</sup>/с;  $Q_p$  - расход рабочей жидкости, м<sup>3</sup>/с.

Чем больше коэффициент эжекции, тем большее количество среды подсосывается насосом. Однако чрезмерное увеличение расхода пассивного потока приводит к снижению выходного давления. Поэтому при проектировании важно согласовать размеры сопла, камеры смешения и диффузора с требуемой подачей и напором [3, с. 8-12].

Скорость рабочей струи приблизительно можно определить через перепад давления на сопле. В инженерных расчетах для предварительной оценки применяют зависимость:

$$V = \varphi \cdot \sqrt{(2 \cdot \Delta p / \rho)}, \quad (2)$$

где  $V$  - скорость истечения рабочей жидкости, м/с;  $\varphi$  - коэффициент скорости сопла;  $\Delta p$  - перепад давления, Па;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (2) видно, что увеличение давления перед соплом повышает скорость активной струи. За счет этого усиливается разрежение во всасывающей зоне и улучшается подсосывание пассивной среды. В то же время рост давления требует дополнительных затрат энергии на подачу рабочей жидкости, поэтому режим работы должен быть экономически обоснован.

Полезный напор на выходе из насоса зависит от степени восстановления давления в диффузоре. Упрощенно это можно выразить через разность полного напора на выходе и входе аппарата:

$$H = (p_2 - p_1) / \rho \cdot g, \quad (3)$$

где  $H$  - создаваемый напор, м;  $p_2$  - давление на выходе, Па;  $p_1$  - давление во всасывающей камере, Па;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Главные достоинства гидроструйных насосов - простая конструкция, отсутствие сложных уплотнений, небольшая чувствительность к загрязнениям и возможность работы с неоднородными средами. Аппарат можно устанавливать в колодце, резервуаре, отстойнике или скважине, где обслуживание обычного механического насоса затруднено. К недостаткам относятся необходимость источника рабочей жидкости под давлением и сравнительно невысокий КПД по сравнению с правильно подобранным центробежным насосом [4; 5].



Рис. 2. Пример применения гидроструйного насоса в хозяйственной системе

В народном хозяйстве такие насосы применяются в системах водоснабжения, орошения, канализации, дренажа, строительства, химической и пищевой промышленности, горного дела и нефтегазовой отрасли. В сельском хозяйстве они могут подавать воду на полив и перемешивать растворы удобрений. В коммунальном хозяйстве их используют для откачивания загрязненной воды, промывки трубопроводов и удаления осадка. В промышленности гидроструйные насосы удобны для дозирования, смешивания и транспортирования пульпы или растворов.

Таким образом, гидроструйный насос не является универсальной заменой всем видам насосного оборудования. Его целесообразно применять там, где важны надежность, простота обслуживания, герметичность рабочей зоны и возможность перекачивания загрязненной среды. При правильном выборе режима аппарат позволяет выполнять одновременно несколько операций: транспортирование, подкачивание, смешение и частичное повышение давления потока.

### Литература

1. ГОСТ 17398-72. Насосы. Термины и определения. - Москва: Изд-во стандартов, 1972.
2. Лямаев, Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б. Ф. Лямаев. - Л.: Машиностроение, 1988. - 256 с.
3. Спиридонов, Е. К. Струйные насосы: учебное пособие по выполнению лабораторных работ / Е. К. Спиридонов, А. Р. Исмаилов. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. - 30 с.
4. Сазонов, Ю. А. Конструирование струйных аппаратов: учебное пособие / Ю. А. Сазонов. - М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. - 69 с.
5. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 352 с.

## Управление инновационными проектами ЖКХ в городской среде

Карпович М.С., Шлапакова А.И.

Научный руководитель Стельмах М.А., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются концептуальные основы и прикладные механизмы реализации инновационных проектов в сфере жилищно-коммунального хозяйства городов Республики Беларусь. На основе анализа ключевых стратегических документов (Стратегия развития ЖКХ до 2035 года, Директива Президента №7) и эмпирических данных о внедрении цифровых решений резидентами Парка высоких технологий выявлены особенности белорусской модели управления инновациями в коммунальной сфере.*

### **Формирование инновационной повестки в белорусском ЖКХ**

Система жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь на протяжении последних пяти лет переживает этап системной технологической модернизации, инициированной на высшем государственном уровне. Ключевыми нормативными документами, задавшими вектор инновационных преобразований, стали Директива Президента Республики Беларусь №7 «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны» (2022 г.) и утвержденная в 2025 году Стратегия развития ЖКХ до 2035 года [1; 2]. В соответствии со Стратегией, приоритетными направлениями определены «техно-технологическая модернизация, финансовая устойчивость сферы ЖКХ, повышение комфортности проживания граждан, цифровая трансформация отрасли ЖКХ» [2, пункт 2].

Значимость проблематики обусловлена тем, что жилищно-коммунальный комплекс Беларуси обслуживает более 9,3 млн граждан, включает свыше 130 тыс. многоквартирных жилых домов и характеризуется высокой степенью износа инженерных сетей на отдельных территориях [1; 3]. В этих условиях управление инновационными проектами становится критическим фактором не только экономической эффективности, но и социальной стабильности городской среды.

Цель настоящего исследования — систематизация подходов к управлению инновационными проектами ЖКХ в городах Беларуси, выявление институциональных особенностей белорусской модели и обоснование рекомендаций по повышению проектной эффективности.

## **Теоретико-методологическая база и контекстный анализ**

Теоретическую основу исследования составляют положения теории проектного менеджмента применительно к инфраструктурным отраслям с высоким уровнем государственного регулирования [4; 5]. В отличие от рыночных экономик, где инновационная активность ЖКХ определяется преимущественно концессионными механизмами и частными инвестициями, белорусская модель характеризуется централизованным стратегическим планированием в сочетании с децентрализованной операционной реализацией на уровне местных исполнительных и распорядительных органов.

Ключевым институциональным нововведением стало создание в 2023 году на базе Центра информационных технологий Мингорисполкома «офиса цифровизации» для Министерства жилищно-коммунального хозяйства [6, с. 5]. Данная структура выполняет функции проектного офиса по внедрению цифровых решений в коммунальную сферу, координируя разработку и сопровождение таких информационных систем, как «115.бел», «ДомУчет», а также единой государственной информационной системы ЖКХ [6, с. 7-8].

Методология исследования основана на кейс-анализе (case-study) ключевых инновационных проектов, реализованных в городах Беларуси в 2022–2026 гг. Источниками данных выступили: официальные документы Министерства ЖКХ, отчеты о реализации Директивы №7 по Московскому району г. Минска, материалы презентаций резидентов Парка высоких технологий, а также публикации в республиканских и региональных СМИ [1; 3; 7; 8; 9; 10].

### **Эмпирическая картина: ключевые инновационные проекты в ЖКХ Беларуси**

Анализ практик позволил выделить три группы инновационных проектов, реализуемых в белорусских городах: цифровые платформы взаимодействия с населением, автоматизированные системы учета ресурсов и интеллектуальные системы мониторинга городской инфраструктуры.

#### **– цифровые платформы как инструмент проектного управления коммуникациями;**

Наиболее масштабным проектом в сфере цифровизации взаимодействия «население — поставщик услуг» является единая диспетчерская служба «115.бел». Созданная силами Центра информационных технологий Мингорисполкома, платформа объединяет телефонную линию, веб-портал и мобильное приложение. Только за первые месяцы 2025 года операторами службы принято более 450 тыс. телефонных звонков и свыше 50 тыс. заявок через цифровые каналы [6, с. 8]. Проектное управление данной платформой строится по принципу единого окна: все заявки от граждан аккумулируются

в централизованной системе, автоматически маршрутизируются по компетенциям исполнителей и отслеживаются на всех этапах обработки.

В рамках реализации Директивы №7 активно развиваются также локальные каналы обратной связи. Так, в Московском районе г. Минска созданы специализированные чаты для оперативного информирования жителей о субботниках, аварийных ситуациях и плановых работах, что позволяет сократить время реакции на инциденты [3, с. 4].

**– автоматизация учета ресурсов: проекты резидентов Парка высоких технологий;**

Значительный вклад в инновационное развитие ЖКХ вносят резиденты Парка высоких технологий. Компания «СофтКлуб» разработала автоматизированную информационную систему «Расчет-ЖКУ», обеспечивающую единый учет, расчет и начисление платы за коммунальные услуги. Система позволяет гражданам оплачивать все услуги одним платежом, а органам государственного управления — осуществлять мониторинг деятельности отрасли в реальном времени [7, с. 8].

Особого внимания заслуживают проекты в сфере «умного» учета энергоресурсов. Резидент ПВТ «Юник Лаб» разработал и внедряет «умные» приборы учета воды, газа и электроэнергии с возможностью удаленного съема показаний. Данные передаются в ресурсоснабжающие организации по собственной беспроводной технологии шифрования, что позволяет белорусским организациям не зависеть от зарубежных поставщиков аналогичных решений [7, с. 10-11]. Установка таких приборов на объектах ЖКХ г. Минска, Бреста, Гродно и других городов представляет собой масштабный инфраструктурный проект с горизонтом планирования до 7-10 лет.

**– интеллектуальные системы мониторинга: от видеоконтроля до искусственного интеллекта;**

В 2025 году в Минске анонсирован пилотный проект «Умный квартал», реализуемый РУП «Белтелеком». Проект предусматривает оснащение дворовых территорий системой видеоконтроля с машинным зрением и элементами искусственного интеллекта, что позволяет автоматически выявлять нарушения в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами, контролировать уборку территорий и состояние детских игровых площадок [8, с. 3]. На обслуживании организаций ЖКХ Минска находится более 6 тыс. жилых домов, и уже установлено свыше 2 тыс. камер видеонаблюдения на жилых домах [8, с. 4]. Проектное управление данным направлением предполагает поэтапное масштабирование: от пилотных кварталов до общегородского охвата.

Перспективным направлением является также внедрение систем компьютерного зрения для мониторинга сточных вод, разработанных

резидентом ПВТ «Айфортекс». Технология позволяет автоматически фиксировать несанкционированный сброс отходов в канализационные и ливневые системы, а также оптимизировать расход химических реагентов при очистке сточных резервуаров [7, с. 12-13].

### **Институциональная модель управления инновационными проектами**

На основе проведенного анализа может быть предложена трехуровневая модель управления инновационными проектами ЖКХ, сложившаяся в Республике Беларусь.

– **стратегический уровень (республиканский)** представлен Министерством жилищно-коммунального хозяйства, которое в рамках Стратегии-2035 и Директивы №7 определяет приоритетные направления инновационного развития, утверждает дорожные карты и выделяет бюджетное финансирование на капитальный ремонт и модернизацию [2; 1]. Ключевым количественным ориентиром на 2026-2030 гг. является ежегодный ввод не менее 2,8 млн кв. м общей площади жилых домов после капитального ремонта, замена порядка 5 тыс. лифтов до 2035 года, а также достижение уровня использования твердых коммунальных отходов 90% к концу 2035 года [2, пункты 5-6];

– **координационный уровень** представлен Центром информационных технологий Мингорисполкома, выполняющим функции «офиса цифровизации» и проектного офиса для разработки и сопровождения государственных информационных систем ЖКХ [6, с. 5]. Центр обеспечивает разработку, внедрение и техническую поддержку таких систем, как «ДомУчет» (автоматизированная информационная система учета эксплуатационных затрат по жилому дому), «Диспетчерская служба» (платформа для приема и обработки заявок), а также геоинформационные системы для благоустройства городов [6, с. 7];

– **муниципальный уровень** представлен городскими исполнительными комитетами и организациями ЖКХ (КУП «ЖКХ», РСЦ), которые выступают заказчиками инновационных решений и обеспечивают их эксплуатацию. На этом уровне формируются конкретные проектные задания: например, план капитального ремонта жилфонда Московского района г. Минска на 2025 год предусматривал выполнение 80 тыс. кв. м при плане 62 тыс. кв. м (перевыполнение почти на 30%), замену 58 лифтов и благоустройство дворовых территорий с установкой 286 единиц детского игрового оборудования [3, с. 5-7].

### **Идентификация проектных рисков и барьеров**

Анализ практики реализации инновационных проектов в белорусском ЖКХ позволяет выделить несколько категорий системных рисков, требующих учета в проектном управлении:

– **регуляторные и правовые барьеры.** Внедрение систем видеоконтроля с искусственным интеллектом на дворовых территориях сопряжено с необходимостью соблюдения законодательства о персональных данных и видеонаблюдении. Как отмечается при обсуждении проекта «Умный квартал», требуется четкое нормативное закрепление статуса записей с камер, порядка их хранения и доступа [8, с. 5];

– **технические и инфраструктурные риски.** При внедрении «умных» счетчиков с удаленной передачей данных критически важным является обеспечение кибербезопасности каналов связи. Белорусские разработчики создали собственную технологию шифрования, однако в масштабах города с тысячами приборов учета риск компрометации сети сохраняется [7, с. 11];

– **риски масштабирования пилотных проектов.** Проект «Умный город», апробируемый в 17 городах Беларуси и охватывающий 5,5 млн жителей, демонстрирует проблему неравномерности внедрения [9; 10]. В то время как Брест продвинулся в создании единого информационного центра, аккумулирующего данные по ЖКХ, транспорту, образованию и здравоохранению [9, с. 2-3], другие города находятся на начальных этапах сбора и верификации информации;

– **кадровые риски.** Цифровая трансформация ЖКХ требует от персонала организаций (диспетчерских служб, РСЦ, эксплуатационных участков) новых компетенций — работы с цифровыми платформами, аналитики данных, базовых навыков кибербезопасности. Как показывает опыт, инерционность кадрового состава является значительным тормозом проектной реализации.

### **Обсуждение: специфика белорусской модели и направления развития**

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о формировании в Республике Беларусь **государственно-координируемой модели управления инновационными проектами ЖКХ.** Ее отличительными чертами выступают: централизованное стратегическое планирование (через Директиву №7 и Стратегию-2035), активное использование потенциала Парка высоких технологий как источника технологических решений, а также наличие специализированного «офиса цифровизации» (Центр информационных технологий), обеспечивающего проектную координацию.

В отличие от российской практики, где акцент сделан на концессионных механизмах и частно-государственном партнерстве [11; 12], белорусская модель опирается преимущественно на государственное финансирование и прямое подчинение организаций ЖКХ местным исполнительным комитетам. Это снижает риски «конфликта интересов» между коммерческими концессионерами и муниципалитетами, но одновременно создает вызовы для привлечения внебюджетных инвестиций в инновации.

Управление инновационными проектами в жилищно-коммунальном хозяйстве городов Республики Беларусь представляет собой динамично развивающуюся область, сочетающую элементы централизованного стратегического планирования и децентрализованной проектной реализации на местном уровне. Ключевыми драйверами инновационного развития выступают: политическая воля, закреплённая в Директиве Президента №7 и Стратегии-2035; технологические возможности резидентов Парка высоких технологий; а также институциональная инфраструктура в лице Центра информационных технологий Мингорисполкома, выполняющего функции отраслевого проектного офиса.

### Литература

1. Директива Президента Республики Беларусь №7 «О совершенствовании и развитии жилищно-коммунального хозяйства страны» (2022 г.). — Минск: Национальный центр правовой информации Республики Беларусь, 2022.
2. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь. Стратегия развития жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь до 2035 года (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 июля 2025 г. № 528). — Минск, 2025. — 45 с.
3. Администрация Московского района г. Минска. Жилищно-коммунальный вектор развития: реализация Директивы №7. Итоги 2025 года / Отчет на заседании администрации Московского района. — Минск, 2026. — 12 с.
4. Turner J.R. The Handbook of Project-Based Management: Leading Strategic Change in Organizations. — 5th ed. — New York: McGraw-Hill, 2020. — 576 p. (ISBN 978-0071832762)
5. Грабовый П.Г., Харитонов В.А. Инжиниринг и реинжиниринг систем городского хозяйства: управление проектами модернизации. — М.: Издательство АСВ, 2021. — 312 с. (ISBN 978-5-4323-0354-7)
6. Центр информационных технологий Мингорисполкома. 25 лет цифровой трансформации: от автоматизации расчетов до «Умного города» / Пресс-релиз к юбилею предприятия. — Минск, 2025. — 10 с.
7. Беларусь сегодня. Цифровой комфорт: разработки резидентов Парка высоких технологий для сферы ЖКХ // СБ. Беларусь сегодня. — 2025. — 7 августа. — С. 8-13.
8. News.by. Видеонаблюдение во дворах и «Умный квартал»: в Минске повысят качество выполнения услуг ЖКХ // Новостной портал News.by. — 2025. — 28 августа. — URL: <https://news.by> (дата обращения: 20.04.2026).

9. Вечерний Брест. Сфера ЖКХ, транспорт, образование и здравоохранение в Бресте теперь под контролем цифровой платформы «Умный город» // Вечерний Брест. — 2025. — 29 августа. — С. 1-3.

10. Могилевский областной исполнительный комитет. Цифровая платформа «Умный город (регион)»: ядро проекта. — Могилев, 2025. — 8 с.

11. Клейменова Е.С. Инновационные преобразования в жилищно-коммунальном хозяйстве: институциональные ограничения и стимулы // Вестник университета (Государственный университет управления). — 2022. — № 6. — С. 75–84. (DOI: 10.26425/1816-4277-2022-6-75-84)

12. Стародубцева Н.С. Концессионные механизмы модернизации коммунальной инфраструктуры: эмпирический анализ региональной практики // Журнал Новой экономической ассоциации. — 2023. — № 4 (60). — С. 112–132. (DOI: 10.31737/2221-2264-2023-60-4-5)

УДК 556.388

### **Восстановление и защита истощённых подземных источников**

Кичёва Д.Н., Астаськов И.Д.

Научный руководитель Грузинова В.А., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены современные методы искусственного восполнения запасов подземных вод применительно к условиям Республики Беларусь. На основе данных государственного мониторинга проанализированы масштабы истощения: депрессионные воронки в Минске и Припятском бассейне. Описаны инфильтрационные бассейны, нагнетание в скважины и метод внутрислоевого очищения от железа и марганца. Показана необходимость комплекса защитных мероприятий.*

Интенсивный водоотбор из артезианских и грунтовых горизонтов на территории Республики Беларусь привёл к формированию региональных и локальных депрессионных воронок, снижению пьезометрических уровней и ухудшению качества воды (повышение минерализации, появление железа и марганца) [2]. В этих условиях пассивных методов охраны (зоны санитарной охраны) становится недостаточно. Актуальной задачей является внедрение активных методов восстановления – искусственного восполнения запасов подземных вод (ИВЗ) [3].

Мониторинг подземных вод в Республике Беларусь осуществляется на 101 гидрогеологическом посту по 355 скважинам [1]. Контролируются

уровни, температура и химический состав. Данные аккумулируются в Государственном водном кадастре [1]. Результаты мониторинга показывают: в районе Минска пьезометрическая депрессия достигает 20...30 м; на водозаборах «Лучезевичи» и «Микашевичи» (Припятский бассейн) сформировалась воронка размерами 40×70 км с риском солевого вторжения [4]. Отмечается устойчивая тенденция снижения уровней как грунтовых, так и напорных вод под влиянием климатических факторов и антропогенной нагрузки [2]. Выявленные депрессии создают предпосылки для применения методов искусственного восполнения.

В Республике Беларусь используются два основных метода ИВЗ [3]. Работа инфильтрационных бассейнов и полей основана на подаче очищенных поверхностных вод (речных, ливневых, озёрных) в открытые бассейны, каналы или траншеи с последующей естественной фильтрацией в верхние водоносные горизонты [2]. Гидрогеологические требования: коэффициент фильтрации пород  $\geq 10...20$  м/сут; мощность зоны аэрации  $\geq 10$  м; литология – пески, гравий [3]. Примером в Республике Беларусь является система на заводе «БелГипс» (ёмкость 1600 м<sup>3</sup>), где дождевые сточные воды очищаются в отстойнике и нефтеловушке перед инфильтрацией в грунт. Недостатки метода: неприменим для глубоких артезианских горизонтов; риск вторичного загрязнения (железо, марганец, эвтрофикация) при недостаточной предварительной очистке; низкая скорость процесса (см/сутки); резкое снижение эффективности в засушливые периоды и на глинистых почвах [3].

Нагнетание в скважины заключается в принудительной закачке очищенной воды через нагнетательные скважины непосредственно в артезианские напорные горизонты [2]. Радиус подпитки достигает нескольких километров [3]. Параметры в белорусских условиях: напор закачки – 1...134 м; дебит – до 4,3 л/с [4]. Метод тестируется для Припятского бассейна и Минской агломерации. Перед закачкой обязательна фильтрация воды для предотвращения кольматации пласта [3]. Проблема кольматации при нагнетании в белорусских условиях является недооценённой. Дело в том, что подземные воды многих горизонтов (например, поповского и серпуховского ярусов в Припятском прогибе) изначально содержат повышенные концентрации железа (до 3...5 мг/л) и марганца (до 0,5...1 мг/л) [4]. При закачке даже очищенной воды, но с другим рН или окислительно-восстановительным потенциалом, может запуститься цепь геохимических реакций в прискважинной зоне [2]. Результат – быстрое (за 1...2 года) падение приёмности скважины на 30...50%, что требует дорогостоящих регенераций. Таким образом, для широкого внедрения нагнетания в Беларуси необходимы не только

технологические, но и тщательные геохимические исследования совместимости закачиваемой и пластовой воды [2; 3].

На рисунке представлена принципиальная схема формирования депрессионной воронки при интенсивном водоотборе и зона возможного применения нагнетательных скважин для ИВЗ.

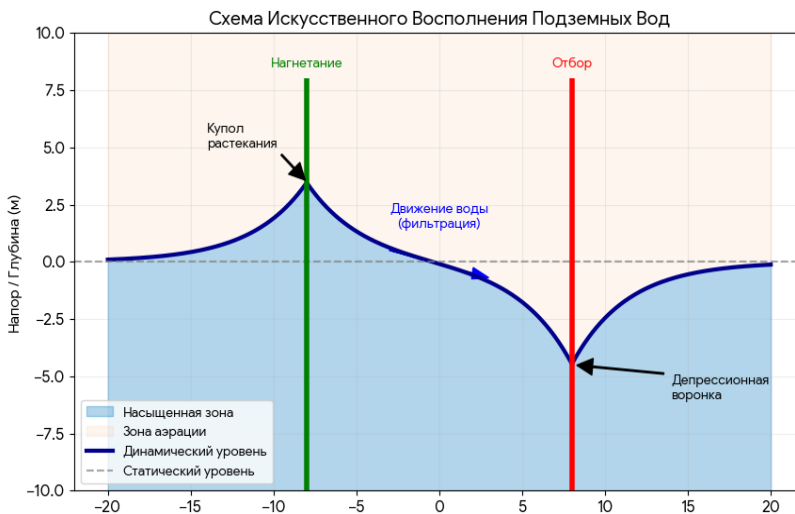


Рис. Схема формирования депрессионной воронки и размещения нагнетательной скважины при искусственном восполнении запасов подземных вод

В настоящее время в Республике Беларусь не применяется, однако заслуживает внимания метод внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца [5]. Он особенно перспективен для горизонтов с высоким содержанием железа и марганца на фоне низкого  $pH$  и повышенной концентрации растворённой  $CO_2$  [5]. Физико-химическая сущность метода: в пласт через скважину вводят реагенты-окислители (перманганат калия, гипохлорит натрия) и подщелачивающие агенты. Ионы  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  окисляются до нерастворимых  $Fe(OH)_3$  и  $MnO_2$ , которые осаждаются в породе. Очищенная вода поступает в скважину [5]. Преимущества: отсутствие наземных сооружений водоподготовки; совмещение восполнения запасов с очисткой воды; экономическая эффективность при высоких фоновых концентрациях железа и марганца [5]. Метод успешно реализован на Тунгусском и Амурском водозаборах (Российская Федерация) с подтверждённой эффективностью по данным геохимического моделирования [5].

Восстановление истощённых источников невозможно без системы защитных мероприятий:

1. Создание зон санитарной охраны (ЗСО) с тремя поясами охраны [1];
2. Регулярный мониторинг качества подземных вод в зонах нагнетания и инфильтрации [1];
3. Лимитирование (сокращение) отбора на действующих водозаборах до расчётной величины [3];
4. Предотвращение поверхностного загрязнения (нитраты, нефтепродукты, тяжёлые металлы) [4].

Без этих мер любые методы ИВЗ будут малоэффективны или приведут к деградации качества воды.

В таблице представлено сравнение основных методов ИВЗ по ключевым критериям.

Таблица

Сравнительная характеристика методов искусственного восполнения запасов подземных вод

Критерий	Инфильтрационные бассейны	Нагнетание в скважины
Применимость для горизонтов	Только верхние (грунтовые)	Любые, включая глубокие артезианские
Скорость процесса	Низкая (см/сут)	Высокая (м <sup>3</sup> /сут)
Риск кольматации	Низкий (есть естественная фильтрация)	Высокий (требует тщательной подготовки воды)
Экономические затраты	Средние (земляные работы, очистка)	Высокие (скважины, насосы, контроль)
Пример в РБ	Завод «БелГипс»	Тестируется для Припятского бассейна

Таким образом, на основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы. Мониторинг истощения подземных вод в Республике Беларусь (101 пост, 355 скважин) зафиксировал критические депрессионные воронки в Минске (20...30 м) и Припятском бассейне (40×70 км) с риском солевого вторжения. Из методов искусственного восполнения запасов в РБ применяются инфильтрационные бассейны (локально, например, «БелГипс») и нагнетание в скважины (в стадии тестирования). Оба метода имеют ограничения, связанные с фильтрационными свойствами пород и риском кольматации. Внутрипластовая очистка воды от железа и марганца, не используемая в Беларуси, является перспективным направлением, особенно для глубоких

напорных горизонтов с трудноудаляемыми формами металлов. Эффективная стратегия восстановления должна сочетать активные методы ИВЗ (выбор по гидрогеологическим условиям), пассивные защитные меры (ЗСО, мониторинг, лимитирование отбора) и при необходимости – внутрислоевую очистку.

### **Литература**

1. Государственный водный кадастр Республики Беларусь. Раздел «Подземные воды» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Минск, 2023. – 145 с.
2. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика: учебник / В.М. Шестаков. – М.: Изд-во МГУ, 2019. – 332 с.
3. Пантелеев, И.Я. Искусственное восполнение запасов подземных вод / И.Я. Пантелеев, А.А. Ковалёв. – М.: Наука, 2018. – 208 с.
4. Отчёт о состоянии недр Республики Беларусь за 2020–2022 гг. – Минск: РУП «Белгеология», 2023.
5. Методические рекомендации по внутрислоевой очистке подземных вод от железа и марганца / под ред. В.Л. Гулевича. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2021. – 67 с.

УДК 628.161

### **Факторы, влияющие на выбор метода обезжелезивания**

Кныревич В.В.

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

*В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на выбор метода обезжелезивания воды на территории Беларуси. Показаны методы очистки воды, в зависимости от исходного качества воды, а также наиболее применяемые методы обезжелезивания на территории Беларуси.*

Подземные воды Беларуси, в частности Минска и Минской области, играют важную роль в обеспечении водоснабжения города Минска и поддержании экосистем. Беларусь располагает значительными запасами подземных вод, которые являются одним из ключевых источников питьевой воды для населения, а также используются в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

### **Показатели артезианской воды**

В Минской области с её уникальными геологическими условиями и многообразием водоносных горизонтов наиболее распространен Валдайский и Днепровско-сожский горизонт, которые обеспечивают в полном объеме город Минск питьевой артезианской водой [1]. Но при этом не все показатели качества соответствуют нормативным требованиям к питьевой воде.

При анализе результатов лабораторных исследований, приведенных в таблице, качество воды подземных источников не соответствует требованиям [2] по показателям: мутность, общее железо, марганец.

Таблица

Показатели качества воды источника

№ п/п	Параметр	Единица	Результаты измерения качества сырой воды 2025 (подземная вода, скважины)
1	2	3	4
1	Общие микробное число	КОЕ/100мл	1-7
2	Общие колиформные бактерии	КОЕ/100мл	0 (н/о)
3	Запах при 20 °С	баллы	1-2
4	Запах при 60 °С	баллы	1-2
5	Привкус	баллы	1-4
6	Цветность,	Град	1,52-24
7	Мутность	мг/л	0,96- >5
8	Железо Fe (суммарно)	мг/л	0,38-8,78
9	Аммиак NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	0-2,25
10	Нитриты NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0
11	Нитраты NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0-0,6
12	Хлориды Cl <sup>-</sup>	мг/л	1-258
13	Водородный показатель	pH	6,9-8,9
14	Сухой остаток	мг/л	264-668
15	Окисляемость	мг/л	0,25-2,86
16	Нефтепродукты	мг/л	0-0,064
17	АПАВ	мг/л	0
18	Фенольный индекс	мг/л	0-0,0014

Продолжение таблицы

1	2	3	4
19	Цианиды CN <sup>-</sup>	мг/л	0
20	Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	мг/л	2,81-114
21	Фтор F <sup>-</sup>	мг/л	0-1,2
22	Бор В (суммарно)	мг/л	0-0,99
23	Стронций Sr <sup>2+</sup>	мг/л	0-0,67
24	Барий Ba <sup>2+</sup>	мг/л	0,07-0,39
25	Кальций Ca <sup>2+</sup>	мг/л	0,06-0,11
26	Цинк Zn <sup>2+</sup>	мг/л	0,001-0,01
27	Медь Cu <sup>2+</sup>	мг/л	0,001-0,011
28	Свинец Pb (суммарно)	мг/л	0,001-0,007
29	Алюминий Al <sup>3+</sup>	мг/л	0,01-0,07
30	Хром Cr <sup>6+</sup>	мг/л	0-0,064
31	Кадмий Cd (суммарно)	мг/л	0,0001-0,0009
32	Никель Ni (суммарно)	мг/л	0-0,003
33	Марганец Mn (суммарно)	мг/л	0-0,204
34	Мышьяк As (суммарно)	мг/л	0
35	Ртуть Hg (суммарно)	мг/л	0
36	γ-гексахлорциклогексан	мг/л	0
37	п,п' - ДДТ	мг/л	0
38	2,4-Д	мг/л	0
39	альфа-активность	Бк/л	0-0,07
40	бета-активность	Бк/л	0-0,2
41	Бериллий (Be <sup>2+</sup> )	мг/л	0
42	Молибден Mo (суммарно)	мг/л	0-0,001
43	Селен Se (суммарно)	мг/л	0

Для удаления из воды железа и марганца наиболее распространен метод упрощенной аэрации с последующим фильтрованием. Данная технология обеспечивает удаление железа и марганца за одну ступень фильтрации.

#### **Влияние концентрации и формы железа в воде**

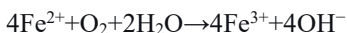
В природных условиях железо обычно находится в виде двух основных форм: растворимой и нерастворимой. Растворимая форма железа чаще всего представлена в виде двухвалентного железа (Fe<sup>2+</sup>), которое легко растворяется в воде и обладает высокой мобильностью. Нерастворимая форма – трёхвалентное железо (Fe<sup>3+</sup>), которое склонно к осаждению и

образованию гидрооксидов, придающих воде характерный коричневый или желтоватый оттенок. В зависимости от условий рН, окислительно-восстановительных процессов и наличия других химических веществ, формы железа могут переходить друг в друга, что влияет на их поведение и методы очистки воды [3].

#### **Упрощенная аэрация с последующим фильтрованием**

Применяется при концентрации  $Fe^{2+}$  до 10 мг/л, рН не менее 6,8, отсутствии органических загрязнителей, низкой окисляемости воды [4].

Суть метода: вода распыляется в специальной камере или в баке-накопителе. Происходит насыщение воды кислородом воздуха. Протекает реакция окисления:



Образовавшийся гидроксид железа  $Fe(OH)_3$  (нерастворимые хлопья) задерживается на последующей стадии фильтрования через зернистую загрузку (кварцевый песок, гидроантрацит).

Также применяются такие методы как:

– напорная фильтрация. Применяется при концентрации  $Fe^{2+}$  до 15-20 мг/л, наличии сероводорода. Суть метода: воду насыщают воздухом под давлением с помощью эжектора или компрессора. Высокое давление способствует более полному растворению кислорода и ускорению окисления. Метод позволяет также удалять растворенные газы ( $H_2S$ );

– каталитическое окисление. Применяется при концентрации  $Fe^{2+}$  до 20-30 мг/л. Суть метода: вода фильтруется через зернистую загрузку со специальными каталитическими свойствами (например, марганцевый зеленый песок Greensand, синтетические загрузки типа «Pyrolox»). Поверхность зерен катализатора ускоряет реакцию окисления  $Fe^{2+}$ , при этом образующиеся оксиды железа осаждаются на той же загрузке. Загрузка работает одновременно как катализатор и как фильтр.

#### **Влияние рН**

рН воды является одним из ключевых параметров, определяющих её качество и поведение в водных системах. Значение рН отражает степень кислотности или щелочности воды и оказывает существенное влияние на химические, физические и биологические свойства воды, а также на эффективность процессов очистки и эксплуатации водопроводных систем.

Нормы рН для питьевой воды устанавливаются национальными и международными организациями. Согласно всемирным стандартам, оптимальный диапазон рН для питьевой воды находится в пределах 6,5-8,5. В Республике Беларусь действует гигиенический норматив питьевой воды, который устанавливает более широкий диапазон – 6,0-9,0.

Железо содержится в воде в разных формах в зависимости от рН:

– при низком  $pH < 6,5$  железо находится преимущественно в растворенной форме  $Fe^{2+}$  (двухвалентное). Оно бесцветно, хорошо растворимо в воде и не удаляется простым отстаиванием или фильтрацией. Его нужно сначала окислить до  $Fe^{3+}$ ;

– при нейтральном и высоком  $pH > 7,0$  железо стремится перейти в форму  $Fe^{3+}$  (трехвалентное), которое образует нерастворимый гидроксид  $Fe(OH)_3$  (бурый осадок). Этот процесс окисления ускоряется с ростом  $pH$ .

**При низком  $pH (< 6,5–7,0)$  и наличии формы железа  $Fe^{2+}$**  применяют следующие методы окисления и повышения  $pH$ :

- аэрация (окисление кислородом воздуха) с последующим фильтрованием;
- каталитическое обезжелезивание на фильтрующих загрузках;
- окисление сильными реагентами ( $KMnO_4$ ,  $NaOCl$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$ );
- ионный обмен (умягчение);
- метод известкования (подщелачивания).

**При высоком  $pH (> 7,0–7,5)$  и наличии железа  $Fe^{3+}$  или  $Fe^{2+}$**  применяют следующие методы:

- простая аэрация + отстаивание/фильтрование;
- напорная аэрация + каталитическое фильтрование (самый популярный метод для частных домов и котельных [5]);
- безреагентное напорное фильтрование на инертных загрузках.

#### **Влияние наличия марганца**

Марганец, подобно железу, может присутствовать в различных соединениях: в виде бикарбонатов, минеральных и органических комплексов и других формах. В подземных водах марганец находится преимущественно в форме двухвалентного иона  $Mn^{2+}$ , образующегося в результате диссоциации хорошо растворимого бикарбоната  $Mn(HCO_3)_2$ . Концентрации его в используемых месторождениях составляют от 0,5 до 5 мг/л. Как правило, марганец в подземных водах присутствует вместе с железом.

Одной из главных проблем, связанных с высоким содержанием марганца, является его способность образовывать осадки при определённых условиях. В присутствии кислорода марганец переходит в окисленную форму – гидроксид марганца, который обладает низкой растворимостью и легко оседает на стенках труб, фильтрах и внутри водопроводных систем. Это приводит к образованию темных, грязных отложений, которые ухудшают внешний вид воды и затрудняют её использование. В результате фильтры быстро засоряются, что требует частой их очистки и обслуживания, увеличивая эксплуатационные расходы.

В зависимости от концентрации загрязняющих веществ в воде, производительности станции возможно применение различных схем очистки воды от марганца или от железа и марганца совместно [4]:

– вода с невысокими концентрациями марганца ( $Mn < 0,2$  мг/л и Fe до 5 мг/л): безреагентные методы (каталитическое окисление);

– вода со средними концентрациями марганца ( $Mn 0,2 - 1,0$  мг/л, Fe 5 – 10 мг/л): реагентное окисление с последующим фильтрованием (двухступенчатая схема);

– вода с высокими концентрациями марганца ( $Mn > 1,0$  мг/л) или сложным составом: двухступенчатая реагентная схема с коагуляцией (или ионообмен/мембраны);

– вода, содержащая аммоний и марганец (характерно для глубоких артезианских скважин). Использование биологических методов на медленных фильтрах или фильтрах с загрузкой из дробленого керамзита, активированного угля.

Выбор метода обезжелезивания подземных вод определяется, прежде всего, физико-химическими показателями исходной воды. Правильно подобранный метод обезжелезивания позволяет достичь максимальной очистки питьевой воды, что будет благоприятно влиять как на здоровье населения, так и на системы водоснабжения.

Таким образом, эффективная система водоподготовки должна базироваться на точном балансе между концентрацией металлов и кислотно-щелочным балансом среды. Игнорирование любого из этих факторов ведет к неполному извлечению примесей или неоправданному удорожанию технологии.

### Литература

1. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2023 год) / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2024. – 56 с.

2. Гигиенический норматив «Показатели безопасности питьевой воды»: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 25.01.2021 № 37 (в ред. от 29.11.2022 № 829).

3. Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19.12.2018 № 914 (в ред. от 06.02.2024 №85).

4. Журба М. Г., Соколов Л. И., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т. 2. Очистка и

кондиционирование природных вод. – Изд. 3-е, перераб. и доп.: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 552 с.

5. Романенко, В. И. Технология обезжелезивания подземных вод с использованием каталитических загрузок / В. И. Романенко, О. Г. Оводкова // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 2 (124). – С. 87-91.

УДК 629.735

### **Обоснование сброса сточных вод в водный объект с проектируемых очистных сооружений консервного завода**

Криводубская А.М.

Научный руководитель Колобако А.А., ассистент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Вопросы рационального использования водных ресурсов и минимизации антропогенного воздействия на гидросферу занимают центральное место в экологической политике Республики Беларусь. Одним из ключевых инструментов регулирования выступает научно обоснованное нормирование объемов и качественного состава сбрасываемых сточных вод в окружающую среду. Статья посвящена вопросам сбросов сточных вод в окружающую среду предприятия по переработке плодоовощного сырья, включая выбор и обоснование технологии очистки сточных вод*

В настоящее время в Республики Беларусь, как и во всем мире, возрастают экономические и экологические требования к решению вопросов рационального использования водных ресурсов, при этом особую актуальность приобретают проблемы снижения поступления загрязнений в окружающую среду. Одной из наиболее эффективных мер охраны водных ресурсов от загрязнения и истощения является нормирование объемов водопотребления и водоотведения, включая нормирование допустимых сбросов и концентраций загрязняющих веществ, сбрасываемых водопользователями в водные объекты, в том числе через сети централизованной канализации населенных пунктов.

Национальное законодательство на уровне нормативных правовых актов (НПА) и технических нормативных правовых актов (ТНПА) устанавливает последовательно природоохранные требования к сбросам сточных вод от предприятий в окружающую среду, в том числе, в поверхностные водные объекты.

В соответствии со статьей 23 Водного кодекса нормативы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод устанавливаются в целях предотвращения загрязнения поверхностных водных объектов. Установление нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод производится с учетом нормативов качества воды поверхностных водных объектов [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 в рамках регулирования сброса сточных вод устанавливает перечень загрязняющих веществ, подлежащих нормированию, а также регламентирует процедуры разработки, утверждения и актуализации нормативов допустимых сбросов (включая временные) для химических и других компонентов, присутствующих в сточных водах [2]. При сбросе производственных сточных вод допустимая концентрация загрязняющих веществ устанавливается с учетом специфики отраслей экономики, к которым относится деятельность предприятия.

Методика расчета объемов поверхностных сточных вод предприятия, сбрасываемых в окружающую среду, изложена в СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения [3]. Согласно данному ТНПА, объемы поверхностных (дождевых и талых) сточных вод, формирующихся на водосборном бассейне системы дождевой канализации, определяют по данным ближайших метеорологических станций за различные периоды (декада, месяц, год за теплый период года), а также за период выпадения отдельного дождя и дождливые периоды. При этом поверхностные сточные воды при их сбросе в окружающую среду должны подвергаться очистке на очистных сооружениях дождевой канализации с учетом природоохранных требований.

Если возводимое предприятие планирует водоотведение не напрямую в окружающую среду, а через системы канализации населенного пункта, требования законодательства несколько иные.

Согласно Закону Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении и водоотведении» от 12 марта 2026 г. №131-3 прием сточных вод абонентов в централизованные системы водоотведения (канализации), системы дождевой канализации осуществляется с соблюдением условий приема сточных вод, включающих допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод, устанавливаемых местными исполнительными и распорядительными органами базового территориального уровня по согласованию с областными, Минским городским исполнительными комитетами в порядке, установленном Правилами пользования [4]. При невозможности обеспечить допустимые

концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод абонентов концентрации этих веществ подлежат снижению за счет устройства локальных очистных сооружений.

Порядок присоединения к централизованным системам водоотведения (канализации) изложен в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 30 сентября 2016 г. № 788 [5]. В Приложении 1 данного постановления устанавливаются допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах предприятия в зависимости от его экономического вида деятельности. В развитие данного постановления для каждого населенного пункта принимаются допустимые концентрации по более широкому перечню загрязняющих веществ в составе производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Таким образом, при проектировании новых производственных объектов и выборе технологии очистки сточных вод, в первую очередь, отталкиваются от приемника сточных вод, поскольку требования при отведении сточных вод в системы коммунальной канализации населенного пункта и в поверхностные водные объекты отличаются существенно.

Объектом исследования является консервный завод, специализирующийся на переработке плодоовощного и мясного сырья.

В соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» предприятие относится к виду экономической деятельности – 10390 «Прочие виды переработки и консервирования фруктов и овощей», 101 «Переработка и консервирование мяса и производство мясной и мясосодержащей продукции» [6].

Структура водопотребления предприятия включает производственные (приготовление рассолов, СИП-мойка, мойка сырья и тары), вспомогательные (котельная, лаборатория, столовая) и хозяйственно-бытовые нужды. Детальный анализ структуры водопотребления на технологические нужды указывает, что 53,9% их общего объёма технологической воды расходуется на нужды оборудования овощного производства, 11,4% — на автоматизированные СИП-мойки (СИР) и 10,2% — на мясное производство. Среднесуточный объём водопотребления на производственные нужды составляет 1745 м<sup>3</sup>/сут, на хозяйственно-бытовые нужды - 34,8 м<sup>3</sup>/сут.

На предприятии образуется три типа сточных вод: производственные, хозяйственно-бытовые и поверхностные. Среднесуточный объём водоотведения производственных сточных вод составляет 1584 м<sup>3</sup>/сут., хозяйственно-бытовых сточных вод — 30 м<sup>3</sup>/сут. Суммарный проектный объём водоотведения - 1614 м<sup>3</sup>/сут (доля хозяйственно-бытовых сточных вод составляет 1,9 %).

Отведение сточных вод может осуществляться различными способами:

1. Производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды – в хозяйственно-бытовую канализацию населенного пункта, поверхностные – в дождевую канализацию населенного пункта.

2. Производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды – в поверхностный водный объект, поверхностные – в дождевую канализацию населенного пункта.

3. Производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды – в поверхностный водный объект, поверхностные – в поверхностный водный объект.

Для выбора технологии очистки сточных вод и приемника сточных вод проведен сравнительный анализ допустимых концентраций по 12 обязательным к нормированию загрязняющих веществ и показателей при сбросе производственных сточных вод предприятия в водный объект и при выпуске в централизованную систему канализации населенного пункта (таблица).

Таблица

Допустимые концентрации загрязняющих веществ и показателей в сточных водах предприятия по переработке плодоовощного и мясного сырья

Наименование загрязняющих веществ и показателей, ед. измерения	Допустимая концентрация загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект	Допустимая концентрация загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в централизованную систему канализации населенного пункта [5]
1	2	3
Биохимическое потребление кислорода БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	25	- /350
Химическое потребление кислорода, бихроматная окисляемость ХПК <sub>Cr</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	150	- /350
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	35	- /250
Аммоний-ион, мгN/дм <sup>3</sup>	10	35/35
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	25	- / -
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	3	10/6

Продолжение таблицы

1	2	3
Минерализация воды (сухой остаток), мг/дм <sup>3</sup>	1000	- /1000
Хлорид-ион, мг/дм <sup>3</sup>	300	- /300
Сульфат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	100	- /100
СПАВ анионоактивные, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	- /1,5
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,691	3,0/1,1
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	1,2/1,2

Примечание: «-» – показатель не нормирован; в столбце 3 указаны значения допустимых концентраций: на основании постановления Совета Министров Республики Беларусь №788[5] / на основании решения местного исполнительного комитета

Для рассматриваемого населенного пункта в соответствии с решением местного исполнительного органа власти установлены ДК по 11 загрязняющим веществам и показателям; содержание азота общего в сточных водах при их сбросе в системы коммунальной канализации населённых пунктов, в отличие от сброса в поверхностный водный объект, не нормируется.

По совокупности факторов, включая требования к установлению допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей в составе сточных вод, выбрано строительство очистных сооружений производственной мощностью 2000 м<sup>3</sup>/сутки с организацией выпуска очищенных вод в поверхностный водный объект.

Для очистки смеси производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод предлагается следующая схема организации очистных сооружений:

1. Механический блок. Сточные воды нагнетаются на высокопроизводительное барабанное сито РМТ-Б600 (пропускная способность до 80 м<sup>3</sup>/ч), удаляющее до 30% крупных взвесей и песка [7]. Далее вода усредняется в железобетонном резервуаре-усреднителе, сглаживающем гидравлические и концентрационные пики.

2. Физико-химический блок. В потоке происходит автоматическое дозирование реагентов с помощью станции РДА1РР-2000 (коррекция рН, подача коагулянта и анионного флокулянта) [8]. Скоагулированная смесь разделяется в радиальном флотаторе ФЛ-60Т-80 под воздействием микропузырьков воздуха из сатуратора. Образующийся шлам (флотопена) уплотняется и обезвоживается на энергоэффективном шнековом обезвоживателе СВТ-ШО [9].

3. Биологический блок. Осветлённые сточные воды направляются в модульный комплекс биологической очистки [10], где в денитрификаторе в анаэробных условиях происходит восстановление нитратов до газообразного азота, а в аэротенке-нитрификаторе с мелкопузырчатой аэрацией осуществляется окисление органики (БПК<sub>5</sub>) и аммонийного азота. Разделение иловой смеси происходит во вторичном вертикальном отстойнике с последующей финишной фильтрацией на полимерной загрузке биофильтра доочистки.

Подобранный состав очистных сооружений позволит достичь допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей, установленных природоохранным законодательством на сброс сточных вод в поверхностный водный объект, а наличие современного обособленного комплекса очистных сооружений существенно повышает общую рыночную стоимость имущественного комплекса предприятия.

### Литература

1. Водный Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. №149-З.
2. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод // Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16.
3. СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024. – 81 с.
4. О питьевом водоснабжении и водоотведении: Закон Республики Беларусь 12 марта 2026 г. №131-З.
5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №788 от 30.09.2016 «Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах».
6. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь, 5 дек. 2011 г. №85: с изм. и доп. от 29 окт. 2021 г. №99 // Бизнес-Инфо / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2025.
7. Барабанное сито (решетка) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://z-tvh.ru/produkcziya/mechanicheskaya-ochistka/mexanicheskie-reshetki/> (дата доступа 10.05.2026).
8. Установка приготовления и дозирования реагентов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eco-systema.com/productions/system/valday-bio/> (дата доступа 10.05.2026).

9. Шнековый обезвоживатель осадка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rodolit.by/dlya-predpriyatij/ochistnye-promyshlennykh-stokov/obezvozhivanie-i-podacha-osadka/shnekovyy-obezvozhivatel> (дата доступа 10.05.2026).

10. Модульная установка биологической очистки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://albion.by/product/ochistnye-sooruzheniya/biologicheskie/kompleks-ochistnykh-sooruzheniy-eko-r/> (дата доступа 10.05.2026).

УДК 627.8.034

### **Влияние водозабора на русловые процессы и экосистему реки**

Крук А.С.

Научный руководитель Терещенко А.В., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье проанализировано влияние водозабора на русловые процессы и экосистему реки. Показано, что изъятие стока приводит к деформациям русла (эрозия в верхнем бьефе, заиление в нижнем), а также к снижению биоразнообразия и деградации ихтиофауны. Обоснована необходимость соблюдения экологических попусков для минимизации техногенного воздействия.*

Реки – это не просто водные артерии, но и сложные, динамичные экосистемы, играющие ключевую роль в поддержании биоразнообразия, обеспечении пресной водой и формировании ландшафтов. Деятельность человека, направленная на удовлетворение своих потребностей, часто приводит к значительным изменениям в естественном функционировании рек. Одним из наиболее распространенных и существенных видов антропогенного воздействия является водозабор – изъятие воды из реки для различных нужд: сельского хозяйства, промышленности, коммунального водоснабжения, энергетики. Данная статья посвящена анализу влияния водозабора на русловые процессы и экосистему реки, рассматривая как прямые, так и косвенные последствия этого процесса.

#### ***Влияние водозабора на русловые процессы***

##### ***Снижение стока и его последствия***

Основным следствием водозабора является уменьшение объема воды, протекающей по руслу. Это приводит к ряду негативных последствий:

– уменьшение скорости течения: Снижение расхода воды ведет к замедлению скорости течения. Это, в свою очередь, уменьшает способность реки переносить наносы (песок, ил, гальку). В результате происходит их накопление в русле [1];

– заилению русла: Увеличение количества донных отложений снижает глубину реки, затрудняет судоходство и может приводить к пересыханию отдельных участков в межень [4];

– изменению морфологии русла: Замедление течения способствует формированию более широких и мелких участков, а также может приводить к изменению формы и размеров русловых форм (перекатов, плесов) [1];

– увеличению эрозии берегов: Парадоксально, но снижение общего стока может приводить к усилению эрозии берегов в некоторых случаях. Это связано с тем, что при уменьшении объема воды, оставшаяся вода может концентрироваться в отдельных участках русла, увеличивая скорость течения в них и подмывая берега [5];

– изменение режима паводков и межени: Водозабор, особенно при наличии водохранилищ и регулирующих сооружений, может существенно изменять естественные колебания уровня воды. Уменьшение стока в межень может привести к критическому снижению уровня воды, обнажению дна и даже пересыханию реки [3].

*Воздействие на гидротехнические сооружения.*

Водозаборные сооружения, такие как плотины, насосные станции, ирригационные каналы, сами по себе являются факторами, изменяющими русловые процессы. Они могут:

– Создавать барьеры для миграции наносов: Плотины задерживают наносы, что приводит к их накоплению в водохранилище и дефициту ниже по течению [3];

– Изменять режим течения: Сооружения могут создавать турбулентность, изменять скорость и направление потока, что влияет на распределение наносов и эрозию [5];

– Приводить к изменению уровня воды: Регулирование стока для нужд водозабора может приводить к резким колебаниям уровня воды, что негативно сказывается на русловых процессах и прибрежной зоне [2].

*Влияние водозабора на экосистему реки:*

– снижение уровня воды и площади водного зеркала: Это одно из наиболее очевидных последствий. Уменьшение объема воды приводит к сокращению среды обитания для многих водных организмов. Мелководные участки, являющиеся важными нерестилищами и местами нагула молоди рыб, а также средой обитания для беспозвоночных и водной растительности, могут полностью пересыхать [4];

– изменение скорости течения: Замедление течения негативно сказывается на реофильных видах (предпочитающих быстрое течение), таких как некоторые виды рыб, личинки насекомых (например, поденки, веснянки). Напротив, виды, предпочитающие стоячие или медленно текущие воды, могут получить временное преимущество, но общее биоразнообразие снижается [1];

– изменение кислородного режима: Замедление течения и повышение температуры воды снижают растворимость кислорода. Кроме того, при снижении уровня воды и увеличении концентрации органических веществ, процессы разложения могут потреблять больше кислорода, приводя к гипоксии или аноксии (недостатку или полному отсутствию кислорода), что смертельно для большинства водных организмов [4];

– изменение химического состава воды: Снижение объема воды приводит к увеличению концентрации загрязняющих веществ (если они поступают в реку), что усиливает их токсическое воздействие. Также может изменяться соленость, жесткость и рН воды, что влияет на физиологические процессы водных организмов [2].

#### ***Комплексные последствия и долгосрочные перспективы***

Влияние водозабора на русловые процессы и экосистему реки не является изолированным. Эти процессы взаимосвязаны и усиливают друг друга, приводя к комплексным и часто необратимым изменениям: деградация речной экосистемы, ухудшение качества воды, социальные последствия, экономические потери, изменение ландшафта.

Понимание всей сложности и взаимосвязанности процессов, происходящих в речных экосистемах, является ключом к разработке эффективных стратегий устойчивого водопользования. Только путем балансирования между потребностями человека и сохранением природных систем мы сможем обеспечить долгосрочное благополучие как для рек, так и для будущих поколений. Игнорирование этих принципов приведет к необратимым изменениям, которые в конечном итоге негативно скажутся на всех аспектах жизни [2].

#### **Литература**

1. Кондратьев, Н. Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Снищенко. – Л. : Гидрометеиздат, 1982.
2. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ об установлении границ водоохранных зон и прибрежных полос : от 18 июля 2017 г. № 5-Т.
3. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян. – М. : Мысль, 1987.
4. Михневич, Э. И. Гидрология : пособие для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных

ресурсов» / Э. И. Михневич ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Водоснабжение и водоотведение». – Минск : БНТУ, 2021. – 151 с.

5. Учет русловых процессов при проектировании водозаборов, выпусков сточных и других инженерных объектов на берегах [Электронный ресурс] // Studref: [сайт]. – Режим доступа: [https://studref.com/625425/geografiya/uchet\\_ruslovyh\\_protsestsovo\\_proektirovanii\\_vodozaborov\\_vypuskov\\_stochnyh\\_drugih\\_inzhenernyh\\_obektov\\_bereg](https://studref.com/625425/geografiya/uchet_ruslovyh_protsestsovo_proektirovanii_vodozaborov_vypuskov_stochnyh_drugih_inzhenernyh_obektov_bereg) (дата обращения: 13.05.2026).

УДК 628.12

### **Развитие насосостроения в Республике Беларусь**

Крук А.С.

Научный руководитель Майорчик А.П., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены история, состояние и перспективы насосостроения Беларуси. Охарактеризованы ведущие предприятия (Бобруйский МСЗ, Пинский ОМЗ, «Промбурвод», «САЛЕО») и их продукция. Показана роль новых проектов (СП в Пинске, 2025 г.) для импортозамещения. Определены ключевые проблемы (дефицит кадров, конкуренция) и стратегические направления развития отрасли.*

Насосостроение является одной из ключевых и динамично развивающихся отраслей белорусского машиностроения. Продукция данной сферы играет критически важную роль в обеспечении функционирования практически всех секторов экономики: от тяжелой промышленности и энергетики, до жилищно-коммунального хозяйства и сельского хозяйства. На протяжении десятилетий в республике сформировалась мощная производственная база, включающая в себя как крупные заводы с богатой историей, так и новые инновационные предприятия. В условиях современной геополитической обстановки насосостроение стало одним из главных направлений для достижения технологической независимости и реализации стратегии импортозамещения.

История развития отрасли

Истоки насосостроения в Беларуси уходят корнями в дореволюционное прошлое. Например, Могилевский завод «Строммашина», который сегодня

выпускает нефтяные насосы, был основан еще в сентябре 1913 года как частная меднолитейно-механическая мастерская [1]. В советский период отрасль получила мощное развитие в рамках общесоюзной кооперации.

Во второй половине XX века были построены специализированные предприятия. Борисовский завод агрегатов был создан в 1958 году, а в 1960-е годы освоил производство масляных и водяных насосов. В 1975 году в Лунинце ввели в эксплуатацию завод по производству электродвигателей для сельского хозяйства, который позже стал выпускать и центробежные насосы. Наряду с созданием новых мощностей активно модернизировались и старые заводы, такие как Бобруйский машиностроительный (основан в 1898 году), который со временем переключился на выпуск насосного оборудования для тяжелой промышленности [2]. Пинский опытно-механический завод, имеющий 68-летнюю историю, также прошел путь от ремонтного предприятия до одного из лидеров насосостроения на постсоветском пространстве [3].

Ведущие предприятия и их продукция

Сегодня белорусское насосостроение представляет собой сложный и диверсифицированный комплекс, ориентированный на выпуск широкого спектра продукции.

Одним из ключевых игроков является ОАО «Бобруйский машиностроительный завод», специализирующийся на производстве центробежных насосов для нефтеперерабатывающей, нефтехимической, металлургической и энергетической промышленности, а также для систем водоснабжения. С 2011 года завод входит в состав российской Группы ГМС [2].

ОАО «Пинский опытно-механический завод» (Пинский ОМЗ) входит в число ключевых производителей промышленных насосов на рынке СНГ. Ассортимент предприятия включает более 150 наименований: от многоступенчатых центробежных и химических насосов до насосов для нефтепродуктов и пищевых жидкостей. Завод активно работает по программе импортозамещения, осваивая новые типы изделий [3].

ОАО «Завод Промбурвод» (г. Минск) является уникальным для Беларуси предприятием, освоившим полный цикл производства насосного оборудования для перекачивания воды и других сред, включая скважинные, дренажные и вакуумные насосы, а также электродвигатели к ним. С 1992 года предприятие расширило номенклатуру с 4 до 650 типоразмеров и продолжает разработку новых моделей, в том числе мощных агрегатов для рынка Казахстана [4].

Крупным производителем гидравлики является холдинг «САЛЕО», объединяющий ОАО «Гидропривод» (Гомель) и ОАО «Гидромаш» (Кобрин), которые выпускают гидроцилиндры, насосы-дозаторы и

гидрораспределители для тракторов МТЗ, комбайнов «Гомсельмаш» и другой техники [5].

Ряд других предприятий занимает важные ниши. Могилевский завод «Строммашина» выпускает приводы штанговых глубинных насосов для нефтедобычи [1]. Житковичский моторостроительный завод является единственным в стране производителем шестеренных насосов для сельскохозяйственной техники. ОАО «Полесьеэлектромаш» (г. Лунинец) производит бытовые центробежные насосы и погружные насосы для загрязненных вод.

Современное состояние и новые проекты

Новейшей историей отрасли стало открытие в сентябре 2025 года в Пинске совместного белорусско-российского предприятия ООО «Гидравлическая объединенная компания». Созданное при участии ОАО «БЕЛАЗ» и российского АО «Пневмостроймашина», предприятие будет производить уникальную для Беларуси продукцию — аксиально-поршневые гидравлические насосы с регулируемой производительностью. Проектная мощность цеха, развернутого на площадях завода «Кузлитмаш», составляет 5 500 единиц в год с возможностью увеличения до 8 520 [6].

Данный проект имеет стратегическое значение. Запуск производства позволяет сформировать собственную конструкторско-технологическую школу и, что самое главное, снизить зависимость от иностранных поставщиков, которые ушли с рынка в 2022 году. Новая продукция будет востребована флагманами белорусского машиностроения — БЕЛАЗом, МТЗ и Гомсельмашем, для нужд которых и был реализован этот интеграционный проект [6].

Кроме того, в стране развивается частное предпринимательство в этой сфере. Примером может служить витебское предприятие ООО «Спектр промышленных решений», основанное бывшим экономистом, которое с 2024 года производит насосные станции повышения давления и пожаротушения. Емкость всего рынка насосного оборудования в Беларуси оценивается примерно в 100 млн долларов в год [7].

Проблемы и перспективы развития

Несмотря на значительные успехи, отрасль сталкивается с рядом вызовов. Ключевой проблемой является дефицит высококвалифицированных инженерно-технических кадров. Сохраняется и конкуренция с более дешевой продукцией из третьих стран. В ответ на эти вызовы предприятия осуществляют модернизацию производственной базы, внедряют передовые технологии и цифровые методы расчетов (например, SolidWorks).

Перспективы развития отрасли неразрывно связаны с общегосударственной стратегией. Правительство ставит амбициозную

цель: довести долю затрат на машины и оборудование в инвестициях к 2030 году до 45%. В соответствии с разрабатываемой Стратегией развития станкостроительной отрасли до 2030 года, приоритетом является достижение технологической независимости в производстве фондообразующих активов [8].

Важнейшим направлением остается импортозамещение и локализация производства критических компонентов. Создание СП в Пинске является ярким примером такой работы. Белорусские производители активно наращивают экспорт, в том числе в рамках кооперации с российскими регионами, такими как Свердловская область, и осваивают новые рынки сбыта, например, в Казахстане [6].

#### Заключение

Насосостроение в Республике Беларусь прошло долгий и славный путь: от небольших мастерских начала XX века до современных высокотехнологичных производств. Сегодня отрасль представляет собой конгломерат мощных специализированных заводов и инновационных частных компаний, способных выпускать широчайшую номенклатуру продукции — от бытовых вибрационных насосов «Ручеек» до уникальных гидравлических систем для карьерных самосвалов БЕЛАЗ.

#### Литература

1. Официальный сайт ОАО «Могилевский завод «Строммашина»: раздел «История предприятия». – Режим доступа: <https://strommashina.by> (дата обращения: 10.05.2026).
2. Официальный сайт ОАО «Бобруйский машиностроительный завод»: каталог продукции, историческая справка. – Режим доступа: <https://bobruiskmash.by> (дата обращения: 10.05.2026).
3. ОАО «Пинский опытно-механический завод»: официальный сайт. – Режим доступа: <https://pinsk-omz.by> (дата обращения: 10.05.2026).
4. ОАО «Завод Промбурвод»: официальный сайт / продукция, модернизация. – Режим доступа: <https://prombuvod.by> (дата обращения: 10.05.2026).
5. Холдинг «САЛЕО»: годовой отчет за 2024 год / ОАО «Гидропривод», ОАО «Гидромаш». – Гомель, 2025. – 84 с.
6. Новое совместное предприятие по производству гидравлических насосов открылось в Пинске [Электронный ресурс] / Белорусское телеграфное агентство (БелТА). – 12.09.2025. – Режим доступа: <https://belta.by/economics/view/novoe-sp-po-proizvodstvu-gidravlicheskih-nasosov-otkrylos-v-pinske-1234567> (дата обращения: 10.05.2026).

7. Анализ рынка насосного оборудования в Республике Беларусь / Научно-исследовательский институт экономики Минэкономки РБ. – Минск, 2024. – 52 с. – (Серия «Машиностроение»).

8. Стратегия развития станкостроительной отрасли Республики Беларусь до 2030 года: проект / Министерство промышленности РБ. – Минск, 2025. – 68 с.

УДК 628.161.3

### **Интенсификация работы осветлителей за счет применения новых флокулянтов**

Кузьмин П. С.

Руководитель Сергиенко Д. С., преподаватель-стажер  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В работе проведен анализ современных направлений интенсификации процессов осветления природных и сточных вод путем замены традиционных реагентов на новые классы флокулянтов. Рассмотрены физико-химические основы действия структурно-модифицированных полимеров, катионных ионенов, анионных сополимеров акриламида и гибридных фотокаталитических композитов. Теоретически и на основе анализа опубликованных экспериментальных данных обосновано, что применение данных реагентов позволяет сократить время осаждения взвесей на 30–50% и повысить степень осветления высокомутных вод. Практическая значимость работы заключается в возможности снижения доз реагентов и повышения производительности существующих осветлительных сооружений без их физической реконструкции.*

Обеспечение населения качественной питьевой водой и очистка промышленных стоков до нормативных требований являются одними из приоритетных задач современной экологической безопасности. Классическая технологическая схема водоподготовки включает процессы коагуляции и флокуляции, реализуемые в осветлителях различных конструкций. Эффективность работы этих сооружений напрямую зависит от типа и качества применяемых реагентов.

Традиционные коагулянты (соли алюминия и железа) успешно справляются с дестабилизацией коллоидных систем, однако часто не обеспечивают формирования крупных, легко седиментируемых хлопьев. В

связи с этим актуальным становится поиск новых флокулянтов, способных интенсифицировать процесс выделения взвешенных частиц за счет образования прочных мостиковых связей между частицами даже при низких концентрациях.

Осветление воды базируется на двух взаимосвязанных, но физико-химически различных процессах: коагуляции и флокуляции. Коагуляция представляет собой дестабилизацию коллоидной системы за счет нейтрализации заряда частиц низкомолекулярным электролитом, что требует интенсивного быстрого перемешивания в течение секунд [2]. Большинство природных примесей (глина, гуминовые вещества) при pH природных вод 6.5–7.5 несут отрицательный заряд и обладают агрегативной устойчивостью. Флокуляция же объединяет уже дестабилизированные микрохлопья в крупные агрегаты с помощью длинноцепочечных полимеров в режиме медленного перемешивания.

Современные тенденции направлены на создание «структурно-модифицированных полимерных флокулянтов». В соответствии с патентными данными, полимеры с разветвленной структурой, полученные при добавлении сшивающих агентов после конверсии не менее 30% мономеров, демонстрируют более высокую приведенную вязкость и скорость растворения, что критично для быстрого формирования флокул в осветлителях.

Традиционный полиакриламид (ПАА) уступает место новым композициям:

– **катионные флокулянты ионенового типа.** Водорастворимые аммонийсодержащие ионены обладают высокой эффективностью при извлечении из воды анионных красителей. Их высокая плотность заряда обуславливает эффективную нейтрализацию отрицательных коллоидов без избыточного подкисления среды, что делает их перспективными для очистки текстильных сточных вод и природных гумусосодержащих вод [1].

– **анионные сополимеры акриламида.** Сополимеры акриламида с акриловой (АА-АС) и малеиновой (АА-МС) кислотами демонстрируют различную селективность по отношению к типу взвешенных частиц. Установлено, что АА-АС более эффективен для бентонитовых суспензий (где велика доля мелкой фракции, менее 0.105 мм), тогда как АА-МС отлично работает с кальцийсодержащими дисперсиями за счет хелатирования ионов кальция карбоксильными группами малеиновой кислоты [4].

– **гибридные фотокаталитические флокулянты (СNРАМ).** Инновационным направлением является синтез флокулянтов с использованием фотокатализа. Композит g-C3N4/полиакриламид, полученный без химических инициаторов под действием солнечного света,

действует одновременно как сшивающий агент и флокулянт. Наличие наноллистов графитоподобного нитрида углерода придает полимерной матрице дополнительную жесткость, что принципиально меняет механизм флокулообразования. Данный подход позволяет эффективно осветлять высокомутные воды с каолином в широком диапазоне концентраций солей, где обычный ПАА теряет эффективность [3].

Ключевым фактором, лимитирующим скорость осветления в традиционных схемах, является низкая прочность флокул, образуемых линейным полиакриламидом. При гидродинамических нагрузках в осветлителях такие хлопья легко разрушаются, что ведет к выносу взвеси.

Переход к структурно-модифицированным полимерам с разветвленной или слабосшитой топологией, позволяет формировать флокулы с более высокой фрактальной размерностью. Такие агрегаты более компактны и устойчивы к сдвиговым напряжениям. При одинаковой молекулярной массе наличие боковых карбоксильных групп в сополимере АА-МС обеспечивает более высокую скорость седиментации карбонатных частиц по сравнению с линейным ПАА, данное явление связывают с образованием дополнительных координационных связей между полимером и поверхностью частиц (таблица).

Таблица

Сравнительная характеристика механизмов действия новых флокулянтов

Класс флокулянта	Доминирующий механизм	Ключевое преимущество
Катионные ионены	Нейтрализация заряда + мостикообразование	Высокая плотность заряда, эффективность без подкисления
Сополимер АА-МС	Мостикообразование + хелатирование $Ca^{2+}$	Селективность к карбонатным дисперсиям, снижение дозы
Сшитый CNPAM	Мостикообразование (более жесткие цепи)	Устойчивость флокул к солям и сдвигу
Линейный ПАА	Мостикообразование	Низкая стоимость

Прогнозируемая технологическая эффективность основываясь на анализе экспериментальных данных можно утверждать, что замена ПАА на

новые флокулянты способна интенсифицировать процесс осветления по следующим направлениям:

– **снижение оптимальной дозы реагента.** Для анионных сополимеров (АА-МС) максимум флокулирующего эффекта достигается при концентрациях на 30–40% ниже, чем для товарного ПАА, что подтверждается исследованиями на карбонатных суспензиях.

– **сокращение времени осаждения.** Жесткие сшитые структуры CNPAM формируют флокулы, скорость свободного осаждения которых в 1.3–1.5 раза выше, чем у флокул на основе линейного полимера. Это напрямую коррелирует с возможностью увеличения гидравлической нагрузки на осветлители.

– **повышение глубины осветления.** Катионные ионены, благодаря высокой плотности заряда, способны извлекать тонкодисперсные окрашенные примеси, трудно поддающиеся удалению солями алюминия и обычным ПАА, что обеспечивает снижение остаточной мутности и цветности.

Капитальная реконструкция очистных сооружений с увеличением объемов осветлителей требует колоссальных финансовых вложений и длительных сроков строительства. В условиях ограниченных бюджетов коммунальных предприятий интенсификация работы существующих сооружений за счет смены реагентной схемы является безальтернативным и быстро реализуемым решением. Переход на новые анионные сополимеры акриламида (типа АА-МС) позволяет, согласно исследованиям, снизить дозу флокулянта на 30–40% при одновременном сокращении времени осаждения взвеси примерно в 1,5 раза. Это означает, что без замены строительных конструкций и насосного оборудования производительность действующей станции может быть увеличена без потери качества очистки.

Особую актуальность приобретают флокулянты с комбинированным действием. Катионные ионеновые полимеры, демонстрируют высокую эффективность извлечения синтетических анионных красителей из сточных вод текстильных предприятий – проблемного сегмента, где обычные коагулянты и ПАА практически бессильны. Гибридные фотокаталитические флокулянты CNPAM, синтезированные по «зеленой» технологии без химических инициаторов, эффективно работают в высокомутных водах с широким диапазоном содержания, что делает их перспективными для очистки шахтных, карьерных и промливневых стоков. Данные инновационные материалы соответствуют общемировому тренду на импортозамещение и развитие малотоннажной химии высоких переделов, что зафиксировано в патентах на структурно-модифицированные полимерные флокулянты.

Проведенное теоретическое исследование подтверждает, что переход от традиционных линейных полиакриламидов к новым структурно-модифицированным и гибридным флокулянтам является научно обоснованным и эффективным путем интенсификации работы осветлителей.

**Теоретическая значимость** работы заключается в систематизации данных о влиянии архитектуры макромолекул (сшивки, хелатирующие группы, плотность заряда ионов) на механизм флокулообразования, что углубляет понимание процессов, протекающих в объеме осветлителя.

**Практическая ценность** предложенных решений, обоснованная литературными данными, состоит в:

- снижении расхода флокулянта до 40% по сравнению с товарным ПАА;
- увеличении скорости осаждения взвеси примерно в 1.5 раза, что позволяет поднять гидравлическую нагрузку на типовые осветлители без их реконструкции;
- возможности получения реагентов по экологичным «зеленым» технологиям (фотокаталитический синтез CNPAM).

### Литература

1. Казанцев, О.А. Применение катионных флокулянтов ионенового типа для очистки воды от красителей (обзор) / О.А. Казанцев, И.Р. Арифиллин, С.А. Ожогин [и др.] // Пластические массы. – 2025. – № 3. – С. 37-41.
2. Гречаников, А.В. Водорастворимые полиэлектролиты – флокулянты в процессах водоподготовки / А.В. Гречаников, А.П. Платонов, А.А. Трутнев, С.Г. Ковчур // Труды БГТУ. – Минск, 2015.
3. Green Photocatalytic Route To Synthesize Cross-Linked Polyacrylamide 4. Flocculant for Flocculation of High Turbid Wastewater / School of Chemistry and Chemical Engineering, Zhejiang Sci-Tech University // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2024. – Vol. 63, № 14. – P. 6100-6109.
4. Jumaeva, G.Y. Performance of Acrylamide Anionic Copolymers in Clarification of Bentonite and Calcium Carbonate Suspensions / G.Y. Jumaeva, A.B. Abdikamalova, I.D. Eshmetov [et al.] // Ethiopian International Journal of Multidisciplinary Research. – 2025.

## Способы регулирования подачи центробежных насосов

Митрахович А.А.

Научный руководитель Майорчик А.П. к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В тексте сопоставлены три способа регулирования подачи центробежных насосов: дросселирование и байпасирование (сопровождаются потерями энергии) и изменение частоты вращения рабочего колеса — наиболее экономичный метод, реализуемый через муфты или редукторы, но с КПД не выше 0,6 у асинхронных двигателей.*

Регулирование подачи — главная задача при эксплуатации центробежных насосов, позволяющая адаптировать их работу к нуждам системы. Сами способы регулирования основаны либо на изменении характеристик сети, либо на изменении характеристик самого насоса. Выделяют несколько способов регулирования подачи:

- дроссельное регулирование;
- регулирование перепуском (байпасирование);
- изменение частоты вращения рабочего колеса.

### **Дроссельное регулирование**

Дросселирование - гашение части напора, создаваемого насосом, с помощью искусственно вводимого в напорную или всасывающую линию гидравлического сопротивления. Обычно дросселирование достигается частичным закрытием задвижки на напорном трубопроводе насоса.

Дросселирование центробежного насоса возможно только в том случае, если насос имеет некоторое превышение напора по сравнению с требуемым значением. В пределах этого превышения осуществляется его дросселирование, но из-за этого возникают дополнительные потери энергии. Поэтому, правильный подбор состава работающих насосных агрегатов ещё не обеспечивает минимальных расходов электроэнергии на перекачку жидкости. Дроссельное регулирование — задвижка устанавливается последовательно после насоса, увеличивая сопротивление системы и снижая расход (см. рис.): без задвижки — расход  $Q_2$ , с задвижкой расход снижен до значения  $Q_1$ . Задвижка ограничивает максимум расхода значением  $Q$ , даже при абсолютно пологой характеристике системы. При дросселировании насос обеспечивает напор выше необходимого системе  $H_n = H_c + H$ . Насос меньшего размера обеспечит требуемый расход  $Q_1$ , но при более низком напоре  $H$  и,

следовательно, с меньшим энергопотреблением. Избыточная полезная мощность  $\Delta N = p \cdot g \cdot QI \cdot H$  (рисунок 1).

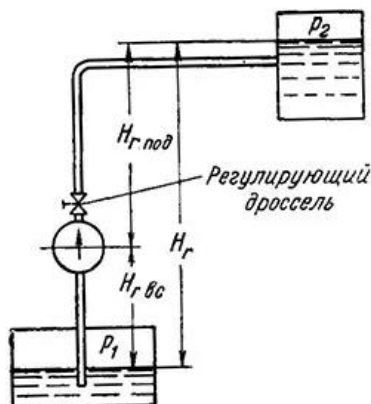


Рис. 1. Схема дроссельного регулирования центробежного насоса

**Байпасирование** осуществляется путем перепуска части перекачиваемой жидкости из напорного трубопровода во всасывающий по спиральному трубопроводу с задвижкой, манипулирование которой позволяет менять подачу насоса. При этом режим работы и параметры насоса не изменяются. Недостатки данного способа — потеря энергии на перепуск по байпасу «оборотной» жидкости и сложности при обслуживании насосной установки (рисунок 2).

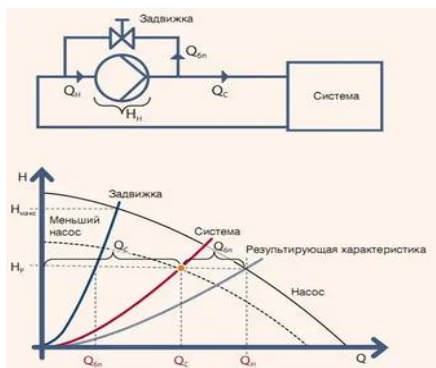


Рис. 2. Схема байпасирования центробежного насоса

**Изменение частоты вращения рабочего колеса.** Этот способ регулирования в экономическом отношении значительно эффективнее остальных.

При изменении частоты вращения рабочего колеса насоса с  $n_1$  до  $n_2$  его характеристики  $Q-H$ ,  $Q-N$ , и  $Q-\eta$  изменяются по законам подобия:

$$Q_A/Q_B = n_1/n_2, \quad H_A/H_B = (n_1/n_2)^2, \quad N_A/N_B = (n_1/n_2)^3, \quad (1)$$

где  $Q_A, H_A, N_A$  – подача, напор и мощность насоса, соответствующие частоте вращения рабочего колеса  $n_1$ ;  $Q_B, H_B, N_B$  – подача, напор и мощность насоса, соответствующие частоте вращения рабочего колеса  $n_2$ .

При неизменной характеристике сети подача насоса уменьшится с  $Q_A$  до  $Q_B$ .<sup>[3]</sup>

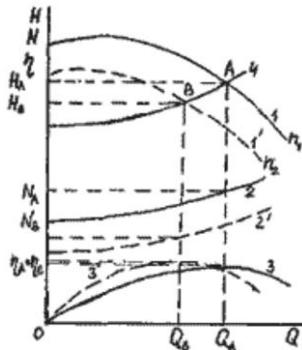


Рис. 3. Схема изменения характеристик насоса

Так как во всех режимах работы напор насоса равен сопротивлению сети, сокращаются непроизводительные потери в системе «насос-сеть». Экономичность при регулировании насосов изменением частоты вращения  $n$  снижается только от того, что рабочая точка системы при изменении  $n$  отклоняется от режима максимального КПД. Это отклонение тем больше, чем больше статическая составляющая сопротивления сети.

Данный способ достаточно просто может быть реализован, если насосы имеют привод от двигателей с переменной частотой вращения: турбин, гидродвигателей и др.

В большинстве случаев насосы имеют привод от асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, частота вращения которых не регулируется. Для регулирования частоты вращения насосов с приводом

от асинхронного короткозамкнутого электродвигателя рекомендуются следующие системы:

- с механическим редуктором (с регулируемым числом передачи);
- с электромагнитной муфтой скольжения;
- с электромагнитной муфтой с явно выраженными полюсами;
- с индукторными муфтами;
- с гидромуфтами (гидротрансформаторами).

Во всех этих случаях асинхронный двигатель работает в номинальном режиме, однако более чем в два раза увеличиваются габаритные размеры агрегата. Для электромагнитных муфт необходим источник постоянного тока. КПД таких систем не превышает 0,6.

### Литература

1. Аверьянов, А. О. Общие схемы и способы регулирования работы насосов при повышении напора / А. О. Аверьянов // Молодой ученый. – 2023. – № 3 (450). – С. 68-71. – URL: <https://moluch.ru/archive/450/99037>.

2. Регулирование работы насосов. Изменение частоты вращения рабочего колеса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2008/fema/shevaturina/library/art5.htm>. Дата доступа: 10.05.2026

УДК 629.735

### **Обоснование критериев для оценки применимости технических решений по организации децентрализованных систем водоотведения в сельских населенных пунктах**

Мороз Е.А.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Статья посвящена анализу законодательства и техническим вопросам организации децентрализованных систем водоотведения в сельских населенных пунктах Республики Беларусь.*

Широкое распространения децентрализованных систем канализации приводит к необходимости поиска технических решений, которые бы при соответствующем уровне санитарной и экологической безопасности характеризовались бы и эффективными технико-экономическими показателями. Применение примитивных санитарно-технических устройств в индивидуальной застройке (выгребы) и традиционных

простейших сооружений для очистки сточных вод небольшой производительности для сельских населенных пунктов (поля фильтрации) ухудшает санитарную обстановку и ведёт к значительному негативному воздействию на окружающую среду.

В странах Европейского союза (далее – ЕС) в период с 1991 г. действовала Директива Совета Европейского союза 91/271/ЕЕС об очистке городских сточных вод (далее – Директива 91/271/ЕЕС), устанавливающая обязательные требования к сбору, уровням очистки (первичная, вторичная, третичная) и сбросу сточных вод с территорий населенных пунктов в зависимости от эквивалента населения (*population equivalent*, ЭН). Действие Директивы 91/271/ЕЕС в части обязательности организации централизованной системы водоотведения и очистных сооружений в составе первичной (механической) и вторичной (биологической) очистки распространялось на населенные пункты с ЭН от 2 000 человек и выше.

В связи с тем, что проблема негативного воздействия сбросов сточных вод в окружающую среду становилась все острее, вопрос о пересмотре и актуализации Директивы назревал постепенно и потребовал длительной проработки. В ноябре 2024 г. Совет ЕС принял обновленную редакцию Директивы ЕС по очистке городских сточных вод (далее – Директива 2024/3019), вступившую в силу 1 января 2025 г. [2]. Пересмотренная Директива 2024/3019 расширяет сферу действия по очистке сточных вод на более мелкие населенные пункты, охватывает более широкий перечень загрязняющих веществ и способствует достижению энергетической нейтральности. Кроме вышеперечисленных решаемых вопросов пересмотренная Директива устанавливает правила всеобщего доступа к санитарным услугам, прозрачности сектора очистки городских сточных вод, регулярного контроля за соответствующими показателями общественного здравоохранения в городских сточных водах и реализации принципа «загрязнитель платит» [2].

Согласно пункта 2 статьи 3 Директивы 2024/3019 государства-члены ЕС должны обеспечить к 2035 году все населенные пункты с ЭН от 1 000 до 2 000 системами сбора сточных вод с последующей организацией механической и биологической очистки перед сбросом сточных вод в окружающую среду [2].

В Республике Беларусь до настоящего времени законодательные требования к нецентрализованным системам водоотведения (канализации) также находились вне фокуса внимания в сравнении с централизованными системами водоотведения (канализации) населенных пунктов. При этом все виды нецентрализованных систем водоотведения (канализации) сводились преимущественно к выгребам для сбора сточных вод с последующим вывозом ассенизационным транспортом.

Закон Республики Беларусь от 12.03.2026 г. № 131-З «О питьевом водоснабжении и водоотведении» (далее – Закон № 131-З) впервые в стране на уровне закона закрепил требования к организации децентрализованных систем водоотведения (канализации), находящимся в государственной или частной собственности [3].

В настоящее время ведется разработка подзаконных актов на уровне постановления Совмина в части установления требований к пользованию децентрализованными системами канализации и требований по транспортировке сточных вод ассенизационным транспортом. Очевидно, что потребуются внесение изменений в ряд действующих нормативных правовых и технических нормативных правовых актов, регламентирующих отдельные вопросы в части проектирования, строительства, эксплуатации, экологических и санитарно-эпидемиологических требований к децентрализованным системам водоотведения (канализации).

Совершенствование законодательства в части организации децентрализованных систем канализации требует не только правовой базы, но и ее инженерного наполнения. В первую очередь необходима разработка комплекса типовых и вариативных проектных решений по организации и эксплуатации сооружений водоотведения в сельских населенных пунктах (далее – СНП), учитывающих различные гидрогеологические условия, численность населения и сезонность проживания.

Исходя из проанализированных законодательных норм Республики Беларусь, можно выделить два вида критериев при проектировании, строительстве и эксплуатации децентрализованных систем водоотведения (канализации) в СНП: технические и экологические.

Технические критерии – это совокупность характеристик и условий, при которых ограничено или невозможно использование определенных сооружений для отведения и очистки сточных вод. Анализ перечня сооружений очистки сточных вод в составе децентрализованных систем канализации позволил выделить основные, применение которых целесообразно на территории Республики Беларусь: септики, фильтрующие колодцы и траншеи, поля подземной фильтрации, песчано-гравийные фильтры, грунтово-растительные площадки.

Применение данных сооружений обусловлено множеством факторов, включая характеристики грунта, коэффициента фильтрации, уровень грунтовых вод, склонности территории к подтоплению, площади участка, заболоченности местности и других параметров, изложенных в таблице. Выбранные параметры определяют, насколько эффективно и безопасно можно применять те или иные инженерные решения в конкретных условиях.

По совокупности факторов наиболее эффективными с технической

точки зрения будут являться песчано-гравийные фильтры и растительно-грунтовые площадки.

Песчано-гравийные фильтры представляют собой сооружения для почвенной доочистки предварительно осветленных сточных вод (после септиков) путем фильтрации через слои песка и гравия.

Сточные воды из септика поступают в оросительные трубы, равномерно распределяются по фильтрующей загрузке, при механической очистке – задерживают взвешенные частицы через слои песка и гравия, а аэробные бактерии разлагают органику.

Грунтово-растительные площадки – это природоподобные системы доочистки сточных вод, использующие комбинированное действие грунта (почвы), растений и микроорганизмов, обитающих в корневой зоне.

В основном выделяют площадки с горизонтальным и вертикальным потоком в грунте. При использовании площадок с горизонтальным потоком предварительно осветленная сточная вода в септике может подаваться самотеком на площадку с фильтрующей загрузкой (мелкий гравий, крупнозернистый песок). Распределение сточной воды по площадке производится путем устройства слоя фильтрующего материала с большой проницаемостью (щебень), расположенного наклонно во внутренней части сооружения.

Таблица

Характеристики применения сооружений очистки сточных вод в составе нецентрализованных систем водоотведения (канализации) в СНП

Сооружения	Грунты				Коэффициент фильтрации, м/сут			Уровень грунтовых вод (УГВ), м			Склонность к подтоплению			Площадь участка, м <sup>2</sup>				Заболоченность	Санитарно-защитная зона, м	Дополнительные ограничения
	песчаные	суглинистые	глинистые	заболоченные	высокий (>5)	средний (0,5-5)	низкий (<0,5)	высокий УГВ (менее 1,5)	средний УГВ (1,5-3,0)	низкий УГВ (более 3,0)	высокая	средняя	низкая	очень большой участок (>0,5 га)	большой участок (0,15-0,5 га)	средний участок (0,05-0,15 га)	малый участок (до 0,05 га)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Септики	любые				не имеет значения			любой			+	+	+	любая				+	5	Регулярная откачка (раз в 1-3 месяца)
Фильтрующие колодцы	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	8	Производительность ≤1,0 м <sup>3</sup> /сут
Фильтрующие траншеи	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	25	Требуется вентиляция

продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Поля подземной фильтрации	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	15	
Песчано-гравийные фильтры	любые (дно изолируется)				-	+	-	любой			-	-	+	+	+	+	-	+	25	Дорогостоящие, требуют замены загрузки раз в 5-10 лет
Грунтово-растительные площадки	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+*	+	-	-	+	-	В зимний период требуется утепление, необходим уход за растениями

При этом обустройство растительно-грунтовой площадки будет непосредственно зависеть от вида грунта. В песчаных грунтах необходимо искусственно замедлить поток воды, чтобы сточная вода успела очиститься, для этого создают искусственный субстрат из гравия и песка (или используется геотекстиль). В глинистых грунтах необходимо улучшать дренаж и аэрацию с помощью создания специальных слоев (смесь песка или торфа), чтобы сточная вода не застаивалась. На заболоченных участках необходимо выполнить усиленную гидроизоляцию.

Экологические критерии представляют собой запреты и ограничения, направленные на защиту окружающей среды от вредного воздействия сточных вод. Основные экологические ограничения были установлены в пункте 10 ТКП 45-3.01-117-2008 «Градостроительство. Районы усадебного жилищного фонда» (далее – ТКП 45-3.01-117-2008). Данный ТКП 45-3.01-117-2008 заменен на СН 3.01.03-2020 «Планировка и застройка населенного пункта», в котором экологические ограничения уже не были учтены [4; 5].

С экологической точки зрения использование нецентрализованных систем канализации с резервуаром-накопителем (выгребом, септиком) с последующим вывозом ассенизационным транспортом, а также с очистными сооружениями с последующей фильтрацией в грунт (септики с фильтрующими колодцами, траншеями и др.) допускается при величине участка 600 м<sup>2</sup> и более в благоприятных инженерно-геологических и гидрологических условиях. При этом, санитарно-защитную зону септиков следует принимать шириной 5 м, фильтрующих колодцев – 8 м [4, с. 16].

В законодательстве Республики Беларусь не устанавливается прямого запрета на размещение артезианской скважины и выгреба в границах одного земельного участка в СНП, однако в соответствии с [6, с. 8] устанавливается минимальное расстояние между этими сооружениями в 20 метров, что зачастую в условиях усадебной жилой застройки не выдерживается и может приводить к загрязнению подземных вод.

Отсутствие должного правового регулирования в части природоохранного законодательства и отсутствие требований в действующих строительных нормах создают правовой вакуум, препятствующий проектированию и строительству нецентрализованных систем канализации и очистных сооружений в СНП. Сдерживающим фактором является также и отсутствие проработанных комплексов типовых проектных решений по организации и эксплуатации сооружений водоотведения в СНП.

### **Литература**

1. Директива Совета Европейского союза от 21.05.1991 г. Об очистке городских стоков (91/271/ЕЕС), Совет Европейского сообщества – 12 с.

2. Директива Совета Европейского союза от 27.11.2024 г. Об очистке городских стоков (2024/3019) (пересмотренная), Совет Европейского сообщества – 79 с.

3. Закон Республики Беларуси о питьевом водоснабжении и водоотведении от 12 марта 2026 г. № 131-3, Принят Палатой представителей 25 февраля 2026 г., одобрен Советом Республики 27 февраля 2026 г., Минск – 32 с.

4. ТКП 45-3.01-117-2008 (02250) Градостроительство. Районы усадебного жилищного строительства. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019 – 28 с.

5. СН 3.01.03-2020 Планировка и застройка населенных пунктов. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020 – 67 с.

6. Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации источников и систем питьевого водоснабжения // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.02.2024 № 85 «Об изменении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 19 декабря 2018 г. № 914».

УДК 644.6

### **Особенности устройства систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий**

Никитин А. Д., Жовнерчик В. А.

Научный руководитель Лемеш М. И., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются особенности устройства систем водоснабжения высотных зданий. Описаны причины развития высотного строительства, приведены примеры крупнейших высотных зданий мира и Беларуси. Особое внимание уделено техническим проблемам, связанным с подачей воды на большую высоту, включая избыточное давление и возможность возникновения гидравлических ударов. Рассмотрены основные методы решения этих проблем — последовательная и параллельная схемы зонирования систем водоснабжения, их преимущества и недостатки.*

Строительство высотных зданий является экономически целесообразным: в центрах быстрорастущих городов стоимость земли

является высокой, поэтому выгоднее возводить здание вверх, а не вширь, что позволяет с одного квадратного метра земли получить максимальную полезную площадь для офисов, квартир или гостиниц. Современные высотные здания обладают рядом преимуществ:

- позволяют сократить передвижение населения в пределах города: большинство услуг и товаров, а также рабочих мест может быть обеспечено в пределах одного здания;

- высотные здания являются символом престижа, украшением города ввиду уникальности их архитектуры;

- способствуют развитию экономики города: позволяют привлекать дополнительные инвестиции, благоприятствуют развитию бизнеса и туризма.

На сегодняшний день мировым лидером среди высотных зданий является небоскрёб Бурдж-Халифа в Дубае (Объединенные Арабские Эмираты), его высота составляет 828 м (163 этажа) (рис. 1). Второе место занимает небоскрёб Merdeka 118 в Куала-Лумпуре (Малайзия), который достиг в высоту 679 м (118 этажей). Третье место – Шанхайская башня в Китае, высота которой составляет 632 м (128 этажей). Четвёртое место принадлежит Королевской часовой башне в Мекке (Саудовская Аравия), высота которой 601 м (120 этажей). На пятом месте находится Международный финансовый центр Ping An в Шэньчжэне (Китай), высотой 599 м (115 этажей).



а



б

Рис. 1 – Примеры высотных зданий:  
а – Бурдж-Халифа; б – жилой комплекс «Лазурит»

В Беларуси термин «высотное здание» применяется для многоэтажных жилых зданий высотой от 75 м, для зданий иного назначения – от 50 м [1].

На данный момент среди уже построенных высотных зданий в городе Минске можно выделить следующую пятерку лидеров [2,3,4]:

- 1) жилой комплекс «Лазурит», высотой 138,6 м вместе со шпилем (без шпиля – 126 м) и насчитывает 37 этажей (рис.1);
- 2) бизнес-центр «Royal Plaza», высотой 135 м вместе со шпилем (без шпиля – 116 м) (32 этажа);
- 3) жилой комплекс «Парус», его высота составляет 133 м вместе со шпилем (без шпиля – 114 м) (34 этажа);
- 4) жилой комплекс «Славянский квартал», высотой 109 м (29 этажей);
- 5) жилой комплекс D3, высотой 105 м (28 этажей).

На данный момент среди строящихся объектов в городе Минске наиболее высокими станут башня «Газпром Центра», ее высота составит 189 м (36 этажей) [3] и башня Международного финансового центра в жилом комплексе «Минск-Мир», высотой 168,2 м (42 этажа) [4].

Наряду со значительными преимуществами высотные здания сталкиваются со следующими проблемами:

– ветровая нагрузка: на большой высоте ветер раскачивает здание, что вызывает дискомфорт у людей и риск разрушения остекления (решением проблемы является применение демпферов и аэродинамической формы башен); у подножия небоскрёба из-за сильного ветра, срывающегося с высоты, приходится ставить навесы и ветрозащитные экраны, чтобы не сбивать прохожих с ног;

– вертикальный транспорт: обычные лифты занимают слишком много места и требуют пересадок, поэтому приходится использовать скоростные многосекционные системы с компьютерным управлением;

– обеспечение безопасности при возникновении пожара: в высотных зданиях при пожаре огонь и дым распространяется быстро по вертикали, что приводит к определенным трудностям при эвакуации людей, поэтому в высотных зданиях предусматриваются герметичные отсеки, мощная вентиляция, запасные лестницы и особые лифты для экстренных служб;

– обеспечение устойчивости конструкции в экстренных ситуациях: в сейсмоопасных регионах добавляется необходимость в фундаментах-изоляторах и амортизаторах;

– обеспечение достаточного количества парковочных мест, а также создание необходимой инфраструктуры: построить достаточное количество парковочных мест в подземные этажи сложно и дорого, наземные паркинги занимают слишком много места, а автоматические многоуровневые системы требуют сложной механики; к тому же въезды и выезды создают пробки в часы пик;

– экономические проблемы: высокая стоимость строительства и обслуживания таких зданий;

– психологический аспект: жители и сотрудники очень высоких зданий чувствуют себя оторванными от города, у проживающих в высотных зданиях чаще наблюдаются невротические расстройства и фобии [5];

– особенности проектирования инженерных систем зданий, которые существенно отличаются по сравнению со зданиями невысокой этажности.

Одним из ключевых инженерных аспектов при проектировании высотных зданий является устройство систем внутреннего холодного водопровода зданий. Основными задачами при проектировании систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий являются:

– подача воды потребителям на всех этажах с соблюдением допустимых напоров у водоразборной арматуры (в соответствии с [6,7] допустимый напор для хозяйственно-питьевого и объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопроводов должен быть не более 60 м, а для отдельного противопожарного водопровода – не более 100 м);

– необходимость обеспечения надежных систем внутреннего пожаротушения с учетом конструктивных особенностей зданий, которые позволят обеспечить эффективное тушение пожара, быструю его локализацию;

– предотвращение гидравлических ударов в системе внутреннего холодного водопровода.

При проектировании системы внутреннего холодного водопровода ключевой задачей является обеспечение наиболее неблагоприятно и высоко расположенного потребителя водой с необходимым напором, расходом и требуемого качества. По эпюре напоров в водопроводном стояке высотных зданий (рис.2) можно отметить, что соблюдение названных требований приводит к возникновению избыточного напора выше 60 м у водоразборной арматуры, расположенной на нижних этажах [8]. Последствиями высокого давления в трубопроводах системы внутреннего холодного водопровода являются: нарушение герметичности соединения трубопроводов, их разрыв, выход из строя водоразборной арматуры и т.д.

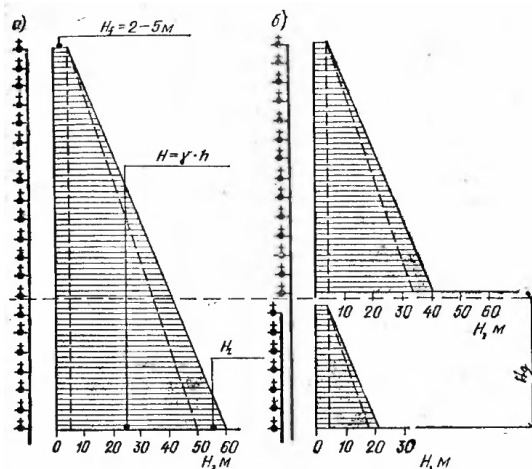


Рис. 2 – Эпюры напоров во внутреннем холодном водопроводе [8]:  
а – для однозонной системы; б – для двухзонной системы

Для решения данных задач при проектировании высотных зданий в Беларуси можно отметить следующие особенности устройства систем внутреннего холодного водопровода [1]:

- все помещения (за исключением квартир, гостиничных номеров, не считая прихожих при них, лестничных клеток, помещений с мокрыми процессами, помещений для инженерного оборудования, в которых не обращаются с горючими материалами) оборудуются автоматическим водяными устройствами пожаротушения; технические помещения (электрощитовые, трансформаторные, архивы, серверные и т.п.) оборудуются установками газового или порошкового пожаротушения;
- системы внутреннего противопожарного и автоматического пожаротушения выполняются отдельными;
- систему внутреннего противопожарного водопровода необходимо зонировать по высоте здания;
- систему водоснабжения здания высотой более 100 м следует проектировать не менее чем с двумя двухтрубными вводами;
- транзитные магистральные трубопроводы, водопроводные стояки должны размещаться за пределами жилых квартир в шахтах для удобства проведения эксплуатационных работ;
- необходимо предусматривать устройство регуляторов давления, гасителей гидроударов;

– для предотвращения возникновения избыточных напор необходимо предусматривать зонирование систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий (разделение здания на несколько зон по высоте).

Остановимся более подробно на теме зонирования водопровода высотных зданий. Применяются две основные схемы зонирования:

- последовательная;
- параллельная.

При **последовательной схеме зонировании** (рис.3) возникает необходимость в устройстве технических этажей, на которых устанавливаются баки, которые являются водонапорными для нижерасположенной зоны и накопительными для вышерасположенной зоны, а также дополнительное насосное оборудование, которое забирает воду из баков и подаёт на следующую зону [5].

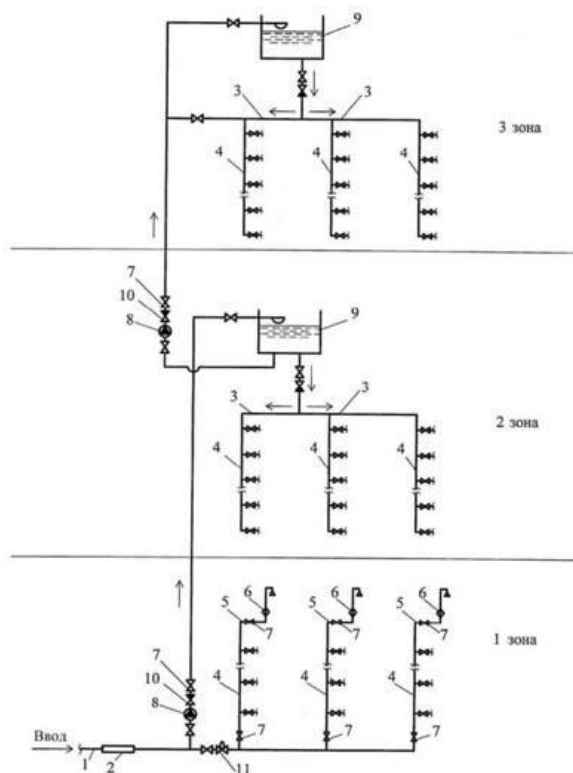
К достоинствам последовательной схемы зонирования можно отнести [5,8]:

- меньшая протяженность трубопроводов;
- большая энергоэффективность при работе насосных установок.

К недостаткам данной схемы можно отнести [5,8]:

– нерациональное использование строительного объёма здания в связи с созданием технических этажей с размещённым на них инженерным оборудованием;

- возможность ухудшения качества воды в баках;
- более низкая надёжность в работе;
- более высокая стоимость при строительстве;
- возникновение вибрации и шума при работе насосных установок, расположенных на технических этажах;
- более сложное обслуживание множества разнесённых по высоте инженерных узлов.

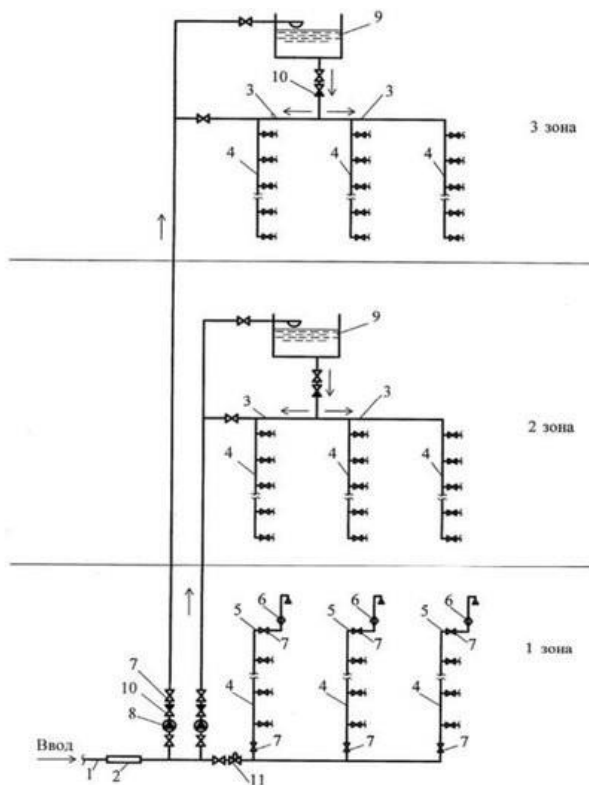


1 – ввод водопровода; 2 – водомерный узел; 3 – магистральный трубопровод; 4 – водопроводные стояки; 5 – подводки к водоразборной арматуре; 6 – водоразборная арматура; 7 – запорная арматура; 8 – насос; 9 – регулирующая ёмкость (водонапорный бак); 10 – обратный клапан; 11 – регулятор давления  
 Рис. 3 – Последовательная схема зонирования

При **параллельной схеме зонирование** (рис. 4) все насосные установки располагаются в нижней части здания. Для каждой зоны предусмотрена своя отдельная группа насосного оборудования, которая рассчитана на расход и напор, необходимый для каждой обслуживаемой зоны [5].

К достоинствам параллельной схемы зонирования относятся:

- отсутствие дополнительных технических этажей для размещения инженерного оборудования;
- удобство при эксплуатации, а также при их автоматизации, так как насосные установки располагаются в одном месте;
- отсутствие шума и вибрации на промежуточных этажах.



1 – ввод водопровода; 2 – водомерный узел; 3 – магистральный трубопровод; 4 – водопроводные стояки; 5 – подводы к водоразборной арматуре; 6 – водоразборная арматура; 7 – запорная арматура; 8 – насос; 9 – регулирующая ёмкость (водонапорный бак); 10 – обратный клапан; 11 – регулятор давления

Рис. 4 – Параллельная схема зонирования

К недостаткам параллельной схемы зонирования можно отнести:

- высокая суммарная протяженность трубопроводов;
- необходимость использования насосных установок, создающих высокое давление, а также материалов трубопроводов и водопроводной арматуры, выдерживающих высокое давление.

Выбор схемы зонирования водопровода высотных зданий во многом зависит от технических и экономических факторов. Например, Бурдж-Халифа работает по последовательной схеме: её 163 этажа разделены на несколько зон с промежуточными баками на технических этажах. Последовательные схемы наибольшее распространение получили в странах

Азии, так как на их территории действуют нормы безопасности, по которым высотные здания должны иметь эвакуационные зоны через каждые 12-15 этажей [5]. В Минске среди высотных зданий преобладают схемы параллельного зонирования, так как они позволяют сократить площадь зданий и более просты в эксплуатации.

Устройство систем внутреннего холодного водопровода высотных зданий является сложным инженерным комплексом, который должен обеспечить водой потребителей на всех этажах с соблюдением допустимых напоров; обеспечить здания надежными системами пожаротушения, а также предотвратить возникновение гидравлических ударов. Применение современных инженерных технологий и оборудования, материалов трубопроводов, выдерживающих высокое давление, регулирующей арматуры, гасителей гидроударов, повышение надежности и бесперебойности работы системы водоснабжения, применение зонирования водопровода высотных зданий обеспечивают гидравлическую устойчивость и долговечность системы внутреннего водопровода высотных зданий.

### Литература

1. СН 3.02.08-2020 Высотные здания. Строительные нормы. - Минск: РУП «Стройтехнорм», 2020. – 64 с.
2. Топ-5 самых высоких зданий Минска, и где сейчас строятся небоскребы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minsk.gov.by/ru/news/new/2023/10/27/2273/>
3. «Газпром Центр» вырос на 15 этажей. Как продвигается строительство самого высокого здания в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minsknews.by/gazprom-czentr-vyros-na-15-etazhej-kak-prodvigaetsya-stroitelstvo-samogo-vysokogo-zdaniya-v-belarusi/>
4. Главный небоскреб страны изнутри [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realt.onliner.by/2025/07/09/glavnyj-neboskreb-strany-iznutri>
5. Рыльцева Ю.А. Особенности проектных решений внутренних систем водоснабжения высотных зданий. // Вестник МГСУ. Том 17. Выпуск 11. – 2022. – с. 1499-1512.
6. СН 4.01.03-2019 Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий. Строительные нормы. - Минск: РУП «Стройтехнорм», 2019. – 34 с;
7. СН 2.02.02-2019 Противопожарное водоснабжение. Строительные нормы. - Минск: РУП «Стройтехнорм», 2019. – 30 с.
8. Кедров В.С. Санитарно-техническое оборудование зданий: учебник для ВУЗов /В.С. Кедров, Е.Н. Ловцов. – М.:Стройиздат, 1989. – 495 с.

**Внедрение энергоэффективных погружных насосных агрегатов на водозаборах подземных вод**

Поляков П.Н., Гритченко А.В.

Научный руководитель – Ануфриев В.Н., к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены мероприятия по повышению энергоэффективности погружных насосных агрегатов, эксплуатируемых на водозаборных скважинах. В качестве мероприятий применяют устройства плавного пуска или преобразователи частоты, работающих в автоматическом режиме, а также оборудование для дистанционного управления насосными агрегатами.*

В настоящее время УП «МИНСКВОДОКАНАЛ» эксплуатирует 15 водозаборов подземных вод, расположенных на территории г. Минска и за его пределами. Общее количество водозаборных скважин составляет 386 сооружений, с суммарной среднесуточной подачей воды 400 – 450 тыс. м<sup>3</sup> [1].

Исходя из практики, удельный расход энергии на подъем воды из водозаборных скважин в резервуары в среднем в 1,5-3,5 раза превышает энергопотребление насосных агрегатов насосных станций второго подъема. В связи чем, задача повышения энергоэффективности погружных насосных агрегатов в водоснабжении является актуальной и важной. Государственная программа «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026 – 2030 годы предписывает ряд направлений в энергосбережении таких как: комплексная модернизация и переоснащение с максимальным внедрением современных наукоемких технологий, совершенствование существующих и внедрение новых энергоэффективных технологических процессов, оборудования и материалов [2].

Основным направлением модернизации существующих насосных станций первого подъема УП «МИНСКВОДОКАНАЛ» является применение энергоэффективных насосных агрегатов, использование устройств плавного пуска или преобразователей частоты вращения, работающих в автоматическом режиме с возможностью дистанционного управления насосными агрегатами и диспетчеризации [3]. По результатам проведенного анализа эффективности работы погружных насосных агрегатов водозаборных скважин, было установлено, что установившийся режим работы насосного оборудования первого подъема характеризуется

относительно низким КПД, что ведет к повышенному расходу электрической энергии. Как мероприятие по повышению энергоэффективности рассматривалась замена насосного агрегата ЭЦВ 10-65-65 в водозаборной скважине на водозаборе «Дражня» на погружной насосный агрегат Wilo Actun ZETOS, который оборудован синхронным электродвигателем на постоянных магнитах, обладающий высоким КПД, а также наличием системой плавного пуска.

Основные характеристики в рабочей точке насосных агрегатов приведены в таблице.

Таблица

Характеристики насосных агрегатов в рабочей точке

Насосный агрегат	Основные характеристики в рабочей точке	
ЭЦВ 10-65-65	Расход, м <sup>3</sup> /ч	65,0
	Напор, м	69,3
	КПД, %	48,5
Wilo Actun Zetos-K8/70-3	Расход, м <sup>3</sup> /ч	65,0
	Напор, м	69,3
	КПД, %	83,7

Характеристики сравниваемых насосных агрегатов представлены на рисунках 1 и 2.

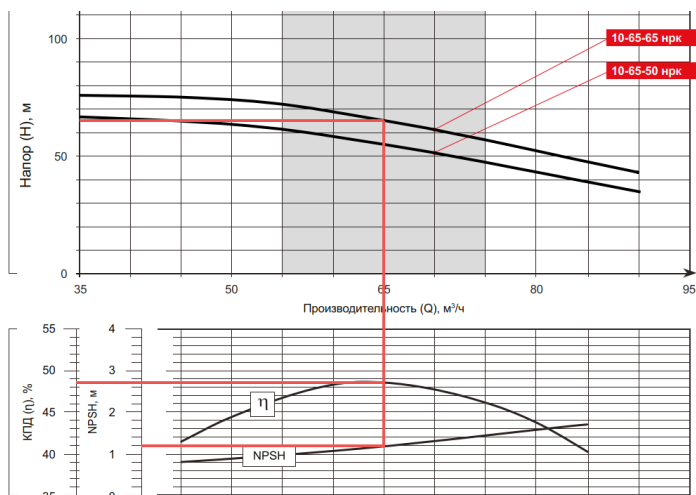


Рис. 1. Характеристики насосного агрегата ЭЦВ 10-65-65

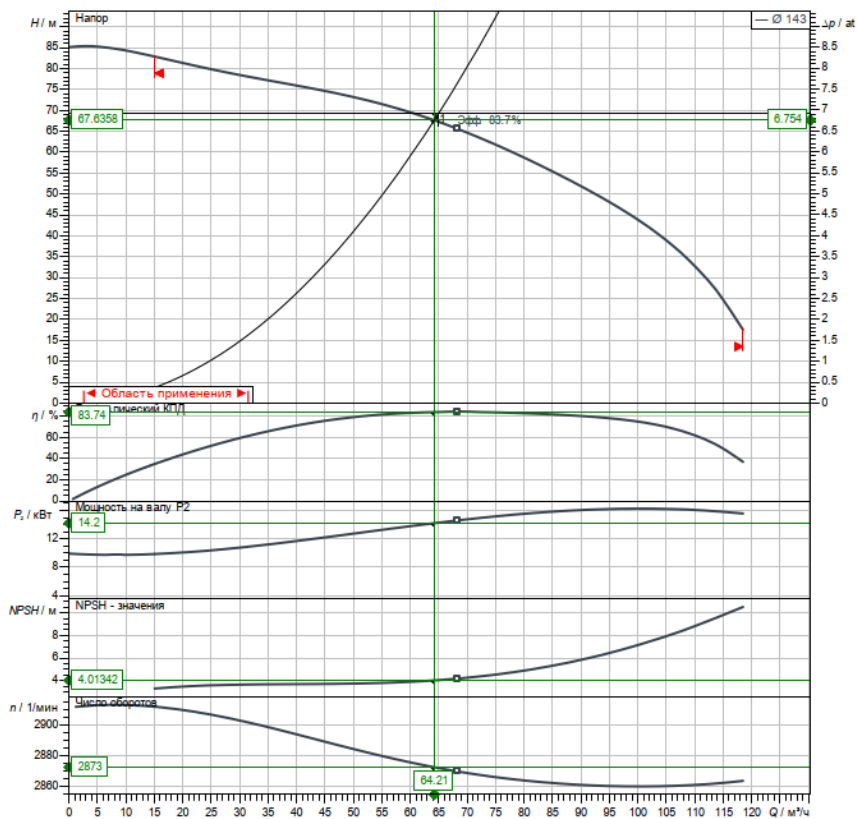


Рис. 2. Характеристики насосного агрегата Wilo Actuna ZETOS- K8/70-3

Стоимость оборудования определялась по данным предложений отечественных торговых компаний и учитывалась стоимость запорной арматуры, подлежащей замене. Оценка экономии электрической энергии и суммарных капитальных затрат на проведение мероприятия выполнялись в соответствии методическими рекомендациями по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, утвержденных Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [4].

Мощность на валу, кВт, насоса определяется по формуле

$$N_{\text{сущ/нов}} = \frac{0,0027 \cdot Q_{\text{сущ/нов}} \cdot H_{\text{сущ/нов}}}{\eta_{\text{сущ/нов}} \cdot 10^{-2}}, \quad \dots(1)$$

где  $Q_{\text{сущ/нов}}$  – расход насосного агрегата,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $H_{\text{сущ/нов}}$  – напор насосного агрегата, м;  $\eta_{\text{сущ/нов}}$  – КПД насосного агрегата, %.

Годовой расход электрической энергии, кВт·ч, для насоса определяется по формуле

$$W_{\text{сущ/нов}} = N_{\text{сущ/нов}} \cdot \frac{П}{Q_{\text{сущ/нов}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{сущ/нов}}$  – мощность на валу насоса, кВт;  $П$  – фактический забор воды из водозаборной скважины за 2024 год,  $\text{м}^3$ .

Годовая экономия электрической энергии, тыс. кВт·ч, определяется по формуле

$$\Delta W = W_{\text{сущ}} - W_{\text{нов}}, \quad (3)$$

где  $W_{\text{сущ}}$  – годовой расход электрической энергии существующего насоса, кВт·ч;  $W_{\text{нов}}$  – годовой расход электрической энергии заменяющего насоса, кВт·ч.

Пересчет годовой экономии электрической энергии в условное топливо, т у.т., осуществляется по формуле

$$\Delta B = \Delta W \cdot \left(1 + \frac{k_{\text{пот}}}{100}\right) \cdot b \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где  $b$  – фактический удельный расход топлива в пересчете на отпуск электрической энергии на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) по итогам работы за 2024 год составляет 302,8 т у.т./кВт·ч;  $k_{\text{пот}}$  – коэффициент потерь электрической энергии в электрических сетях

ГПО «Белэнерго» по итогам 2024 года составляет 7,84%.

При денежном эквиваленте 1 т у. т. = 580 руб., эффект определяется по формуле

$$\Delta \text{Э} = \Delta B \cdot C \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $C$  – стоимость 1 т у. т, руб.

Срок окупаемости, год, внедрения мероприятий определяется формулой

$$C_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta \text{Э}}, \quad (6)$$

где  $K$  – ориентировочная стоимость реализации мероприятия, тыс. руб.

Экономический эффект определялся исходя из энергопотребления насосных агрегатов, указанных в таблице. Дебит водозаборной скважины за год принимался равным 466 100  $\text{м}^3$ , при этом за год снижение энергопотребления оценивалось в 75 800 кВт·ч или 24,8 т у.т. Экономический эффект оценивается в 14,4 тыс. руб., капитальные вложения – 53,2 тыс. руб. Срок окупаемости составил 3,7 года.

Таким образом, задачи по повышению энергоэффективности водопроводных насосных станций требуют комплексного подхода. Использование современных технологий, таких как энергоэффективные насосы, автоматизация процессов и установка частотных преобразователей, а также проведение регулярных энергоаудитов и техническое переоснащение позволят значительно снизить энергозатраты и обеспечить устойчивое функционирование систем водоснабжения.

### Литература

1. Водоснабжение. Режим доступа: <https://minskvodokanal.by/about/activities/water-supply/> (дата обращения: 11.04.2026).
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 31 декабря 2025 г. № 819 «О Государственной программе «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026 – 2030 годы». – С. 8–9, 11.
3. Насосные станции систем водоснабжения : СП 4.01.05-2023 ; введ. 08.08.2023. – Минск : Стройтехнорм, 2023. – С. 37–38.
4. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий - Минск, Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, 2020. – С. 10–12.

УДК 620.197

### **Особенности эксплуатации и защиты стальной арматуры железобетонных конструкций очистных сооружений**

Сергиенко Д. С., Кузьмин П. С.

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

*В статье рассмотрены механизмы коррозии стальной арматуры в железобетонных конструкциях очистных сооружений сточных вод, подверженных воздействию агрессивных сред. В работе проанализированы факторы нарушения пассивности стали, схемы развития коррозии и роль пористой структуры бетона в проникновении микроорганизмов. Статья предлагает комплексный подход для минимизации рисков биокоррозии и продления срока службы очистных сооружений.*

Железобетон является одним из ключевых материалов в современном строительстве, занимая одно из ведущих мест при возведении всевозможных зданий и сооружений. Данный материал известен своей долговечностью и часто не требующий дополнительной защиты от внешних факторов, тем не менее, железобетон сталкивается с риском снижения срока службы из-за коррозии стальной арматуры.

В условиях плотного, ненарушенного бетона, стальная арматура способна сохранять свою целостность в течение всего срока службы конструкций, независимо от уровня влажности окружающей среды. Однако, развитие коррозии стальной арматуры, заключенной в бетоне, возможно при утрате ее пассивного состояния. Ключевыми факторами, провоцирующими нарушение пассивности и, как следствие, коррозию, является воздействие агрессивных сред (содержание хлорид-ионов, процесс карбонизации бетонной матрицы, и наличие механических трещин).

Особую актуальность данная тема приобретает при проектировании и эксплуатации очистных сооружений сточных вод, где железобетонные конструкции постоянно контактируют со сточными водами – высокоагрессивной средой, ускоряющей деградацию как бетона, так и стальной арматуры.

Коррозия металлов представляет собой химическое либо электрохимическое разрушение, возникающее вследствие взаимодействия металлической поверхности с окружающей средой. Сутью данных процессов являются реакции окисления-восстановления, в которых среда выступает в качестве окислителя. В ходе окисления атомы металла теряют электроны, превращаясь в положительно заряженные ионы и образуя, таким образом, коррозионные продукты.

В условиях электролита с достаточно высоким уровнем  $pH$  стальная арматура переходит в пассивное состояние благодаря формированию защитной пленки на поверхности. Сохранение пассивного состояния возможно при достижении динамического равновесия между процессами, способствующими образованию защитной пленки, и факторами, приводящими к нарушению ее целостности. К последним относятся, например, присутствие водородных и галоидных ионов, а также катодная поляризация, это определяет долговечность арматуры в железобетоне. Однако, снижение  $pH$  электролита или нарушение целостности защитной пленки инициирует процесс коррозии.

В железобетонных конструкциях, особенно в условиях эксплуатации очистных сооружений, потеря пассивности стальной арматуры происходит под воздействием следующих факторов:

– **хлорид-ионы**. Снижение  $pH$  электролита, и последующая коррозия стальной арматуры происходит под действием хлорид-ионов. Хлориды

проникают в железобетон путем внесения добавок или мигрируют извне, например в составе сточных вод. На очистных сооружениях железобетонные конструкции (отстойники, песколовки, аэротенки и т. д.) контактирует с агрессивными сточными водами, где концентрация хлорид-ионов на входе очистных сооружений варьируется до 200 мг/л;

– **карбонизация бетона.** Карбонизация защитного слоя бетона – это химический процесс взаимодействия углекислого газа из воздуха с гидроксидом кальция в порах бетона при наличии влаги, приводящего к:

1. Образование карбоната кальция;
2. Снижающего *pH* среды.

Таким образом, увеличение пористости бетона напрямую коррелирует с ускорением процесса карбонизации, и как следствие нарушение пассивности железобетона. Кроме того, наличие трещин в бетонной структуре значительно облегчает проникновение агрессивных внешних сред, такой как сточная вода к поверхности арматуры, что, в свою очередь, является одной из причин коррозии стальной арматуры.

Развитие коррозии на поверхности стальной арматуры в железобетоне протекает по двум схемам.

При 1-ой схеме коррозия стальной арматуры инициируется разрушением бетона в защитном слое. В данном случае первопричиной повреждения конструкции является недостаточная стойкость самого бетона.

При 2-ой схеме развитие процесса коррозии начинается с арматуры. Здесь бетон сохраняет свою целостность (не разрушаясь агрессивной средой), однако дальнейшее разрушение происходит под давлением продуктов коррозии, образующихся на арматуре. Этот механический разрушительный процесс, типичный для влажного воздуха или периодического увлажнения, чаще наблюдается во влажных цехах, особенно при загрязненной атмосферной среде.

Очистка хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод перед сбросом в водный объект происходит на городских очистных сооружениях. Канализационные очистные сооружения являются основным местом биологической очистки содержащих агрессивную биологическую среду. Разнообразие микроорганизмов и органических веществ в сточных водах воздействует как на сами загрязнения, так и на железобетонные конструкции водоочистных станций, таких как аэротенк, вторичные отстойники и т. д. Следовательно, при строительстве и реконструкции таких сооружений необходимо учитывать эти агрессивные факторы.

Пористая структура бетона создает условия для проникновения микроорганизмов в его структуру и участия их в коррозионных процессах. Поры диаметром от  $10^{-4}$  до  $10^{-7}$  мкм в микроструктуре цементного камня

способствуют фильтрации жидкости, улавливая на поверхности бетона мелкие частицы и микроорганизмы. Микроорганизмы размером  $1^{-10}$  мкм способны проникать и внутрь железобетона.

Сточные воды являются благоприятной средой для роста и размножения микроорганизмов, которые ускоряют процесс коррозии, и тем самым разрушая строительные материалы в десятки и сотни раз, по сравнению с действием атмосферно-климатических факторов [1].

В результате биокоррозии железобетонных конструкций, очистные сооружения сточных вод требуют частого ремонта и больших затрат средств на его осуществление.

Микробиологическое состояние микроорганизмов в иловой смеси сточных водах приводящее к коррозии стальной арматуры, не контролируется, а фиксируется факт уже видимых повреждений, что в частности связано с отсутствием быстрых и эффективных методов контроля содержания и активности микроорганизмов на поверхности очистных сооружений сточных вод (аэротенк, вторичные отстойники и т. д.), а также из-за сложности разделения влияния на объекты микробиологических, атмосферных и климатических факторов.

Предотвратить возникновение биокоррозии гораздо легче, чем потом бороться с ее последствиями. Для защиты железобетонных конструкций от биоповреждений существует несколько подходов:

- использование водостойкого бетона;
- пропитка бетона гидрофобными материалами;
- покраска поверхности и др. [2].

Эффективным методом защиты поверхности очистных сооружений сточных вод от биокоррозии, вызванной микроорганизмами, является использование антимикробных препаратов, пропиток и покрытий для защиты железобетонных конструкций (аэротенк, вторичные отстойники и т. д.).

В настоящее время оперативно определить состояния железобетона и отследить развитие микроорганизмов на их поверхности метод позволяет методы рН-метрии, биокалориметрии и биолюминесценции. Анализ микробиологического состояния поверхности конструкций дает возможность быстро оценивать степень их биокоррозии и разрабатывать меры защиты очистных сооружений от биоповреждений.

Также во избежание коррозии стальной арматуры, проектирование нового строительства и реконструкции зданий и сооружений в Республики Беларусь производится в соответствии техническими нормативными правовыми актами и должно осуществляться с учетом опыта эксплуатации аналогичных строительных объектов, при этом следует предусматривать

анализ коррозионного состояния конструкций и защитных покрытий с учетом вида и степени агрессивности среды [3].

Требования по первичной и вторичной защите от коррозии строительных конструкций устанавливаются для конструкций со сроком эксплуатации 50 лет в соответствии с СН 2.01.01. Для бетонных и железобетонных конструкций с проектным сроком эксплуатации 100 лет (5 категория проектного срока эксплуатации по СН 2.01.01) класс среды по условиям эксплуатации повышается на одну ступень [4].

По степени воздействия на строительные конструкции условия окружающей среды при химической коррозии подразделяют на неагрессивные, слабоагрессивные, умеренно агрессивные и сильноагрессивные, а также на соответствующие им классы среды по условиям эксплуатации. Классы среды по условиям эксплуатации представлены в таблице.

Таблица

Классы среды по условиям эксплуатации

Класс среды по условиям эксплуатации	Характеристика среды
ХА0	Неагрессивная
ХА1	Слабоагрессивная
ХА2	Умеренно агрессивная
ХА3	Сильноагрессивная

По физическому состоянию среды делятся на газообразные, твердые и жидкие. По характеру воздействия среды делятся на химически и биологически активные.

Класс среды по условиям эксплуатации определяют для:

– газообразных сред – видом и концентрацией газов (группа газов) и температурно-влажностным режимом помещений или районом влажности территории;

– твердых сред – видом, растворимостью в воде и гигроскопичностью отдельных компонентов, содержащихся в пыли, в сочетании с температурно-влажностным режимом помещений, химическим составом и количеством растворимых солей в грунте и районом влажности территории;

– жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных компонентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкций;

– биологически активных сред – наличием бактерий, водорослей, грибов и их спор.

При одновременном воздействии агрессивных сред различных классов по условиям эксплуатации принимают требования, относящиеся к среде более высокого класса [3]. При проектировании очистных сооружений сточных вод на железобетонные сооружения в основном влияет жидкая среда так как сточные воды являются агрессивной и биологически активной средой. Основным методом очистки сточных вод является биологически протекающий железобетонном сооружении аэротенке. Таким образом важно учитывать среду эксплуатации при проектировании очистных сооружений.

В зависимости от условий воздействия агрессивных сред на бетонные и железобетонные конструкции среды эксплуатации подразделяют на также на классы по условиям эксплуатации конструкций. Классы среды по условиям эксплуатации конструкций при воздействии различных агрессивных сред устанавливают в соответствии с СТБ 1544 [5] (соответствующие им классы экспозиции согласно СТБ EN 206). Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона агрессивной среды следует устанавливать в зависимости от проницаемости бетона с учетом марки бетона по водонепроницаемости.

Для бетонных и железобетонных конструкций, контактирующих с агрессивными средами, такими как сточные воды, следует применять бетон марки по водонепроницаемости не ниже W4 [3].

Таким образом, эффективная защита стальной арматуры от коррозии в железобетонных конструкциях, особенно в агрессивных средах, требует комплексного подхода, включающего применение современных материалов, технологий защиты, а также строгого соблюдения нормативных требований. Своевременный контроль и анализ состояния конструкций позволит обеспечить их долговечность и надежность в процессе эксплуатации.

### Литература

1. Ерофеев, В.Т. Микробиологическое разрушение материалов: учеб, пособие / В.Т. Ерофеев [и др.]; под ред. В. Т. Ерофеева и В.Ф. Смирнова. – М.: Изд-во Ассоциации строит. ВУЗов, 2008. – 128 с.
2. Кудрявцев, И.А. Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений: пособие по спец. «Технический надзор» / И.А. Кудрявцев, М.В. Беспалова, А.А. Васильев. – Гомель: БелГут, 2003. – 265 с.
3. СН 2.01.07.2020 Защита строительных конструкций от коррозии. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2023. – 71 с.
4. СН 2.01.01.2022 Защита строительных конструкций от коррозии. Основы проектирования строительных конструкций. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2025. – 65 с.

5. СТБ 1544-2005 Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – Минск: Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005. – 36с.

УДК 628.12

**История развития ОАО «Завод Промбурвод»:  
эволюция насосного оборудования**

Толярёнок А.Г.

Научный руководитель Майорчик А.П., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены основные этапы технического развития предприятия и смена номенклатуры выпускаемого насосного оборудования от первых поршневых насосов до современных погружных агрегатов с цифровыми системами управления.*

Предприятие основано 1 августа 1927 г. при тресте «Водбюро», как механические мастерские. Штат составлял 10 человек, станочный парк — один токарный, два сверлильных станка и кузнечный горн. Основной задачей являлся ремонт бурового инструмента и изготовление скважинных фильтров. В 1931 году после перехода в ведение треста «Белводтрест» были построены новые корпуса, освоен ремонт артезианских насосов. В годы войны мастерские полностью разрушены; восстановление началось в 1944 году с ремонта поршневых насосов, компрессоров и глиномешалок. В январе 1955 г. мастерские получили статус завода и приступили к серийному выпуску штанговых поршневых насосов НЛ-3 (глубина подъёма воды 40–80 м). За 23 года изготовлено свыше 20 тысяч таких насосов, которые поставлялись в БССР, РСФСР и УССР.

Принципиальный поворот произошёл в 1958–1967 гг. С 1958 г. в СССР начался выпуск погружных электронасосных агрегатов, которые постепенно вытесняли штанговые системы. В 1959 г. предприятие переименовано в «Завод насосно-бурового оборудования», а в 1967 г. освоило капитальный ремонт погружных скважинных электронасосов. С 1972 года завод размещается в новом комплексе на ул. Асаналиева, 29, где были созданы конструкторский отдел и механический участок. В 1984 г. предприятие стало головным в БССР по ремонту скважинных электронасосов; мощность ремонтного участка достигала 6000 агрегатов в

год. Внедрение первых станков с ЧПУ подготовило переход к собственному производству.

В феврале 1992 г. завод освоил выпуск пяти типоразмеров погружных скважинных электронасосов (2778 новых агрегатов за год). К моменту акционирования в 1994 г. он полностью обеспечивал потребности Беларуси. В 1997 г. аккредитована испытательная лаборатория, в 2001 г. начат выпуск станций управления и защиты «Сигнал». Стратегическим шагом стало партнёрство 2005 г. с мировым производителем погружных электродвигателей Franklin Electric, что позволило повысить надёжность и экспортный потенциал изделий [1].

В составе Группы ГМС проведено техперевооружение: сертифицирована система качества ISO 9001 (2009), начат выпуск скважинных агрегатов СПА (2013) и станций повышения давления (2014). С 2015 г. для ускорения проектирования применяется 3D-печать элементов проточной части насосов. В 2016 г. реализован проект диспетчеризации 18 сельских водозаборов в Мостовском районе. С 2020 г. освоены погружные электродвигатели в нержавеющей корпусе и станции управления с телеметрией. Номенклатура превышает 650 типоразмеров: скважинные насосы ЭЦВ, СПА, бустерные и тепловые установки, дренажные насосы «ГНОМ». Продукция экспортируется в Россию, Казахстан, Узбекистан, страны Балтии. Завод участвует в переводе Минска на артезианское водоснабжение и готовит выпуск 12-дюймового агрегата производительностью 160 м<sup>3</sup>/ч. Внешний вид завода на сегодняшний день представлен на рисунке 1 [2].



Рис. 1. ОАО «Завод Промбурвод» сегодня

### Литература

1. Козорез, А. С. Дорогами времени: история ОАО «Завод Промбурвод»: 1927–2017. — Минск, 2018.
2. Официальный сайт ОАО «Завод Промбурвод» — История, Хроника, О заводе [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://promburvod.com/>. Дата доступа: 10.05.2025.

## Управление ливневыми стоками в городской инфраструктуре

Хаданович Ж.О., Зорочкина М. С.

Научный руководитель Бушуева Е. В., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье рассматриваются инновационные методы управления ливневыми стоками в городской инфраструктуре.*

Грамотное и эффективное отведение ливневых стоков - важная тема в управлении городской инфраструктуры, которая обеспечивает надежное водоотведение дождевых и талых вод, поддержание экологической безопасности населения, а также устойчивого развития городов.

Ливневые стоки это непредсказуемый объем воды, который необходимо быстро и качественно отвести. Кроме того, они существенно отличаются количественными и качественными характеристиками от хозяйственно-бытовых стоков. Проблема остаётся актуальной на сегодняшний день [4; 5].

Ниже последовательно рассматриваются инженерные проекты и операционные принципы ряда технологий, направленных на минимизацию негативных эффектов от поверхностного стока.

### 1. Проницаемые дорожные покрытия;

В отличие от сплошных водонепроницаемых слоёв (асфальтобетон, монолитный бетон), пористые конструкции покрытий обеспечивают инфильтрацию осадочной влаги в толщу грунта и горизонты подземных вод.

Главными эффектами внедрения выступают: стимулирование естественной инфильтрации, сокращение пиковой нагрузки на коллекторную сеть, предотвращение локальных подтоплений и улучшение экологических параметров городской среды.

Механизм функционирования пористого покрытия включает несколько последовательных стадий:

- Пропускание осадков: вода беспрепятственно поступает через поры специализированных элементов мощения (брусчатки, кирпича).
- Фильтрационно-сорбционная очистка: загрязняющие вещества задерживаются в подстилающих слоях из гравийной засыпки и почвенном субстрате.
- Отведение в подпочвенную толщу: избыточная жидкость аккумулируется в дренирующих полостях либо постепенно просачивается в грунтовые воды.

Сферы применения:

- пешеходные зоны и тротуары;
- наземные парковочные площадки;
- рекреационные пространства (парки, скверы, общественные площади);
- внутриквартальные дороги и придомовые территории.

Достоинства технологии:

- снижение антропогенной нагрузки на ливневую канализацию;
- минимизация рисков затопления за счёт сокращения поверхностного слоя воды;
- локальный эффект понижения температуры поверхности (ослабление феномена «теплого острова»);
- длительный срок эксплуатации и невысокая потребность в специализированном обслуживании.

Ограничения:

- более высокая начальная стоимость материалов и укладки по сравнению с традиционными покрытиями;
- ограниченная несущая способность – нецелесообразность применения на магистралях с высокой интенсивностью движения (рекомендовано для малонагруженных и пешеходных зон) [1; 2].

2. Подземные резервуары аккумуляции дождевой воды;

Указанные сооружения представляют собой искусственные ёмкости (либо заглублённые водоёмы), воспроизводящие естественные механизмы очистки, характерные для природных водосборных бассейнов.

Поступающие объёмы проходят следующие этапы обработки:

- гравитационное осаждение: удаляются взвешенные частицы, металлосодержащие соединения и органика;
- биотическая ассимиляция: микрофлора (бактерии, водоросли) и макрофиты сорбируют остаточные загрязнители.

Подобные системы сохраняют стабильный уровень водного зеркала и осуществляют сброс лишь при экстремальных ливневых событиях, чем принципиально отличаются от сухих прудов-накопителей.

Резервуары применяются для территорий с высокими фильтрационными свойствами грунтов (быстрый транзит воды и снижение уровня) и могут замещать традиционные пруды-регуляторы.

Ключевые преимущества:

- устойчивое улучшение качественных характеристик аккумулярованной воды;
- восполнение запасов подземных горизонтов;
- повышение эстетической привлекательности застройки;

– расчётный срок службы (при надлежащем обслуживании) – более 20 лет;

– совместимость с инфильтрационными дренажными системами.

Недостатки:

– значительные первоначальные инвестиции;

– необходимость тщательного предпроектного анализа: оценка потенциального воздействия на смежные водно-болотные угодья, риска загрязнения грунтовых вод (в противном случае возможно ухудшение качества воды) [2].

3. Элементы ландшафтно-биологической инфильтрации (биодренажные канавы, проницаемые кровли и пр.);

Перечисленные компоненты могут эксплуатироваться как автономно, так и в комбинации друг с другом, а также интегрироваться с традиционными инженерными сетями.

Биодренажные канавы — линейные понижения рельефа, оснащённые растительным слоем и многослойной фильтрующей загрузкой. Верхний растительный горизонт на песчаном основании задерживает загрязнители и регулирует скорость инфильтрации в нижележащие слои. Промежуточный слой из геотекстиля предотвращает вымывание мелких фракций. Дренирующий горизонт (гравий, щебень) обеспечивает отвод очищенной воды в почву либо в водосточные трубы, подключённые к ливневой канализации.

Проницаемые кровельные системы подразделяются на «зелёные» и «синие».

«Зелёные» крыши способствуют улучшению атмосферного воздуха и качества собираемой воды, одновременно снижая энергопотребление здания. Удерживается от 40 до 80 % выпадающих осадков; сброс происходит с замедлением, что уменьшает пиковые поступления в коллекторы.

«Синие» крыши предназначены для кратковременного накопления дождевой воды с последующим постепенным дренированием. Они не обеспечивают очистку, однако за счёт временной буферизации снижают вероятность аварийных переливов из общесплавных канализационных систем в периоды интенсивных осадков [3].

4. Сифонная кровля;

Сифонная кровля функционирует на основе гидравлического явления сифонирования, обеспечивая принудительный отвод ливневых стоков и тем самым предотвращая застой воды и сопутствующие разрушения ограждающих конструкций. Интеграция полного набора сифонных компонентов в состав кровельного покрытия гарантирует своевременную эвакуацию дождевых вод.

Ключевые преимущества сифонных кровельных систем:

– высокая интенсивность водоотведения: обеспечивается оперативное удаление ливневых стоков с кровельного покрытия, исключается образование локальных скоплений воды;

– снижение механической нагрузки на несущие конструкции: уменьшается воздействие, обусловленное массой задержавшейся жидкости, что способствует увеличению эксплуатационного ресурса сооружения;

– сохранение целостности строительных конструкций: предотвращаются протечки и связанные с ними разрушения, провоцируемые гидростатическим давлением.

Недостатки системы:

– значительные начальные капиталовложения из-за сложности проектных и монтажных работ;

– необходимость регулярного технического контроля герметичности каналов;

– обязательное применение профессионального оборудования и высокая квалификация монтажников.

Проведённый анализ инженерных решений в области управления поверхностным стоком показывает, что переход от концепции «тотального водоотведения» к децентрализованной системе инфильтрации и аккумуляции представляет собой объективную тенденцию реконструкции городской дренажной инфраструктуры.

Традиционные подходы, ориентированные исключительно на наращивание пропускной способности коллекторных сетей, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях учащения экстремальных ливневых событий и высокой антропогенной нагрузки на водоприёмники.

## Литература

1. 7 примеров методов управления ливневыми водами – Yude Rain Eco [Электронный ресурс]: <https://www.yuderaineco.com/ru> – Дата доступа: 10.05.2026.

2. Кайданович, А.Д. ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД / А. Д. Кайданович, В. Н. Смертин // Вестник науки. – 2023. – № 10 (67), Том 3. – 582 с.

3. Берёзко, О. М. Системы и отдельные устройства для управления ливневыми стоками / О. М. Берёзко, А. С. Козич // Лесное хозяйство: материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 января–16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – 46 с.

4. Радомцева, А. С. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА: материалы XIII Международной

студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» / А. С. Радомцева. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – 114 с.

5. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. М.: Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве, 2019. – 166 с.

УДК 628.336.098.4

### **Биологические методы десульфуризации биогаза**

Черняк С.Н., Бабич А.А

Научный руководитель Ануфриев В. Н., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье рассмотрены современные методы десульфуризации биогаза, образующегося в биогазовых комплексах станций очистки сточных вод. Суть метода основано на способности сульфобактерий окислять сероводород до элементарной серы или сульфатов, в присутствии кислорода, подаваемого в небольших количествах.*

Одним из направлений оптимизации энергопотребления на станциях очистных сооружений является внедрение и использование биогазовых технологий производства энергии.

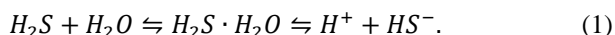
Биогазовый комплекс на современных очистных сооружениях представляет собой комплекс сооружений метантенков, газгольдеров, десульфуризатора и прочего основного оборудования.

В основе технологии работы биогазового комплекса лежит принцип анаэробного сбраживания осадка в метантенках. Продуктом анаэробного сбраживания является биогаз, образующийся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов органических веществ при отсутствии кислорода. В качестве исходного субстрата для сбраживания обычно используется сырой осадок или избыточный активный ил.

Биогаз представляет собой горючую смесь газов, таких как метан (50-80%), углекислый газ (15-50%), аммиак (менее 1%), сероводород (0-3%). По составу биогаз близок к природному газу, но имеет меньшую теплоту сгорания из-за высокого содержания углекислого газа.

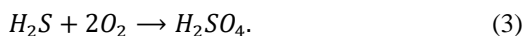
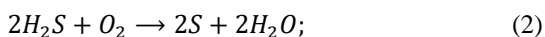
Для дальнейшего использования биогаза требуется очистка от содержащихся примесей. Целью очистки является повышение

концентрации метана, защита оборудования от коррозии, снижения вредных выбросов в атмосферу. Одной из задач обработки биогаза является удаление содержащегося сероводорода. Сероводород является агрессивным газом, провоцирующим кислотную коррозию. При контакте с влагой, присутствующей в биогазе, он образует кислоты, которые вызывают интенсивную коррозию газопроводов, двигателей внутреннего сгорания, когенерационных установок, датчиков и счётчиков. Реакция взаимодействия сероводорода с водой описывается уравнением:



В результате образуется сероводородная кислота, которая вызывает коррозию оборудования.

При наличии кислорода в биогазе сероводорода происходит реакция выделения элементарной серы. Также сероводород может окисляться серной кислоты, которая ускоряет процессы коррозии:



Основными методами очистки биогаза от соединений серы являются мокрое удаление сероводорода (использование скрубберов с жидким поглотителем) и сухое удаление (с использованием поглотителей в виде порошков или гранул).

Технология с мокрым удалением сероводорода предусматривает применение скруббера в виде колонны в которую подают раствор  $NaOH$  в качестве жидкого поглотителя

Биогаз поступает в колонну в нижнюю часть, в верхнюю часть колонны подаётся насосом раствор гидроксида натрия  $NaOH$  и техническая вода. Противоточный процесс протекает в колонне, где биогаз контактирует с циркулирующим раствором  $NaOH$ , в результате производится поглощение сероводорода из биогаза при его реакции с гидроксидом натрия с получением  $NaHS$  и бикарбоната натрия. Для обеспечения эффективности очистки и контроля расхода реагентов, производится измерения содержания  $H_2S$  и значений  $pH$ . Избыточный  $NaOH$ , отправляется обратно в газоочиститель циркуляционным насосом. Технология требует постоянной закупки дорогих реагентов, которые необходимы для скрубберов.

Изучаются возможности снижения расхода реагентов при удалении сероводорода. Альтернативным методом удаления сероводорода из биогаза

с использованием биологической очистки, которая основана на сорбции загрязняющих веществ из газообразного потока водной фазой с последующей деструкцией сорбированных загрязнений микроорганизмами. Биологические методы удаления сероводорода из биогаза имеют различные исполнения.

Оборудования для реализации процесса **SULFURIX** состоит из скрубберной башни, содержащей систему распределения реагента орошением на входе башни и два модуля, которые не забиваются потоком реагента и биогаза.

Исходный биогаз подаётся в нижнюю часть скруббера и начинает подниматься вверх, встречаясь с орошающим раствором, который распыляется сверху. Раствор адсорбирует  $H_2S$  и переносит его по скрубберу, а серобактерии, расположенные на модульных фильтрующих материалах, окисляют сероводород до элементарной серы. В скруббер подаётся небольшое количество кислорода, для поддержания аэробного процесса. Схема установки **SULFURIX** приведена на рисунке 1

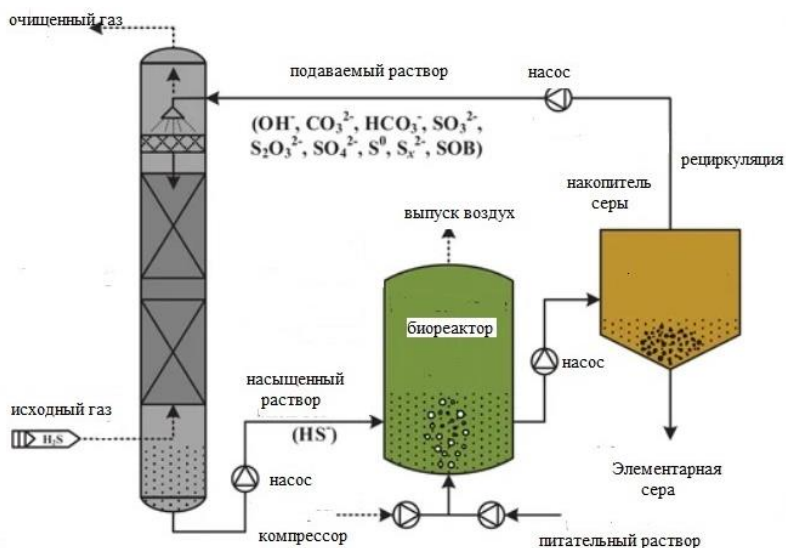


Рис.1. Схема система установки **SULFURIX**

Процесс **SULFURIX** не требует добавления химикатов или дорогостоящей замены фильтрующих материалов, что характеризуют его чрезвычайно экономичным решением для очистки биогаза, что значительно снижает эксплуатационные расходы. .

Внутри башни биогаз «промывается» аэрированными сточными водами, не содержащими сульфитов. Обычно в качестве промывочной воды используется иловая смесь из аэрационного резервуара аэробной системы очистки. Активный ил идеально подходит в качестве промывочной жидкости благодаря своему высокому  $pH$  и связанной с ним буферной способности.

Как правило, в одноступенчатом скруббере удается удалить около 80–95 % сульфидов. В одноступенчатой установке эффективность в значительной степени зависит от расчетной высоты десульфуризационной колонны. Также выпускаются двухступенчатые скрубберы (две установки *SULFURIX*, работающие последовательно), которые могут повысить совокупную эффективность удаления более 99 %.

Поскольку потери давления в скруббере минимальные, обычно не требуется использование нагнетателей для подачи биогаза. Биогаз подается под достаточным давлением непосредственно в анаэробных реакторах, и соответствует требованиям установки *SULFURIX*.

Очистка происходит с постоянной скоростью в любое время, для всех потоков и концентраций  $H_2S$ . Эффективность удаления остается постоянной по всей высоте и ширине скруббера.

Принцип естественного растворения  $H_2S$  в воде делает скрубберу *SULFURIX* возможность для очистки биогаза с высоким содержанием  $H_2S$  (с концентрацией более 1%).

#### **Установка десульфуризации *BiogasCleaner*.**

Установки включают биофильтр капельного орошения, работающий при низком  $pH$  в одном или нескольких резервуарах из стекловолокна или стали, с кислотостойкой облицовкой. Внутри биофильтра находится пластиковый наполнитель, на котором образуют биопленку бактерии. Исходный биогаз, содержащий  $H_2S$ , подается в реактор. Сверху на наполнитель постоянно разбрызгивается орошающая жидкость (скрубберная жидкость), для обеспечения бактерий влагой и питательными веществами. Микроорганизмы являются аэробными, поэтому в поток биогаза на входе подается небольшое количество атмосферного воздуха. Сероводород переходит из газовой фазы в жидкую, а затем поглощается биопленкой, где бактерии превращают его в сульфаты. Образующийся сульфатный раствор (который может использоваться как жидкое удобрение) выводится из системы.

В случае засорения газоочистители *BiogasCleaner* разработаны таким образом, чтобы их можно было полностью очистить менее чем за один рабочий день, без ручного удаления фильтрующего материала из резервуара, с помощью так называемой системы *QSR* (Быстрое удаление шлама). Содержание  $H_2S$  в очищенном газе на уровне всего 0,001% и может

использовать чистый кислород вместо атмосферного воздуха для дальнейших инженерных решений. При больших нагрузках используются несколько башен *BiogasCleaner*.

Процесс *Biopuric* предназначен для очистки биогаза с концентрацией сероводорода от 0,1 до 1,5 % и загрузкой отдельных модулей до 200 кг. Степень удаления сероводорода стабильно составляет от 90 до 99%.

Система *Biopuric* представляет биофильтр с капельным орошением, работающий в диапазоне *pH* от 1 до 3, при мезофильных температурах и в условиях с низкой концентрации растворенного кислорода. Определенная объемная доля воздуха впрыскивается в биогаз перед его поступлением в биологический реактор. Схема установки *Biopuric* приведена на рисунке 2.

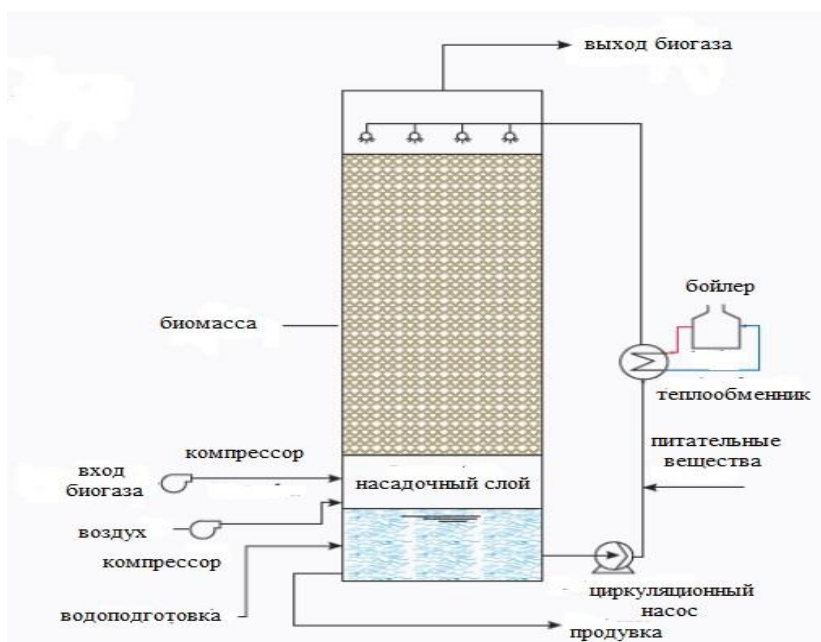


Рис. 2. Схема системы установки *Biopuric*

В обычной эксплуатации более 65% содержания сероводорода, удаляемого в системе *Biopuric*, преобразуется в элементарную серу. Большая часть этой серы накапливается в биопленке на фильтрующем материале биофильтра. Избыток биопленки периодически удаляется из установки. В зависимости от фактических условий эксплуатации, обычно требуется проводить удаление от четырех до двенадцати раз в год для каждого реактора. Помимо периодической промывки, работа реактора

требует минимального внимания и полностью автоматизирована. Кислотность в реакторе обычно регулируется путем продувки циркулирующей жидкости с подачей из источника чистой воды.

Технология *Biopuric* считается одной из немногих индустриальных биотехнологий, специально разработанных для удаления  $H_2S$  из биогаза.

Рассмотренные технологии позволяют осуществлять эффективную очистку биогаза от сероводорода при низких эксплуатационных расходах, не требуют использования дорогостоящих реагентов, а также замены дорогостоящих фильтрующих материалов.

### Литература

1. Обработка осадков сточных вод: учеб.-метод. пособие /О. К. Новикова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. универ. трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.

2. Малышева А. А. Биофильтрация как способ дезодорации газовых выбросов при работе станций аэрации. «САНТЕХНИКА» № 3, 2015 с40-42

3. СН 4.01.02.2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024. – 80 с.

4. Biogas upgrading Evaluation of methods for  $H_2S$  removal – Danish technological institute, 2014 – 31 p.

УДК 629.735

### **Эколого-экономическое обоснование выбора сооружений для очистки поверхностных сточных вод с селитебной территории населенных пунктов**

Шавейко К.Н.

Научный руководитель Дубенок С.А., к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В результате интенсивного развития городов застроенные территории всё более уплотняются, что ведет к постоянному увеличению доли твердых водонепроницаемых покрытий и, как следствие, к увеличению подтопления территорий в период выпадения интенсивных осадков. Данная проблема может быть решена использованием «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур, которые не только в экологическом плане превосходят традиционную систему дождевой канализации, но и в экономическом плане также имеют преимущество.*

Проблема отвода и очистки поверхностных сточных вод в современных населённых пунктах становится всё более актуальной вследствие интенсивной урбанизации, увеличения доли водонепроницаемых покрытий и роста количества экстремальных осадков, связанных с изменением климата. Развитие жилой и транспортной инфраструктуры приводит к ускоренному формированию поверхностного стока в результате выпадения осадков, перегрузке систем дождевой канализации и регулярным подтоплениям городских территорий.

Традиционные системы дождевой канализации ориентированы преимущественно на быстрый сбор и отведение дождевых и талых вод в ближайшие водные объекты. Однако такой подход не обеспечивает восстановление естественного водного баланса, не снижает нагрузку на инженерные сети и не позволяет эффективно использовать дождевые воды как ресурс.

В мировой практике всё более широкое распространение получают устойчивые дренажные системы (Sustainable Urban Drainage Systems, SuDS) [1], основанные на принципах сохранения естественного гидрологического цикла. Их основными задачами являются:

- временное аккумулирование поверхностных сточных вод;
- очистка поверхностных сточных вод путем инфильтрации в окружающую среду;
- повторное использование поверхностных сточных вод;
- снижение риска подтоплений;
- улучшение экологического состояния городской среды.

Реализация данных принципов осуществляется посредством элементов «синей» и «сине-зелёной» инфраструктуры. «Синяя» инфраструктура включает инженерные сооружения для накопления и регулирования стока, а «сине-зелёная» сочетает водоотводящие функции с озеленением территории.

В рамках исследования проведен сравнительный эколого-экономический анализ трех проектных решений по обращению с поверхностными сточными водами на территории проектируемой жилой застройки одного из населенных пунктов Минской области. Территория застройки площадью 11,43 га разделена на два основных типа покрытий: здания и асфальтобетонные покрытия – 6,61 га и газоны и зеленые насаждения – 4,82 га.

Приняты три принципиально различных проектных решения по обращению с поверхностными сточными водами:

1. Традиционная «серая» инфраструктура в виде закрытой самотечной системы дождевой канализации с очистными сооружениями и

последующим сбросом очищенных сточных вод в поверхностный водный объект;

2. Система закрытой дождевой канализации с очистными сооружениями и последующей инфильтрацией очищенных вод в грунт с применением фильтрующих траншей;

3. Система сбора и отведения дождевых вод с комбинацией элементов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктуры.

Основным критерием для выбора и реализации проектных решений будет являться национальное законодательство в области архитектурно-градостроительной деятельности, охраны окружающей среды и санитарно-эпидемиологического благополучия населения:

- Водный кодекс Республики Беларусь;
- СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения»;
- ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод»;
- Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 26.05.2017 № 16 «О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод»;
- показатели безопасности и безвредности воды водных объектов для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) использования и воды в ванне бассейна, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 №37.

При сбросе поверхностных сточных вод в водные объекты через системы дождевой канализации требуется их очистка, а нормативы качества сбрасываемой воды устанавливаются по трем показателям: взвешенные вещества, нефтепродукты и водородный показатель (рН). При этом допустимые концентрации для очищенных поверхностных сточных вод составляют: по взвешенным веществам не более 20 мг/дм<sup>3</sup>; по нефтепродуктам – не более 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Соответственно, при сбросе сточных вод с селитебных территорий населенных пунктов проектируются, как правило, сооружения механической очистки.

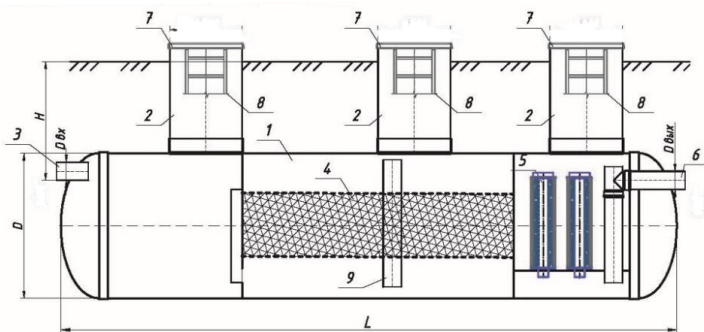
Для реализации первого варианта водоотведения поверхностных сточных вод в качестве основного технического решения выбраны очистные сооружения со сбросом в ближайший поверхностный водный объект. Техническим решением выбран бензомаслоотделитель с интегрированным пескоотделителем и блоком сорбционной доочистки.

Основными преимуществами локальных очистных сооружений являются компактность, высокая эффективность очистки, возможность размещения в стеснённых городских условиях, автоматизация контроля загрязнений, возможность модернизации [2-5].

Для обеспечения стабильной работы очистных сооружений предусматривается их техническое обслуживание, которое включает в себя:

- очистку пескоотделителя;
- удаление собранных нефтепродуктов;
- промывку сорбционных модулей;
- контроль накопления осадка.

Принципиальная схема очистных сооружений поверхностных сточных вод представлена на рис. 1.



- 1 – корпус; 2 – горловина; 3 – входной патрубок; 4 – коалесцентный модуль; 5 – фильтры доочистки; 6 – выходной патрубок; 7 – люк; 8 – лестница; 9 – труба для удаления осадка

Рис. 1. Схема очистных сооружений поверхностных сточных вод

Вторым техническим решением предусмотрена система закрытой дождевой канализации с очистными сооружениями и последующей инфильтрацией очищенных вод в грунт с применением фильтрующих траншей. Фильтрующие траншеи предназначены для инфильтрации очищенных сточных вод в грунт и относятся к сооружениям почвенной очистки. В качестве фильтрующей загрузки предлагается использовать песчано-гравийную смесь с повышенным содержанием гравия.

Несмотря на экологические преимущества, данный вариант уступает современным системам «сине-зелёной» инфраструктуры по функциональности и эффективности использования поверхностных сточных вод.

Наиболее перспективным направлением в области управления поверхностными сточными водами является применение элементов «синей» и «сине-зелёной» инфраструктуры.

«Синяя» инфраструктура включает в себя водоотводные придорожные каналы, подземные накопители, пруды удержания «сухого», «мокрого», а также «инфильтрационного» типа.

Примеры реализации элементов «синей» инфраструктуры представлены на рис. 2.



Рис. 2. Элементы «синей» инфраструктуры (подземные накопители, «сухой» пруд и водоотводный канал соответственно) [6]

«Сине-зелёная» инфраструктура сочетает гидротехнические сооружения с элементами озеленения и включает дождевые сады, плантаторы дождевых вод, водопроницаемые покрытия, фильтрующие траншеи, коробки для посадки деревьев и т.п.

Отдельные технические решения элементов «сине-зеленой» инфраструктуры отображены на рис. 3.



Рис. 3. Элементы «сине-зеленой» инфраструктуры (водопроницаемое покрытие, дождевой плантатор, дождевой сад соответственно) [6]

Главной особенностью данных решений является управление поверхностными сточными водами непосредственно в местах их образования.

В отличие от традиционной «серой» инфраструктуры, ориентированной только на транспортировку сточных вод, комбинация «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур обеспечивает удержание воды, инфильтрацию и повторное использование.

После сбора всей необходимой информации по условиям образования поверхностных сточных вод, подбора необходимых элементов для каждого из проектных решений необходимо сделать экономический анализ

эффективности предполагаемых вложенных инвестиций в каждое из проектных решений.

В части расчета показателей привлекательности проектного решения не расчет для «серой» инфраструктуры не проводился, так как данное проектное решение не имеет возможности себя окупить и непривлекательно для предполагаемого инвестора, прежде всего, с экологической точки зрения. Для расчета основных показателей экономической эффективности проекта предусмотрены укрупненные расценки оборудования вследствие экономической политики большинства поставщиков и производителей, так же из-за меньшей вариативности необходимых составляющих либо полного их отсутствия на рынке Республики Беларусь. В части подсчета строительно-монтажных работ проведен расчет стоимости строительных работ, монтажных работ, а также заработная плата необходимых рабочих, затраты на эксплуатацию машин и механизмов.

Показатели эффективности предполагаемых инвестиций в данные проектные решения отображены в таблице.

Таблица

Итоговые показатели экономической эффективности по проектным решениям

Наименование показателя	«Серая» инфраструктура с фильтрующими траншеями	«Сине-зеленая» и «синяя» инфраструктуры
Чистый дисконтированный доход, бел. руб.	167434,41	175156,07
Внутренняя норма доходности, %	16,18	15,27
Индекс рентабельности инвестиций	1,53	1,45
Срок окупаемости, лет	7,00	7,02
Дисконтированный срок окупаемости, лет	10,07	11,05

Вариант с использованием «серой» инфраструктуры с фильтрующими траншеями демонстрирует отличную финансовую эффективность. Сочетание положительного ЧДД, высокого индекса рентабельности и солидного запаса прочности по ВНД делает его крайне привлекательным для долгосрочного инвестирования. Единственным сдерживающим фактором выступает длительный срок окупаемости (7 лет), что требует от инвестора наличия «длинных» денег и стабильной макроэкономической среды.

Вариант с использованием «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур является масштабным и экономически эффективным. Однако он характеризуется высоким уровнем риска: у него очень глубокая инвестиционная фаза, долгий динамический срок окупаемости (более 11 лет) и умеренный запас прочности по ВНД.

Первый вариант предпочтительней, если ограничен стартовый бюджет, инвестор стремится минимизировать риски, ценит быструю окупаемость и хочет иметь высокий запас прочности на случай ухудшения экономической ситуации. Второй вариант предпочтительней если есть доступ к крупным и «длинным» финансовым ресурсам, инвестор готов переждать 11 лет окупаемости, а главной целью является максимизация абсолютной величины чистой прибыли в долгосрочной перспективе. В целом оба варианта приблизительно имеют схожие показатели, однако по каждому из них (кроме чистого дисконтированного дохода) превосходит вариант «серой» инфраструктуры с фильтрующими траншеями.

Таким образом, данный расчет показал, что проектное решение с использованием элементов «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур является вариантом лучше, чем просто «серая» инфраструктура, но при этом отстает от варианта «серой» инфраструктуры с применением фильтрующих траншей.

Также необходимо отметить, что перспективное производство составляющих для «синей» и «сине-зеленой» экономики поспособствует более точному расчету и меньшим затратам вследствие разного ценообразования со странами Европы, на технологии которых был сделан ориентир.

Учитывая некоторые экономические недостатки проектного решения «синей» и «сине-зеленой» инфраструктур, данный вариант тем не менее остается более перспективным, рациональным и привлекательным, так как использование таких проектных решений направлено главным образом на охрану окружающей среды, но при этом в процессе эксплуатации покрывает себестоимость около 80%, в отличие от «серой» инфраструктуры, где окупаемости, то есть экономии, достигнуть крайне трудно.

### Литература

1. Использование устойчивых дренажных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.susdrain.org/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

2. Комплексная система очистки *EuroPEK Roo Kombi CFR* [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://labko.ru/livnevka/kompleksnaya-sistema-ochistki-europekr-roo/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

3. Комплексная система очистки *Rainpark 1000* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.standartpark.by/catalog/odnokorpusnye/3\\_1/](https://www.standartpark.by/catalog/odnokorpusnye/3_1/). – Дата доступа: 05.05.2026.

4. Песконефтеуловитель комбинированный *KANN* серии *PN* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kann.by/los/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

5. Локальные очистные сооружения ливневого стока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://los.kompozitzavod.ru/>. – Дата доступа: 05.05.2026.

6. Дубенок, С. А., Шавейко, К. Н., Крицкая, Т.А. Обоснование технических решений по обращению с дождевыми и талыми водами на территориях городов с учетом изменения климата / С. А. Дубенок, К. Н. Шавейко, Т. А. Крицкая. – Минск: Республиканский конкурс научных работ студентов, 2024. – 33 с.

УДК 629.735

### **Оценка эффективности водопользования и воздействия на водный объект предприятия энергетики**

Шакаль Т.М.

Научный руководитель Колобако А.А., ассистент  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В контексте реализации экологической политики Республики Беларусь приоритетное значение имеют вопросы охраны гидросферы и оптимизации водопользования. Ключевым регулирующим инструментом в данной сфере выступает разработка научно обоснованных нормативов состава и объемов сточных вод. Настоящая статья посвящена анализу структуры водоотведения на предприятии энергетики, а также технологическому обоснованию методов очистки сточных вод.*

Функционирование современных теплоэлектроцентралей, обеспечивающих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, неразрывно связано с использованием больших объемов водных ресурсов и последующим образованием многочисленных потоков сточных вод. Специфические загрязнения ТЭЦ, включая нефтепродукты от мазутных хозяйств, продукты химической водоподготовки, взвешенные

вещества и соли жесткости, требуют высокотехнологичного подхода к их нейтрализации перед сбросом в окружающую среду. В эпоху энергетического перехода проектирование современных очистных сооружений и переход к бессточным схемам водопользования становятся стратегическим приоритетом, позволяя предприятиям не только соблюдать строгие экологические нормативы, но и существенно снижать затраты на водопотребление за счет повторного использования очищенной воды

Для снижения загрязнения водных объектов при сбросе сточных вод в поверхностные водные объекты для предприятий устанавливаются нормативы допустимых сбросов и концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

Действующее национальное законодательство устанавливает поэтапный комплекс природоохранных требований к качественному и количественному составу сточных вод, отводимых предприятиями в окружающую среду и, в частности, в поверхностные водные объекты.

Статья 23 Водного кодекса регламентирует вопросы установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод в соответствии с перечнем нормируемых загрязняющих веществ в составе сточных вод, утверждаемым Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [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] в рамках регулирования сброса сточных вод устанавливает перечень загрязняющих веществ, подлежащих нормированию, а также регламентирует процедуры разработки, утверждения и актуализации нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и показателей в сточных водах.

При сбросе производственных сточных вод допустимая концентрация загрязняющих веществ устанавливается с учетом отраслевой специфики предприятия. Эти меры направлены на обеспечение экологической безопасности водных объектов и соблюдение требований законодательства в сфере охраны окружающей среды.

ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» [3] определяет порядок сброса сточных вод, регламентирует определение нормативов допустимых выбросов химических и других веществ. Эти расчеты направлены на минимизацию негативного влияния сточных вод на окружающую среду, достижение установленных стандартов качества воды в поверхностных водных объектах в контрольных створах

водопользования, а также на стимулирование водопользователей к внедрению наилучших доступных технологий. Процедура расчета включает установление допустимой концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в водный объект, и определение максимально допустимой массы таких веществ, которая может быть сброшена в течение заданного периода времени. Таким образом, система нормативов обеспечивает экологическую безопасность водных ресурсов и способствует технологической модернизации предприятий.

Ввиду значительных различий в нормировании, ключевым ориентиром при проектировании новых производственных объектов, выборе и обосновании технологий очистки служит, прежде всего, выбранный приемник сточных вод: поверхностный водный объект или централизованная система водоотведения населенного пункта.

В статье рассматривается организация водопользования, включая системы водоснабжения и водоотведения, предприятия энергетики. Основными видами деятельности предприятия являются производство, передача, распределение электрической и тепловой энергии.

Установленная (проектная) электрическая мощность предприятия составляет 155 00 кВт, а тепловая мощность - 721,5 Гкал/ч.

В соответствии с Общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности» предприятие относится к виду экономической деятельности: 35111 «Производство электроэнергии тепловыми электростанциями», 35300 «Производство, передача, распределение и продажа пара и горячей воды; кондиционирование воздуха» [5].

На производственной площадке ТЭЦ предусмотрены следующие системы водоснабжения:

- система хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения;
- система технического и противопожарного водоснабжения;
- система оборотного водоснабжения.

Подача воды в систему хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения осуществляется из централизованной системы водоснабжения города.

Подача воды в систему технического и противопожарного водоснабжения осуществляется из реки.

Основной объем воды на предприятии используется на охлаждение оборудования, а также на подпитку теплосети и подпитку паровых котлов.

Водоподготовка речной воды для осуществляется физико-химическими способами. Вода подается в один из двух осветлителей, в котором осуществляется её известкование, коагуляция и флокуляция. Образованный в результате процессов известкования, коагуляции и флокуляции осадок

собирается в нижней части осветлителя и направляется в бак-нейтрализатор, а затем отводится на шламоотвалы предприятия. Вода из осветлителя аккумулируется в баках известково-коагулированной воды и далее поступает на механические фильтры, после чего распределяется на две установки подготовки воды в зависимости от технологических нужд.

Подготовка воды для подпитки теплосети осуществляется на установке по умягчению воды производительностью в составе 4-х Na-катионитовых фильтров, после чего поступает в бак химически очищенной воды и далее направляется в деаэраторы для подпитки теплосети.

Подготовка воды для подпитки паровых котлов осуществляется на установке получения обессоленной воды в составе водород-катионитовых фильтров I и II ступени, анионитовых фильтров I и II ступени и установки декарбонизации воды. Далее обессоленная вода поступает в бак обессоленной воды, откуда направляется в деаэраторы, после которых используется для подпитки пароводяного цикла. Сточные воды от взрыхления, регенерации и отмывки фильтров поступают в бак-нейтрализатор и после нейтрализации направляются на шламоотвалы предприятия.

На производственной площадке предприятия, как и большинства объектов энергетики, действует система оборотного водоснабжения. Система оборотного водоснабжения предназначена для охлаждения основного и вспомогательного оборудования предприятия. Циркуляционная вода из аванкамеры, посредством циркуляционных насосов, подается на охлаждение оборудования. Охлаждение происходит на вентиляторных градирнях. Охлажденная на градирнях циркуляционная вода поступает в аванкамеру, где снова подается циркуляционными насосами на охлаждение оборудования.

На производственной площадке предприятия предусмотрены следующие системы водоотведения:

- система хозяйственно-бытовой канализации;
- система производственно-дождевой канализации.

В систему хозяйственно-бытовой канализации предприятия сбрасываются хозяйственно-бытовые (образующиеся в результате использования воды на хозяйственно-питьевые нужды) сточные воды, которые поступают в канализационную насосную станцию и далее отводятся в централизованную систему водоотведения (канализации) города.

Как указывалось выше, сточные воды от процессов водоподготовки отводятся на шламоотвал предприятия.

В систему производственно-дождевой канализации поступают производственные сточные воды после охлаждения вспомогательного

оборудования и от эксплуатации мазутного хозяйства при топливном участке котельно-турбинного цеха, а также поверхностные сточные воды, формируемые на производственной площадке предприятия. Далее эти сточные воды направляются на очистку, представленную сооружениями механической и физико-химической очистки с последующим их сбросом в водоток.

Очистные сооружения эксплуатируются в следующем составе: два приемных резервуара по 200 м<sup>3</sup>, напорный бак, два флотатора производительностью по 50 м<sup>3</sup>/ч, бак флотированной воды, 5 механических фильтров, 5 угольных фильтров.

В соответствии с действующим природоохранным законодательством предприятию на сбросе в водный объект пронормировано 10 показателей и загрязняющих веществ: водородный показатель рН; биохимическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub>; химическое потребление кислорода, ХПК<sub>С</sub>; взвешенные вещества; аммоний-ион; фосфор общий; минерализация воды (по сухому остатку); хлорид-ион; сульфат-ион; температура (в теплый и холодный период).

Проведенная оценка и анализ эффективности очистных сооружений указывает на низкую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам и нефтепродуктам – 34,9% и 66,6% соответственно. Для повышения эффективности очистки и исключения превышения допустимых концентраций на выходе с очистных сооружений требуется модернизация оборудования, в частности, модернизация флотационной установки и системы доочистки в составе механических и угольных фильтров. Замена указанного оборудования позволит не только повысить эффективность физико-химической очистки сточных вод, но и использовать очищенные сточные воды в полном объеме на производственные нужды предприятия.

### **Литература**

1. Водный Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. №149-3.
2. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод // Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16.
3. ЭкоНиП 17.06.02-002-2021. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Введ. 01.02.2022. – Минск, 2021.

4. СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2024.

5. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 5 дек. 2011 г., № 85 : с изм. и доп. от 29 окт. 2021 г., № 99 // Бизнес-Инфо / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2024.

6. Напорный флотатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helyx-systems.com/products/ustanovka-napornoy-flotatsii/ustanovka-napornoy-flotatsii-fl-120/>. – Дата доступа: 10.05.2026.

7. Механический фильтр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shm.su/catalog/fipa-natriy-kationitovye-filtry/fipa-1-1-5-0-6/>. – Дата доступа: 10.05.2026.

8. Угольный фильтр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bikzg.ru/catalog/vodopodgotovka/filtry/filtry-fsu-ugolnye/filtr-fsu-26-06-s/>. – Дата доступа: 10.05.2026.

УДК 628.27

### **Использование дронов и роботизированных комплексов для диагностики труднодоступных участков канализаций (систем водоснабжения и водоотведения)**

Шалик А. В., Барботченко К.С.

Научный руководитель Стельмах М.А., старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В данной статье рассматривается актуальная проблема диагностики труднодоступных участков канализационных систем водоснабжения и водоотведения с использованием современных технологий – дронов и роботизированных комплексов. В условиях динамичного развития жилищно-коммунального хозяйства, обеспечение надежности и контроля технического состояния инженерных сетей приобретает особую значимость.*

В Республике Беларусь значительная часть инженерных коммуникаций находится в состоянии физического износа, что напрямую влияет на увеличение числа аварий и снижение общей надежности эксплуатации систем [2]. В связи с этим, внедрение передовых цифровых технологий для

диагностики становится крайне необходимым. Основная цель данной статьи – провести анализ применения дронов и роботизированных комплексов для диагностики труднодоступных участков канализационных систем. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ существующих традиционных методов диагностики;
- исследовать возможности применения дронов для обследования инженерных систем;
- изучить особенности и функционал роботизированных комплексов;
- оценить перспективы внедрения данных технологий на территории Республики Беларусь.

#### **Традиционные методы диагностики инженерных сетей:**

Диагностика состояния трубопроводов водоснабжения и водоотведения является неотъемлемой частью их эксплуатации. Согласно действующим нормативным документам Республики Беларусь [3], обследование инженерных сетей включает в себя визуальный контроль, гидравлические испытания и телевизионную инспекцию.

- визуальный осмотр позволяет выявлять лишь внешние дефекты и ограничен доступностью объектов;
- гидравлические испытания используются для проверки герметичности трубопроводов, но не предоставляют полной информации о характере повреждений;
- телевизионная диагностика наиболее распространенный метод, позволяющий осматривать внутреннюю поверхность труб. Однако он имеет ограничения: ограниченная зона обследования, трудности применения на сильно загрязненных участках и необходимость частичной остановки работы системы.

Научные исследования указывают на недостаточную эффективность традиционных методов при обследовании труднодоступных участков инженерных сетей [9]. Кроме того, существующие подходы требуют значительных временных и трудовых затрат.

Современные цифровые технологии активно интегрируются в строительную отрасль Республики Беларусь [1]. Одним из перспективных направлений является применение беспилотных летательных аппаратов (дронов).

Дроны открывают возможности для обследования труднодоступных участков инженерных сетей, таких как коллекторы, колодцы и открытые каналы.

Ключевые преимущества использования дронов:

- высокая скорость проведения обследований;

- возможность доступа в труднодоступные зоны;
- снижение рисков для персонала;
- получение точных визуальных данных.

В сфере цифровизации строительства подчеркивается, что применение передовых методов диагностики существенно улучшает работу инженерных систем [5].

Дроны, оснащенные современным измерительным оборудованием, таким как высококачественные видеокамеры, датчики и системы определения местоположения, сталкиваются с трудностями при работе в закрытых пространствах. Для их эффективного использования в таких условиях требуется совершенствование технологий автономной навигации и надежной связи [4].

### **Роботизированные системы для инспекции трубопроводов**

Роботизированные комплексы представляют собой один из наиболее действенных инструментов для диагностики инженерных сетей. Они позволяют проводить осмотр трубопроводов без необходимости их вскрытия.

Современные роботизированные системы успешно применяются для диагностики труб различных диаметров и форм, что особенно ценно для сложных канализационных систем.

Такие системы включают в себя:

- видеокамеры;
- датчики для выявления дефектов;
- измерительные приборы.

Кроме того, использование роботизированных комплексов способствует автоматизации процессов обследования и минимизации ошибок, связанных с человеческим фактором.

В контексте цифровой трансформации строительной отрасли эти технологии рассматриваются как ключевой элемент модернизации инженерной инфраструктуры [7].

### **Перспективы внедрения дронов и роботизированных комплексов для диагностики инженерных сетей в Республике Беларусь**

В современной Республике Беларусь развитие цифровых технологий в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве является одним из приоритетных государственных задач. В рамках стратегии цифровизации строительной отрасли планируется внедрение инновационных решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации инженерной инфраструктуры [10].

Одним из таких направлений является применение дронов и роботизированных комплексов для диагностики сетей водоснабжения и водоотведения. Эти технологии позволяют перейти от устаревших методов

обследования к более современным, основанным на автоматизации и цифровом моделировании.

В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается значительный износ инженерных сетей, что обусловлено длительным сроком их эксплуатации и недостаточным объемом работ по модернизации [2]. Перспективы внедрения дронов и роботизированных систем связаны с несколькими ключевыми аспектами.

Во-первых, важным направлением является интеграция этих технологий с BIM (информационным моделированием зданий). Использование BIM позволяет создавать цифровые модели инженерных сетей, в которые могут быть загружены данные, полученные с помощью дронов и роботизированных комплексов. Это обеспечивает возможность всестороннего анализа состояния объектов и прогнозирования их дальнейшей эксплуатации [1].

Во-вторых, перспективным является создание систем мониторинга в режиме реального времени. Применение датчиков, установленных на роботизированных устройствах, позволяет получать актуальную информацию о состоянии трубопроводов, включая наличие утечек, коррозии и засоров. Это дает возможность оперативно реагировать на возникающие проблемы.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (дронов) и роботизированных систем в Беларуси сталкивается с рядом вызовов.

Ключевые трудности включают:

1. Высокая стоимость: Значительные затраты на приобретение оборудования и программного обеспечения ограничивают их доступность, особенно для небольших предприятий;

2. Недостаточное правовое регулирование: Отсутствие специализированных нормативных актов, регулирующих использование дронов и роботов для обследования инженерных сетей, создает правовую неопределенность;

3. Дефицит кадров: Нехватка специалистов, обладающих необходимыми навыками для работы с современными цифровыми технологиями, требует развития образовательных программ, в том числе в таких учреждениях, как БНТУ.

Несмотря на эти препятствия, будущее внедрения этих технологий выглядит многообещающим. Активное развитие цифровизации в строительной отрасли и государственная поддержка инновационных проектов создают благоприятные условия для широкого применения дронов и роботов в сфере диагностики инженерных сетей.

В долгосрочной перспективе эти технологии позволят:

- повысить надежность работы систем водоснабжения и водоотведения;
- сократить число аварийных ситуаций;
- снизить расходы на ремонт и техническое обслуживание;
- обеспечить переход к цифровому управлению инженерной инфраструктурой.

Таким образом, интеграция дронов и роботизированных комплексов является важным шагом в модернизации систем водоснабжения и водоотведения Беларуси, соответствующим современным тенденциям развития строительной отрасли.

Исследование показало, что традиционные методы диагностики инженерных сетей имеют ограничения и не всегда эффективны при обследовании труднодоступных участков. Использование дронов повышает оперативность и безопасность работ, а также обеспечивает получение точных данных о состоянии систем. Роботизированные комплексы позволяют проводить детальный осмотр трубопроводов и выявлять дефекты на ранних стадиях. Перспективы внедрения этих технологий в Беларуси тесно связаны с цифровой трансформацией строительной отрасли и модернизацией инженерной инфраструктуры.

Следовательно, применение дронов и роботизированных систем представляет собой эффективный путь к повышению надежности эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения.

### **Литература**

1. Ганчерёнок И.И. Цифровизация строительства и BIM-технологии [Электронный ресурс]. – Минск: БНТУ, 2021. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by>. – Дата доступа: 28.04.2026.
2. Лазаренко О.В., Ягубкин А.Н. Внедрение цифровых технологий в строительный комплекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>. – Дата доступа: 28.04.2026.
3. ТКП 45-4.01-52-2007 (02250) Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации [Электронный ресурс]. – Минск: Минстройархитектуры РБ. – Режим доступа: <https://stroystandart.info>. – Дата доступа: 28.04.2026.
4. Галапов В.В. Применение BIM-технологий в Республике Беларусь [Электронный ресурс] // isicad. – Режим доступа: <https://isicad.ru>. – Дата доступа: 28.04.2026.
5. Пурс Г.А., Изатов В.А., Воронин И.А. Информационное моделирование в строительстве Республики Беларусь [Электронный

ресурс] // Строительство и ценообразование. – Режим доступа: <https://isicad.ru>. – Дата доступа: 28.04.2026.

6. Архитектура и строительство Беларуси. Цифровизация строительной отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ais.by>. – Дата доступа: 28.04.2026.

7. Вестник Белорусского национального технического университета. Современные технологии в строительстве [Электронный ресурс]. – Минск: БНТУ, 2023. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by>. – Дата доступа: 28.04.2026.

8. Вестник Брестского государственного технического университета. Инженерные системы и технологии диагностики [Электронный ресурс]. – Брест: БрГТУ, 2023. – Режим доступа: <https://rep.bstu.by>. – Дата доступа: 28.04.2026.

9. Митрофанова Н.О. Методы диагностики инженерных сетей [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>. – Дата доступа: 28.04.2026.

10. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Концепция цифрового развития строительной отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minstroj.gov.by>. – Дата доступа: 28.04.2026.

УДК 628.2

### **Зеленая инфраструктура как метод управления дождевыми водами**

Шлапакова А.И., Карпович М.С.

Научный руководитель Стельмах М.А., старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

*В данной статье авторы рассматривают зеленую инфраструктуру (ЗИ) как современный метод управления дождевыми водами в условиях городской застройки. Проводится анализ существующих проблем традиционных ливневых систем, оцениваются основные элементы зеленой инфраструктуры и разрабатываются практические рекомендации по их внедрению для снижения рисков подтоплений и уменьшения антропогенной нагрузки на водные объекты.*

Проблема управления поверхностным стоком в условиях урбанизированных территорий становится одной из ключевых в сфере городского водного хозяйства и экологической безопасности. Интенсивное запечатывание почвы асфальтом и бетоном, сокращение естественных ландшафтов и перегрузка традиционных ливневых канализаций приводят к

регулярным подтоплениям, эрозии почв и загрязнению водных объектов нефтепродуктами, тяжелыми металлами и бытовым мусором. В ответ на эти вызовы в мировой и отечественной практике все большее распространение получает зеленая инфраструктура — комплекс инженерно-экологических решений, имитирующих естественный водный баланс и позволяющих перехватывать, очищать и инфильтрировать дождевые воды непосредственно в месте их выпадения.

Целью данной статьи является системный анализ подходов к использованию зеленой инфраструктуры для управления дождевыми водами, а также разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору и внедрению элементов ЗИ в условиях городского и пригородного строительства.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- провести анализ недостатков традиционных систем ливневой канализации и обосновать необходимость применения альтернативных решений;

- изучить и систематизировать основные типы элементов зеленой инфраструктуры, применяемые для сбора, задержания и очистки дождевого стока;

- оценить эффективность различных технологий ЗИ (биодренажные системы, дождевые сады, зеленые крыши, проницаемые покрытия) в климатических и гидрогеологических условиях Республики Беларусь;

- разработать практические рекомендации по интеграции зеленой инфраструктуры в генеральные планы населенных пунктов и частные земельные участки.

#### **Анализ проблем традиционных систем управления дождевым стоком**

Традиционные системы ливневой канализации, основанные на скоростном отведении воды в коллекторы и сбросе ее в ближайшие водотоки, обладают рядом фундаментальных недостатков. Во-первых, они не решают проблему загрязнения: первая волна стока смывает с поверхности наибольшее количество загрязняющих веществ, которые без очистки поступают в реки и озера. Во-вторых, при интенсивных ливнях мощности коллекторов часто не хватает, что приводит к локальным подтоплениям. В-третьих, такие системы полностью нарушают естественное питание грунтовых вод, снижая уровень подземных горизонтов и ухудшая условия для зеленых насаждений [8, с. 74]. В условиях Республики Беларусь, где значительная часть городских ливневых сетей была построена десятилетия назад и имеет высокий уровень износа, эти проблемы стоят особенно остро [6, с. 118].

#### **Систематизация основных элементов зеленой инфраструктуры**

Зеленая инфраструктура представляет собой сеть природных и полуприродных элементов, спроектированных для выполнения гидрологических и экологических функций. В отличие от традиционных инженерных сооружений, элементы ЗИ не только управляют дождевым стоком, но и обеспечивают дополнительные экосистемные услуги: улучшение микроклимата, снижение уровня шума, повышение биоразнообразия и эстетическую ценность городской среды. Основные типы элементов ЗИ для управления дождевыми водами включают:

*Зеленые крыши.* Многослойные конструкции на кровлях зданий, состоящие из гидроизоляционного, дренажного, фильтрующего слоев, субстрата (почвенной смеси) и растительного покрова. В зависимости от толщины субстрата и требований к обслуживанию различают экстенсивные (5–15 см, масса 60–150 кг/м<sup>2</sup>, неприхотливые седумы и травы) и интенсивные (более 20 см, масса от 200 кг/м<sup>2</sup>, допускающие кустарники и деревья) зеленые крыши. Гидрологическая эффективность: задержание 60–80% годового объема осадков, снижение пикового стока на 50–90%, увеличение времени запаздывания стока на 30–60 минут. Зеленые крыши также продлевают срок службы гидроизоляции в 2–3 раза, сокращают расходы на отопление и кондиционирование и уменьшают городской «остров тепла».

*Дождевые сады (биодренажные системы).* Специально спроектированные понижения рельефа с водоустойчивым или полупроницаемым дном, заполненные дренирующим субстратом (смесь песка, компоста и верхнего слоя почвы) и влаголюбивыми растениями. Они принимают сток с прилегающих водосборных площадей (крыш, газонов, тротуаров, небольших парковок) и обеспечивают временное накопление воды, ее фильтрацию через корневую систему, биологическую очистку и последующую инфильтрацию в грунт или медленный отвод в ливневую сеть через дренажную трубу. Один квадратный метр дождевого сада может принимать сток с 5–20 м<sup>2</sup> водонепроницаемой поверхности. Эффективность удаления взвешенных веществ достигает 85–90%, нефтепродуктов — 70–80%, тяжелых металлов — 60–80% [5, с. 55].

*Проницаемые покрытия.* Асфальтобетонные, цементобетонные, плиточные или резиновые покрытия с высокой пористостью (15–25%), позволяющие воде проходить сквозь них в нижележащие дренирующие слои (щебень, гравий, георешетки). Основные виды: проницаемый асфальтобетон (с уменьшенным содержанием мелких фракций), бетонные или пластиковые плитки с широкими швами, заполненными гравием или газонной смесью, а также резиновые покрытия на основе переработанной крошки. Применяются для парковок, тротуаров, велодорожек, детских и спортивных площадок, улиц с низкой интенсивностью движения.

Гидрологическая эффективность: полное задержание ливней с интенсивностью до 10–20 л/с·га (что соответствует большинству ливней в Беларуси). Дополнительные преимущества: исключение образования луж и гололеда, снижение шума от шин, уменьшение пылеобразования. В условиях белорусского климата требуют специальных решений по зимней эксплуатации (использование песка или гранитной крошки вместо хлоридов, регулярная вакуумная промывка).

*Инфильтрационные траншеи и колодцы.* Линейные (траншеи) или точечные (колодцы) сооружения, заполненные крупным щебнем или специальными пластиковыми блоками с высокой пористостью (до 95% пустот). Вода поступает в них с прилегающей территории через поверхностный лоток, трубу или непосредственно с газона, временно накапливается в пустотах и затем постепенно инфильтруется в окружающий грунт. Для предотвращения заиливания на границе с грунтом укладывается геотекстиль. Особенно эффективны при низком уровне грунтовых вод (ниже 2 м) и на песчаных или супесчаных грунтах. При высоком уровне грунтовых вод (менее 1 м) применение таких сооружений невозможно из-за риска постоянного заполнения грунтовыми водами. В переходных условиях (УГВ 1–2 м) устраивают принудительный выпуск в ливневую канализацию.

*Биологические пруды и каналы.* Открытые искусственные водные объекты или обводненные каналы, засаженные высшей водной растительностью (тростник южный, рогоз широколистный, ирис болотный, сусак зонтичный, дербенник иволистный). Вода протекает через такую систему медленно (время пребывания от нескольких часов до нескольких суток), в течение которого происходят процессы отстаивания, фильтрации через корневую систему, биологического поглощения загрязнителей (азота, фосфора, тяжелых металлов) и разложения органики микроорганизмами, обитающими в ризосфере растений. Биопруды требуют значительных площадей (обычно не менее 2–5% от водосборной территории), но обеспечивают самый высокий уровень очистки (вплоть до ПДК рыбохозяйственных водоемов), практически не потребляют энергию, хорошо вписываются в ландшафт и могут служить элементами рекреации (скамейки, смотровые площадки, экологические тропы).

*Дополнительные элементы.* К зеленой инфраструктуре также относят: биолотки (засаженные растительностью придорожные каналы), приствольные дождевые сады (микро-сад вокруг дерева в тротуаре), водопроницаемые газоны на паркингах (газонные решетки, выдерживающие нагрузку автомобиля), многофункциональные зоны затопления (затопляемые в паводок парки, спортплощадки, скверы), а также системы капельного отвода воды с крыш непосредственно в приствольные круги деревьев.

Таким образом, выбор конкретного элемента или их комбинации зависит от гидрогеологических условий участка, доступной площади, бюджета и требуемой степени очистки. Наиболее эффективным является комплексный подход, при котором несколько типов ЗИ работают последовательно: например, зеленая крыша задерживает часть осадков, затем вода с крыши направляется в дождевой сад, а избыток — в инфильтрационную траншею или биопруд.

### **Оценка применимости технологий зеленой инфраструктуры в Республике Беларусь**

Применимость элементов ЗИ в белорусских условиях определяется комплексом факторов: климатическими особенностями (значительное годовое количество осадков — 550–700 мм, их неравномерное распределение, наличие интенсивных ливней летом и устойчивого снежного покрова зимой, отрицательные температуры до  $-25$  °С и ниже), гидрогеологическими условиями (разнообразие грунтов — от хорошо фильтрующих песков до слабопроницаемых суглинков и глин, высокий уровень грунтовых вод на значительной части территории, особенно в Полесской низменности), а также сложившейся градостроительной практикой и уровнем подготовки проектных кадров.

*Для крупных городов (Минск, областные центры)* наиболее перспективным является комбинирование дождевых садов и проницаемых покрытий в рамках квартальной застройки, а также создание «зеленых» парковок и бульваров с интегрированными биодренажными системами. Зеленые крыши эффективны на новых многоэтажных жилых комплексах, общественных зданиях (школы, торговые центры, офисные здания) и объектах социальной инфраструктуры, однако требуют учета несущей способности перекрытий и дополнительных затрат на усиление конструкций при реконструкции существующих зданий. В условиях исторической застройки центральной части городов, где УГВ часто повышен из-за длительной утечки из старых сетей, предпочтение отдается компактным дождевым садам с дренажным выпуском и проницаемым покрытиями тротуаров.

*Для территорий с высоким уровнем грунтовых вод,* характерного для Полесья (Брестская, Гомельская области), многих районов Минской, Гродненской и Могилевской областей (поймы рек, низины), применение глубоких инфильтрационных сооружений (инфильтрационные колодцы, траншеи с открытым дном) ограничено или полностью исключено. В таких условиях предпочтение отдается биодренажным системам с регулируемым выпуском в ливневую канализацию, герметичным накопительным элементам с последующим использованием воды на полив, а также биопрудам с искусственным водонепроницаемым экраном (пленка, бетон).

Зеленые крыши и проницаемые покрытия в условиях высокого УГВ сохраняют свою эффективность, так как работают в основном на задержание и испарение, а не на глубокую инфильтрацию [7, с. 205].

*Для территорий с песчаными и супесчаными грунтами и низким УГВ* (возвышенные части Минской, Витебской, Гродненской областей) открываются максимальные возможности для применения полного спектра технологий ЗИ, включая инфильтрационные сооружения и дождевые сады с открытым дном. В этих условиях достигается наиболее высокая экономическая эффективность, так как снижаются затраты на устройство принудительного дренажа и насосного оборудования.

*Климатические ограничения и адаптация.* Зимний период в Беларуси (длительность устойчивого снежного покрова 70–120 дней) создает дополнительные вызовы. Для зеленых крыш требуется использование морозостойких субстратов и растений (седумы, молодило, овсяница красная). Дождевые сады и биопруды зимой замерзают, но это не повреждает конструкции при условии правильного заглубления дренажных труб ниже глубины промерзания (1,0–1,5 м) или использования теплоизоляции. Проницаемые покрытия требуют специального зимнего содержания: исключения хлоридов (они разрушают структуру и стимулируют рост сорняков), применения песка или гранитной крошки, а также регулярной вакуумной промывки весной для удаления накопившегося мелкодисперсного материала.

*Сдерживающие факторы* остаются существенными. Во-первых, это недостаточная нормативная база: в Республике Беларусь на сегодняшний день отсутствует специализированный технический нормативный правовой акт (ТНПА) по проектированию зеленой инфраструктуры. Действующие ТКП 45-4.01-306-2017 и СН 4.01.02-2019 лишь фрагментарно затрагивают вопросы инфильтрации и биологической очистки поверхностного стока. Во-вторых, более высокая начальная стоимость по сравнению с традиционными решениями (на 15–30% для проницаемых покрытий, на 20–50% для дождевых садов и зеленых крыш). В-третьих, необходимость междисциплинарного взаимодействия проектировщиков-гидротехников, ландшафтных архитекторов, дорожников и служб эксплуатации, что пока редко встречается в отечественной практике. В-четвертых, недостаток квалифицированных подрядчиков и обслуживающего персонала, знакомых со спецификой ЗИ.

*Перспективы и экономическая эффективность.* Несмотря на указанные барьеры, мировой опыт (Германия — программы Förderung von Gründächern, Дания — Копенгагенская климатическая адаптационная стратегия, США — EPA Green Infrastructure Program) убедительно доказывает экономическую эффективность ЗИ в долгосрочной перспективе.

Эффект достигается за счет снижения затрат на реконструкцию и расширение коллекторов ливневой канализации (отсрочка или отказ от капитальных вложений), уменьшения ущерба от подтоплений зданий и инфраструктуры, экономии на очистке водных объектов, повышении комфортности городской среды и, как следствие, роста стоимости недвижимости [4, с. 23]. Для белорусских условий оценочный срок окупаемости пилотных проектов ЗИ составляет 7–15 лет в зависимости от конкретной технологии и гидрогеологической обстановки.

Таким образом, применимость каждой технологии ЗИ в Беларуси должна определяться индивидуально, на основе гидрогеологического обследования участка, климатического анализа и технико-экономического сравнения альтернатив. Наиболее рациональной является стратегия «гибридных» систем, где зеленая инфраструктура работает совместно с существующей серой канализацией, дополняя и разгружая ее, а не заменяя полностью.

### **Практические рекомендации по внедрению зеленой инфраструктуры для управления дождевыми водами**

На основе проведенного анализа могут быть предложены следующие практические шаги для застройщиков, проектных организаций и муниципальных органов в Республике Беларусь:

1. На уровне генерального планирования — предусматривать выделение участков под дождевые сады и биологические пруды при разработке проектов планировки жилых районов, не допуская полного запечатывания территории;

2. На уровне проектирования объекта — выполнять гидрологический расчет объема стока с проектной территории и подбирать комбинацию элементов ЗИ так, чтобы обеспечить задержание и очистку не менее 70–80% среднегодового объема осадков;

3. При выборе типа покрытий — для парковок и внутриквартальных проездов использовать проницаемые покрытия с морозостойким наполнителем; для тротуаров — плитку с широкими швами на песчано-гравийной подушке;

4. Для частных домовладений — организовать отвод воды с крыш и твердых покрытий в дождевой сад или инфильтрационный колодец, удаленный от фундамента не менее чем на 5 метров. При высоком уровне грунтовых вод использовать герметичные накопительные емкости с последующим использованием воды на полив;

5. Обеспечить регулярное обслуживание: очистку дождевых садов от наносов, прополку, замену верхнего слоя субстрата по мере заиливания (раз в 5–7 лет), контроль проницаемости покрытий.

Зеленая инфраструктура представляет собой эффективный, экологически безопасный и экономически оправданный метод управления

дождевыми водами, способный существенно снизить нагрузку на традиционные ливневые системы, улучшить качество поверхностного стока и повысить устойчивость городских территорий к климатическим изменениям. Для широкомасштабного внедрения ЗИ в Республике Беларусь требуется разработка национальных технических норм, подготовка кадров и адаптация типовых решений к местным гидрогеологическим условиям. Рекомендуется начинать с пилотных проектов на уровне отдельных кварталов и частных домовладений, последовательно масштабируя успешный опыт.

### Литература

1. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 30 апр. 2014 г., № 149-З: принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г.: одоб. 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-ХП: в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2023 г. // Эталон-Online [СПС]. — Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2025.
3. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-4.01-306-2017 (33020) «Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования». — Минск: Минстройархитектуры, 2017. — 125 с.
4. Дроздов, С. В. Зеленая инфраструктура в городском водном хозяйстве: международный опыт и уроки для Беларуси / С. В. Дроздов // Водные ресурсы. — 2023. — № 4. — С. 18–26.
5. Ермакова, О. П. Биодренажные системы и дождевые сады: проектирование и эффективность / О. П. Ермакова // Ландшафтная архитектура. — 2022. — № 2 (47). — С. 52–59.
6. Ковальчук, А. Н. Проблемы эксплуатации ливневых канализаций в городах Беларуси / А. Н. Ковальчук, Е. И. Савицкая // Коммунальное хозяйство. — 2023. — № 1. — С. 114–122.
7. Лаптев, В. Г. Инженерная подготовка территорий с высоким уровнем грунтовых вод / В. Г. Лаптев. — Минск: БНТУ, 2021. — 240 с.
8. Новикова, Т. А. Экологическая гидрология городских территорий / Т. А. Новикова // Экологический вестник. — 2020. — № 3. — С. 72–79.