

ФОРМИРОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ИХ НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ МЕТОДАМ

Ю. И. Ахмадиева¹, С. А. Дубенок²

¹ Заведующий сектором государственного водного кадастра, РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», Минск, Беларусь, e-mail: 7069760@gmail.com

² К. т. н., доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: dubenok@bntu.by

Реферат

Очистные сооружения сточных вод населенных пунктов Республики Беларусь представлены большим разнообразием конструктивных особенностей, технических характеристик и применяемых технологических решений. Учитывая экологическую значимость таких объектов и современные требования национального законодательства, эксплуатирующие их организации вынуждены обеспечивать непрерывное повышение эффективности их работы, в том числе путем их реконструкции и модернизации [1].

Кроме того, широкое распространение в республике получили очистные сооружения сточных вод населенных пунктов биологической очистки в естественных условиях, подавляющее большинство которых представлено полями фильтрации. При этом национальное законодательство, в том числе положения Национальной стратегии управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года, а также Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года, содержит требования по переходу на современные методы очистки сточных вод с сокращением используемых площадей и выводом из эксплуатации полей фильтрации. На практике это означает ликвидацию полей фильтрации и других очистных сооружений сточных вод биологической очистки в естественных условиях и строительство взамен их очистных сооружений сточных вод населенных пунктов биологической очистки в искусственных условиях со сбросом очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты. В этой связи далее по тексту статьи под очистными сооружениями сточных вод населенных пунктов подразумеваются очистные сооружения сточных вод биологической очистки в искусственных условиях со сбросом сточных вод в поверхностные водные объекты.

В статье проведен анализ сложившихся в республике подходов к проектированию объектов строительства, реконструкции очистных сооружений сточных вод населенных пунктов. Проанализированы причины и рассмотрены возможные последствия принятия некорректных технологических решений. Показано, что наибольшая вероятность совершения ошибок характерна для начальных этапов проектирования на стадиях формирования технического задания и разработки предпроектной (предынвестиционной) документации.

Предложено решение обозначенных проблемных вопросов, основанное на научно обоснованных подходах, учитывающих характерные особенности эксплуатации очистных сооружений сточных вод населенных пунктов республики с учетом международного опыта.

Ключевые слова: очистные сооружения сточных вод населенных пунктов, наилучшие доступные технические методы, технологии очистки сточных вод, сточные воды, критерии оценки.

FORMATION OF NATIONAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN SETTLEMENTS FOR THEIR CONFORMITY WITH THE BEST AVAILABLE TECHNICAL METHODS

Y. I. Akhmadziyeva, S. A. Dubianok

Abstract

Wastewater treatment facilities in populated areas of the Republic of Belarus are represented by a wide variety of design features, technical characteristics and applied technological solutions. Considering the environmental significance of such facilities and the current requirements of national legislation, the organizations operating them are forced to ensure continuous improvement of their operational efficiency, including through their reconstruction and modernization [1].

In addition, wastewater treatment facilities for residential areas using biological treatment in natural conditions have become widespread in the republic, the vast majority of which are represented by filtration fields. At the same time, national legislation, including the provisions of the National Strategy for Water Resources Management in the Context of Climate Change for the Period up to 2030, as well as the Strategy for Environmental Protection of the Republic of Belarus for the period up to 2035, contains requirements for the transition to modern methods of wastewater treatment with a reduction in the areas used and the decommissioning of filtration fields. In practice, this means the elimination of filtration fields and other wastewater treatment facilities for biological treatment in natural conditions and the construction of wastewater treatment facilities for settlements for biological treatment in artificial conditions with the discharge of treated wastewater into surface water bodies. In this regard, further in the text of the article, wastewater treatment facilities for populated areas are understood to mean wastewater treatment facilities for biological treatment under artificial conditions with discharge of wastewater into surface water bodies.

The article analyzes the approaches to designing construction projects and reconstructing wastewater treatment facilities in populated areas that have developed in the republic. The reasons for making incorrect technological decisions are analyzed and the possible consequences are considered. It is shown that the highest probability of making errors is typical for the initial stages of design at the stages of forming the technical specifications and developing pre-project (pre-investment) documentation.

A solution to the identified problematic issues is proposed, based on scientifically based approaches that take into account the characteristic features of the operation of wastewater treatment facilities in populated areas of the republic, taking into account international experience.

Keywords: sewage treatment plants for populated areas, best available techniques, wastewater treatment technologies, waste water, evaluation criteria.

Введение

В настоящее время во всех областях республики и в г. Минске проводятся масштабные работы по реконструкции, строительству очистных

сооружений сточных вод населенных пунктов (далее – ОССВНП). Общее число объектов ОССВНП, строительство и реконструкция которых выполняется в рамках Государственной программы «Комфортное жилье

и благоприятная среда» на 2021–2025 гг. [2] (далее – госпрограмма), составляет 70 единиц. Реализация данных объектов строительства или реконструкции ОССВНП осуществляется с участием финансирования республиканских и местных бюджетов, кредитных ресурсов ОАО «Банк развития Республики Беларусь», а также с привлечением средств внешних государственных займов [2].

Помимо ОССВНП, реализуемых в рамках госпрограммы, аналогичные работы проводятся также и на других ОССВНП в основном за счет собственных средств эксплуатирующих их организаций.

Вне зависимости от мощности проектируемых объектов, их территориального расположения и источников финансирования, основной целью реализации проектов строительства, реконструкции ОССВНП является повышение степени очистки сточных вод.

Анализ реализованных на территории Республики Беларусь и Российской Федерации проектов строительства, реконструкции ОССВНП показывает, что на аналогичных по производительности (производительности мощности) объектах может быть реализован широкий спектр технологических решений по очистке сточных вод.

В свою очередь выбор технологии напрямую зависит от требуемых нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод в поверхностные водные объекты, причем достижения одних и тех же требований можно добиться с применением различных технологий и оборудования.

В этой связи выбор оптимального технологического решения целесообразно проводить путем сравнения возможных вариантов технологий с учетом технико-экономических показателей реализации проекта на стадии разработки предпроектной (предынвестиционной) документации, а наиболее эффективным инструментом, позволяющим определить все возможные варианты технологий с учетом их экологической эффективности и экономической целесообразности является концепция наилучших доступных технологий (далее – НДТ).

Анализ существующего положения и постановка проблемных вопросов

Проектирование объектов строительства, реконструкции ОССВНП, в соответствии с действующим законодательством, осуществляется в две стадии:

- предынвестиционная, результатом которой является разработка предпроектной (предынвестиционной) документации;
- инвестиционная, результатом которой является разработка проектной документации в одну или две стадии. При одностадийной разработке проектной документации разрабатывается строительный проект, при двухстадийной – архитектурный и строительный проекты.

На предынвестиционной стадии, в соответствии с Кодексом Республики Беларусь об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, определяется следующее: необходимость, техническая возможность, экономическая целесообразность осуществления инвестиций в строительство, реконструкцию объектов ОССВНП; требования к земельному участку; варианты объемно-планировочных и технологических решений; сведения об инженерных нагрузках; источники и объемы финансирования; проводится оценка воздействия на окружающую среду и расчеты по определению эффективности осуществления инвестиций, социальных, экологических и других последствий возведения, реконструкции, реставрации, эксплуатации объекта.

Именно на стадии разработки предпроектной (предынвестиционной) документации в составе раздела обоснования инвестиций осуществляется выбор основного технологического оборудования, то есть формируется аппаратное оформление технологической линии, которое, в свою очередь, не гарантирует выбор оптимальной технологии очистки сточных вод для данных ОССВНП.

Технология в широком понимании представляет собой совокупность применяемых технологических процессов, методов, систем очистки сточных вод, включая состав и режимы работы основного технологического оборудования, выраженную в форме текстовых пояснительных записок, моделей, чертежей, проектов, инструкций, программных продуктов.

Таким образом определить корректность подбора того или иного технологического оборудования невозможно без комплексной оценки технологии в целом с учетом технической, экологической и экономической эффективности ее применения на данных ОССВНП.

При этом, в соответствии со сложившейся многолетней практикой, классический подход к выбору основного технологического оборудования осуществляется проектировщиком на основании объектов-аналогов исходя из собственного опыта проектирования, причем в предпроектной (предынвестиционной) документации, как правило, не указывается по каким именно критериям выполнен подбор объекта-аналога, взятого за основу текущего проектного решения. Таким образом, на практике обоснование выбора основного технологического оборудования на основе сравнения возможных вариантов технологий, в том числе с учетом технико-экономических показателей эксплуатации объектов-аналогов, как правило, отсутствует.

Также необходимо отметить, что разработка предпроектной (предынвестиционной) документации осуществляется проектировщиком на основании задания на разработку такой документации, составленного заказчиком, а в случае разработки проектов реконструкции, строительства ОССВНП, заказчиком, как правило, выступает организация водопроводно-канализационного или жилищно-коммунального хозяйства, в эксплуатационном ведении которой находятся (будут находиться) очистные сооружения.

Проектная документация, в свою очередь, разрабатывается проектировщиком на основании решений, принятых на предынвестиционной стадии, утверждается в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь, проходит госстройэкспертизу (при необходимости) и является основанием для финансирования строительства.

Проблематика традиционно сложившихся в республике подходов к выбору основных технологических решений при разработке проектов реконструкции, строительства ОССВНП представлена в таблице 1.

Анализ таблицы 1 показывает, что проблематика существующих подходов к выбору основных технологических решений при разработке проектов реконструкции, строительства ОССВНП представляет собой совокупность проблемных вопросов, возникающих на начальных этапах проектирования, решение которых напрямую зависит от уровня компетенции специалистов организаций водопроводно-канализационного (жилищно-коммунального) хозяйства и специалистов проектных организаций.

Основной проблемой в сложившейся ситуации является недостаток информации об опыте применения тех или иных технологий очистки сточных вод в условиях эксплуатации тех или иных ОССВНП. Иными словами, отсутствие единой системы оценки, сбора, накопления и распространения информации о наилучших доступных технических методах (далее – НДТМ) очистки сточных вод на ОССВНП.

При этом отсутствие достаточного опыта и знаний о современных технологиях и оборудовании, применяемых для очистки сточных вод на каждом из этапов проектирования, перечисленных в таблице 1, могут привести к реализации неэффективных технологических решений и существенным финансовым затратам на их реализацию и дальнейшее устранение.

При подготовке технического задания на разработку предпроектной (предынвестиционной) документации специалисты организаций водопроводно-канализационного (жилищно-коммунального) хозяйства, формирующие требования к технологической части проекта, как правило, инженеры-технологи ОССВНП, в первую очередь руководствуются положениями Водного кодекса Республики Беларусь, Закона Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», правилами пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [4], правилами технической эксплуатации систем питьевого водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов [5], ЭкоНП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности [6].

Степень очистки сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, принимают в соответствии с постановлением 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» [7], ЭкоНП 17.06.02-002-2021 Экологические нормы и правила Республики Беларусь «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» [8] с учетом ЭкоНП 17.06.01-006-2023 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Нормативы качества воды поверхностных водных объектов» [9].

Таблица 1 – Проблематика существующих подходов к выбору основных технологических решений при разработке проектов реконструкции, строительства ОССВНП

Этап проектирования	Исполнитель	Проблемный вопрос	Примечания
1	2	3	4
Формирования технического задания на разработку проектной (предпроектной (предынвестиционной)) документации	Заказчик – организация водопроводно-канализационного или жилищно-коммунального хозяйства	Недостаточная компетентность либо отсутствие квалифицированного персонала, владеющего современными технологиями очистки сточных вод, их технико-экономическими характеристиками	Инженеры-технологи ОССВНП республики, как правило, имеют опыт работы только на одних ОС-СВНП, не имеют опыта участия в проектировании/сопровождении проектов реконструкции, строительства ОССВНП. Не имеют возможность получить информацию об успешном опыте внедрения современных технологий и оборудования на объектах-аналогах ОССВНП. Более того, на многих ОС-СВНП республики и вовсе отсутствуют инженеры-технологи ОССВНП. Техническое задание составляют специалисты отдела строительства с акцентом на объемно-планировочные и иные решения без должной проработки технологической части
		Субъективное представление специалиста, формирующего техническое задание, о проектируемых технологиях и оборудовании	Нередко в проект технического задания закладываются требования по применению технологий и оборудования, успешно применяемых на других объектах, в том числе в Российской Федерации, но не сопоставимых с проектируемыми ОССВНП по условиям эксплуатации, качественным и количественным характеристикам сточных вод, поступающих на очистку, и требованиям к степени очистки сточных вод
Разработка проектной (предпроектной (предынвестиционной)) документации	Подрядчик – проектная организация	Разработка проектной (предпроектной (предынвестиционной)) документации в строгом соответствии с техническим заданием и представленными исходными данными, без проведения дополнительных проектно-исследовательских работ	Некорректные / неверные исходные данные, а также требования к объекту проектирования, ошибочно сформированные на стадии разработки технического задания, могут лечь в основу проектной (предпроектной (предынвестиционной)) документации, быть реализованы и выявиться в ходе пуско-наладочных работ либо в процессе эксплуатации ОССВНП
		Недостаточная проработка и обоснование выбранной технологии	В соответствии с СП 1.02.01-2023 Строительные правила Республики Беларусь. Состав и порядок разработки предпроектной (предынвестиционной) документации [3], в составе раздела «Основные технологические решения» предпроектной (предынвестиционной) документации приводят обоснование выбранной технологии основного и вспомогательного производств на основе сравнения возможных вариантов технологических процессов (схем) в части их экономической эффективности, технической безопасности, потребления ресурсов на единицу продукции, а также степени риска и вероятности возникновения аварийных ситуаций с учетом их локализации, безопасного хранения, обезвреживания и захоронения отходов производства и др.
		Принятие технологических решений на основании объектов-аналогов без должной проработки и анализа сопоставимости проектируемого объекта и объекта-аналога по всем значимым критериям	

Основными техническими нормативными правовыми актами, применяемыми при формировании требований к технической части проекта, являются:

– СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» – строительные нормы обязательные к применению, которые устанавливают требования к проектированию наружных сетей и сооружений канализации [10];

– СТБ 17.06.02-03-2015 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация очистных сооружений сточных вод» – государственный стандарт Республики Беларусь, который устанавливает классификацию очистных сооружений сточных вод по группам, подгруппам и видам, отражающим назначение, биологические, химические и физические процессы, используемые при очистке сточных вод и признаки конструктивного исполнения [11];

– СП 4.01.10-2025 «Очистные сооружения сточных вод» – строительные правила, которые носят рекомендательный характер исполнения и распространяются на очистные сооружения сточных вод систем канализации и предназначены для применения при раз-

работке проектной документации на очистные сооружения при их возведении и реконструкции [12].

Названные технические нормативные правовые акты содержат порядок проектирования (расчета) сооружений и оборудования, применяемого для очистки сточных вод, в том числе на ОССВНП, в соответствии с действующей в республике классификацией [11]. При этом вопрос выбора наиболее эффективных технических и технологических решений для достижения требуемой степени очистки сточных вод на уровне существующей нормативной правовой базы остается открытым.

Вместе с тем необходимо отметить наличие в Республике Беларусь действующей законодательной базы для разработки, внедрения и распространения НДТМ. Термин «наилучшие доступные технические методы» закреплен в Законе «Об охране окружающей среды» (далее – Закон). В соответствии с Законом НДТМ необходимо внедрять как при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, оказывающей комплексное воздействие на окружающую среду, так и при разработке проектной и (или) иной документации по объектам хозяйственной и иной деятельности.

Учитывая наличие в Республике Беларусь действующей законодательной базы для разработки, внедрения и распространения НДТМ, необходимо разработать национальные подходы к оценке существующих технологий очистки сточных ОССВНП на соответствие их НДТМ.

Разработка критериев и методов оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ

Разработка критериев НДТМ применительно к ОССВНП базируется на основных технических и технологических характеристиках ОССВНП и характерных для Республики Беларусь особенностях их эксплуатации, требованиях национального законодательства в области очистки сточных вод, международном опыте внедрения и применения НДТ по очистке сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения (канализации).

Анализ характерных особенностей эксплуатации ОССВНП в условиях республики представлен в [13]. Результаты изучения и анализа международного опыта внедрения и применения НДТ в области очистки сточных вод изложены в [14–16]. Результаты оценки применимости зарубежного опыта внедрения НДТ в области очистки сточных вод на ОССВНП в условиях Республики Беларусь представлены в [17–18].

Исходя из определения, НДТМ должны обеспечивать уменьшение и (или) предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, образования отходов производства по сравнению с применяемыми и являющиеся наиболее эффективными для обеспечения нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при условии экономической целесообразности и технической возможности их применения.

На основе проведенного анализа международного опыта внедрения и применения НДТ, с учетом характерных особенностей эксплуатации ОССВНП в условиях Беларуси, авторами разработана система критериев и методов оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ. Предлагаемые критерии оценки объединены в три группы:

– технологические и технические критерии – позволяют оценить технологии на соответствие их современным достижениям науки и техники, а также оценить эффективность технологии очистки сточных вод с точки зрения ее прямого назначения – снижения содержания загрязняющих веществ в сточных водах в процессе их очистки;

– экологические критерии – позволяют оценить эффективность технологий с точки зрения обеспечения нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, уменьшения и (или) предотвращения поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, а также образования отходов производства;

– экономические критерии – позволяют оценить экономические аспекты применения технологии (затраты на ее реализацию и последующую эксплуатацию).

Перечень критериев оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ в разрезе групп представлен в таблице 2.

Методика оценки по некоторым из представленных в таблице 2 критериев, таких как эффективность удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод, уровень использования производственной мощности, затраты на очистку 1 м³ сточных вод, степень износа очистных сооружений, требует проведения предварительных расчетов. Методика оценки по критерию соответствия качества очищенных сточных вод нормативам допустимых сбросов предполагает проведение сравнительного анализа. По другим представленным критериям: применение глубокого удаления азота и фосфора, соблюдение требований природоохранного законодательства по сбросу сточных вод в поверхностные водные объекты, применение автоматизированных систем управления технологическим процессом очистки сточных вод, обработка и использование осадков сточных вод – оценивается наличие или отсутствие требуемых условий или параметров (оборудования).

Независимо от методов проведения оценки разработанные критерии являются универсальными, то есть применимыми ко всем ОССВНП вне зависимости от качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на ОССВНП, территориального расположения и эквивалента населения ОССВНП.

Таблица 2 – Критерии оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ

Технологические и технические	Экологические	Экономические
эффективность удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод	соответствие качества очищенных сточных вод нормативам допустимых сбросов	затраты на очистку 1 м ³ сточных вод
применение глубокого удаления азота и фосфора	соблюдение требований природоохранного законодательства по сбросу сточных вод в поверхностные водные объекты	
применение автоматизированных систем управления технологическим процессом очистки сточных вод	обработка осадков сточных вод	степень износа очистных сооружений
уровень использования производственной мощности	использование осадков сточных вод	

Рассмотрим подробнее каждый из представленных в таблице 2 критериев и методы их оценки.

Эффективность удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод является одним из важнейших параметров работы ОССВНП. Данный критерий позволяет оценить снижение содержания загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки.

Оценка эффективности удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод проводится по каждому из загрязняющих веществ и показателей, для которых, в соответствии с [7], доводятся прямые нормы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе таких вод в зависимости от эквивалента населения (далее – ЭН) (массы органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения):

– для ОССВНП с ЭН до 2000 человек (массой органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения до 120 кг/сут) оценка эффективности удаления загрязняющих веществ проводится по следующему перечню показателей: биохимическое потребление кислорода (БПК₅), химическое потребление кислорода (ХПК_{Cr}), взвешенные вещества, аммоний-ион;

– для ОССВНП с ЭН более 2001 человек (массой органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения более 120 кг/сут), помимо вышеуказанного перечня загрязняющих веществ и показателей (БПК₅, ХПК_{Cr}, взвешенные вещества, аммоний-ион) проводится оценка эффективности удаления азота общего и фосфора общего.

Эффективность удаления загрязняющих веществ в процессе очистки сточных вод ($\mathcal{E}_i$, %) определяется по формуле

$$\mathcal{E}_i = \frac{(C_{i(\text{вх.})} - C_{i(\text{вых.})})}{C_{i(\text{вх.})}} \cdot 100 \%,$$

где $C_{i(\text{вх.})}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в составе сточных вод, поступающих на ОССВНП, мг/дм³;

$C_{i(\text{вых.})}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в составе очищенных сточных вод, сбрасываемых в поверхностный водный объект, мг/дм³.

Применение глубокого удаления азота и фосфора в современных условиях является одним из важнейших требований, предъявляемых к эксплуатации ОССВНП. Большинство действующих ОССВНП

построены в соответствие со строительными нормами и правилами, введенными в действие несколько десятилетий назад, когда при проектировании учитывались только два показателя: биохимическое потребление кислорода (БПК₅) и взвешенные вещества. При этом не предусматривалась очистка от биогенных элементов.

Согласно современным требованиям [7] к ОССВНП с ЭН более 2001 человек (массой органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения более 120 кг/сут) предъявляются требования по достижению прямых нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе таких вод в значениях, которые с учетом эквивалента населения (массы органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения) практически невозможно достичь без внедрения технологических решений по глубокому удалению азота и фосфора.

Таким образом, большинство реализуемых в настоящее время проектов реконструкции, строительства ОССВНП направлены на интенсификацию стадии биологической очистки сточных вод с глубоким удалением азота и фосфора, а технологии, заложенные в основу таких проектов, в соответствии с международной практикой, являются НДТ.

Применение автоматизированных систем управления технологическим процессом очистки сточных вод в современных условиях является ключевым аспектом повышения эффективности очистки сточных вод [19–23]. Применение автоматизированных систем обеспечивает достоверный контроль и надёжное автоматическое управление технологическим оборудованием.

Повышение эффективности очистки сточных, в свою очередь, достигается за счет повышения оперативности реагирования на изменение основных параметров технологических процессов. Так, например, одним из основных технологических параметров обеспечения эффективной работы аэротенков является поддержание оптимального кислородного режима, который обеспечивается за счет подачи и распределения воздуха.

Регулирование подачи воздуха в ручном режиме потребует участия нескольких структурных подразделений и принятия комплексных мер, таких как отбор проб и выполнение испытаний в лабораторных условиях (лаборатория), анализ результатов лабораторных испытаний и расчет необходимой интенсивности аэрации (инженер-технолог), корректировка технологических режимов работы оборудования (оператор), повторный отбор проб и выполнение испытаний в лабораторных условиях (лаборатория), повторный анализ результатов лабораторных испытаний и принятие решения о необходимости дальнейшего изменения параметров аэрации (инженер-технолог). Таким образом, выход на заданные параметры и достижение оптимальных режимов работы технологического оборудования займет по меньшей мере несколько дней. В то же время применение автоматизированных систем управления позволяет:

- определять основные параметры технологического процесса в автоматическом режиме (за счет применения датчиков, анализаторов);
- отражать изменение основных параметров в режиме онлайн;
- анализировать и рассчитывать оптимальные параметры;
- регулировать режимы работы технологического оборудования с целью достижения оптимальных параметров.

В современных условиях все перечисленные выше действия могут выполняться автоматизированной системой управления, тем самым уменьшая долю ручного труда либо полностью исключая человеческий фактор, повышая оперативность реагирования на изменение технологических параметров и эффективность очистки сточных вод. Кроме того, оперативное изменение технологических параметров (в данном случае изменение режимов подачи воздуха) обеспечит рациональное использование ресурсов (воздуха) и электроэнергии, и, как следствие, экономическую эффективность.

Таким образом, при оценке критерия учитывается наличие одной или нескольких видов автоматизированных систем управления технологическим процессом очистки сточных вод, отличающихся между собой различным уровнем автоматизации:

- наличие шкафов управления и сигнализации без возможности регулирования параметров технологического процесса (только контроль параметров);
- наличие дистанционного управления технологическим процессом с места оператора (диспетчера);

– автоматическое регулирование параметров технологического процесса (без участия оператора).

Уровень использования производственной мощности (Y , %) рассчитывается как отношение фактического расхода сточных вод к проектной мощности очистных сооружений:

$$Y = \frac{Q_{\text{факт.}}}{Q_{\text{проект.}}} \cdot 100 \%,$$

где $Q_{\text{факт.}}$ – фактический расход сточных вод ОССВНП, м³/сут;

$Q_{\text{проект.}}$ – проектная мощность ОССВНП, м³/сут.

Результаты анализа уровня использования производственной мощности ОССВНП Беларуси представлен ранее [24]. Установлено, что полученные значения уровня использования производственной мощности изменяются от минимального значения 0,5 % до максимального 163,9 %. Фактический расход сточных вод подавляющего большинства ОССВНП значительно отличается от проектного, что ставит под угрозу достижение предусмотренной проектом эффективности очистки сточных вод и достижения установленных нормативов качества очищенных сточных вод [13].

Учитывая сложившуюся ситуацию, а также безусловную необходимость работы ОССВНП в рамках проектных параметров для достижения нужной эффективности очистки сточных вод, уровень использования производственной мощности в комплексе с другими критериями является одним из ключевых для принятия решения о необходимости реконструкции существующих ОССВНП.

Оценка соответствия качества очищенных сточных вод нормативам допустимых сбросов является одним из основных критериев оценки экологической эффективности работы ОССВНП. В общепринятом представлении методика оценки основана на прямом сопоставлении фактических значений концентраций загрязняющих веществ (значений показателей) в составе очищенных сточных вод на выходе из ОССВНП (далее – $C_{\text{факт.}}$) с проектными значениями. При этом ОССВНП считаются эффективно функционирующими, если по всем нормируемым загрязняющим веществам (показателям) $C_{\text{факт.}} \leq C_{\text{пр.}}$

В системе комплексной оценки технологий ОССВНП на их соответствие НДТМ оценка соответствия качества очищенных сточных вод нормативам допустимых сбросов проводится по каждому из загрязняющих веществ и показателей, для которых, в соответствии с [7], доводятся прямые нормы допустимых сбросов химических и иных веществ в составе таких вод в зависимости от ЭН (массы органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения) и основана на сопоставлении фактических значений концентраций загрязняющих веществ (значений показателей) в составе очищенных сточных вод на выходе из ОССВНП ($C_{\text{факт.}}$) с значениями нормативов допустимых сбросов ($C_{\text{норм.}}$) в соответствии с [7]. Такой подход позволяет систематизировать ОССВНП на группы в зависимости от ЭН, провести оценку и сопоставительный анализ экологической эффективности работы ОССВНП внутри каждой из групп, выявить в рамках группы технологии, соответствующие НДТМ.

Оценка соблюдения требований природоохранного законодательства по сбросу сточных вод в поверхностные водные объекты заключается в установлении наличия фактов превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты, установленных в разрешении на специальное водопользование или комплексном природоохранном разрешении.

Наличие таких фактов и установление их систематического характера (два и более установленных фактов за предыдущий год либо по одному факту за два предыдущих года) может являться одним из факторов, указывающих на неэффективную работу ОССВНП и требующих дальнейшего изучения.

Причинами несоблюдения требований природоохранного законодательства по сбросу сточных вод с ОССВНП в поверхностные водные объекты могут быть как применение неэффективных устаревших технологий очистки сточных вод, так и несоблюдение условий приема сточных вод в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, приводящее к формированию качественного и количественного состава сточных вод на входе в ОССВНП в значениях, превышающих проектные. Иными словами, ОССВНП не рассчитаны на прием сточных вод с таким качественным и количественным составом.

В данном случае, даже при достижении проектного уровня эффективности снижения загрязняющих веществ в составе сточных вод в процессе их очистки, их качество может не соответствовать требованиям, предъявляемым к сбросу сточных вод в поверхностные водные объекты.

Обработка и использование осадков сточных вод на ОССВНП позволяет уменьшить количество отходов, что, исходя из терминологии, закрепленной в национальном законодательстве, является признаком НДТМ. При этом для целей разработки НДТМ наличие решений по обработке и использованию осадков сточных вод целесообразно разделить на два критерия в зависимости от конечной цели их применения. Так, под обработкой осадков сточных вод в широком смысле понимаются технологические решения, применяемые с целью уменьшения их количества, обезвреживания, стабилизации или подготовки к их дальнейшему использованию. Следует отметить, что такой подход не решает проблему накопления осадков на объектах хранения ввиду отсутствия обоснованных вариантов их дальнейшего использования. Под использованием осадков сточных вод для целей разработки НДТМ понимаются технологические решения, применяемые с целью вовлечения осадков сточных вод в хозяйственный оборот.

Среди известных направлений использования осадков сточных вод можно выделить три основных:

- использование на земле (рекультивация нарушенных земель, внесение в качестве органико-минерального удобрения и почвоулучшающей добавки под сельскохозяйственные культуры, лесное хозяйство и т. п.);
- использование в производственных процессах (в качестве выгорающей добавки в производстве строительной керамики, в составе материалов при производстве дорожно-строительных работ и др.);
- энергетическое использование (биогазовые технологии, мониторинг и сжигание в смеси с другими отходами [24]).

В соответствии с [10], при производительности очистных сооружений до 25 000 м³/сут для обработки осадков сточных вод допускается применять иловые площадки. При большей производительности для снижения его объема следует предусматривать сооружения по механическому обезвоживанию осадка.

Следует также отметить, что в настоящее время возможности размещения осадков сточных вод на объектах хранения республики практически исчерпаны. Таким образом, при проведении оценки технологии ОССВНП на соответствие НДТМ, приоритетными направлениями обращения с осадками сточных вод являются: механическое обезвоживание осадка, анаэробное сбраживание, компостирование, сушка, сжигание, а также все возможные виды использования осадков и вовлечения их в хозяйственный оборот (при условии соблюдения требований природоохранного законодательства).

Затраты на очистку 1 м³ сточных вод (УЗ, руб.) для проектируемых ОССВНП выражаются в удельных капитальных затратах, для действующих – в удельных эксплуатационных затратах на очистку 1 м³ сточных вод и рассчитываются по формуле

$$УЗ = \frac{З_{ЭЭ} + З_{М} + З_{ТО}}{Q},$$

где $З_{ЭЭ}$ – затраты на электрическую энергию, используемую для технологических целей (для проектируемых ОССВНП учитываются капитальные затраты, для действующих – фактические эксплуатационные годовые затраты), руб.;

$З_{М}$ – затраты на материалы, используемые для технологических целей (для проектируемых ОССВНП учитываются капитальные затраты, для действующих – фактические эксплуатационные годовые затраты), руб.;

$З_{ТО}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание основных средств, непосредственно используемых в производственном процессе (для проектируемых ОССВНП учитываются капитальные затраты, для действующих – фактические эксплуатационные годовые затраты), руб.;

Q – производительность ОССВНП (для проектируемых ОССВНП в расчете применяется проектная производительность, для действующих – фактическая годовая производительность), м³/год.

Расчет и сопоставительный анализ удельных затрат на очистку 1 м³ сточных вод позволит определить диапазон приемлемых значений,

в рамках которых применение тех или иных технологий очистки сточных вод в условиях Беларуси является экономически целесообразным.

Высокая **степень износа очистных сооружений** является одной из наиболее распространенных причин недостаточной эффективности очистки сточных вод и, как следствие, осуществления сброса сточных вод в поверхностные водные объекты с превышением нормативов допустимых сбросов.

Степень износа основных производственных фондов является экономическим показателем, отражающим состояние и степень обесценения актива за период его эксплуатации, и в общепринятом понимании рассчитывается как отношение разницы между полной учетной и остаточной балансовой стоимостью основных фондов к полной учетной стоимости этих основных фондов.

В соответствии с действующим законодательством эксплуатирующие организации самостоятельно выбирают способ начисления амортизации (линейный, нелинейный либо производственный), что непосредственно влияет на величину остаточной балансовой стоимости основных фондов, а соответственно, и на величину степени износа.

Методика оценки степени износа очистных сооружений для целей разработки НДТМ должна обеспечить возможность получения данных об износе, сопоставимых с реальным физическим (техническим) состоянием сооружений. Кроме того, данный критерий является одним из ключевых в случае необходимости принятия решения о первоочередной реконструкции тех или иных ОССВНП путем сравнения их степени износа. В иных случаях в комплексе с другими критериями является одним из решающих для определения необходимости реконструкции действующих ОССВНП.

Таким образом, расчет степени износа очистных сооружений (И, %) для целей разработки НДТМ производится по формуле

$$И = \frac{TГ - ГР(В)}{Н} \cdot 100 \%,$$

где ТГ – текущий год;

ГР(В) – год ввода сооружений очистки сточных вод после последней реконструкции либо, если реконструкция не осуществлялась, год ввода сооружений в эксплуатацию;

Н – нормативный срок службы, лет [25].

Заключение

Разработанная система критериев и методов оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ является универсальной (применимой ко всем объектам ОССВНП республики) и учитывает все основные аспекты концепции НДТМ: техническая возможность реализации, экологическая эффективность и экономическая целесообразность технологических решений.

Предложенная система критериев и методов их оценки может выступать методологической основой для формирования национальных подходов к оценке технологий очистки сточных вод населенных пунктов на соответствие их НДТМ.

Дальнейшее развитие национальной концепции НДТМ в области очистки сточных вод населенных пунктов возможно путем решения следующих взаимосвязанных задач:

- разработка методики комплексной (интегральной) оценки технологий ОССВНП на соответствие их НДТМ;
- оценка применяемых в республике технологий и технологических решений очистки сточных вод на ОССВНП на соответствие их НДТМ с помощью разработанной методики;
- определение наиболее эффективных технологий и технологических решений по очистке сточных вод на ОССВНП и их систематизация;
- формирование национальных НДТМ по очистке сточных вод на ОССВНП.

Список цитированных источников

1. Ахмадиева, Ю. И. Реестр коммунальных очистных сооружений сточных вод как основа для формирования наилучших доступных технических методов очистки сточных вод населенных пунктов / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов : сборник материалов Международной научно-практической конференции, приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов, Минск, 22–24 марта 2023 г. / Национальная библиотека Беларуси. – Минск, 2023. – С. 127.

2. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 янв. 2021 г. № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100050> (дата обращения: 12.05.2025).
3. Состав и порядок разработки предпроектной (предынвестиционной) документации. Строительные правила Республики Беларусь : СП 1.02.01-2023. – Введ. 23.05.23 (с отменой ТКП 45-1.02-298-2014 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры, 2023. – 75 с.
4. Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.09.2016 № 788 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600788> (дата обращения: 12.05.2025).
5. Об утверждении Правил технической эксплуатации систем питьевого водоснабжения и водоотведения (канализации) населенных пунктов : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 04.09.2019 № 594 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900594> (дата обращения: 12.05.2025).
6. Об утверждении экологических норм и правил: постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732307p> (дата обращения: 12.05.2025).
7. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26.05.2025 № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732141> (дата обращения: 12.05.2025).
8. Об утверждении экологических норм и правил : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 21 сентября 2021 г. № 8-Т // ЭТАПОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
9. Об утверждении экологических норм и правил: постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 15 декабря 2023 г. № 15-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p> (дата обращения: 12.05.2025).
10. Канализация. Наружные сети и сооружения вод. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 4.01.02-2019. – Введ. 31.10.19 (с отменой ТКП 45-4.01-321-2018 (33020)). – Минск : Минстройархитектуры, 2024. – 86 с.
11. Классификация очистных сооружений сточных вод. Стандарт Госстандарта : СТБ 17.06.02-03-2015. – Введ. 01.12.15. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2015. – 32 с.
12. Очистные сооружения сточных вод. Строительные правила Республики Беларусь : СП 4.01.10-2025. – Введ. 10.02.25 (с отменой П1-2019 к ТКП 45-4.01-321-2018). – Минск : Минстройархитектуры, 2025. – 129 с.
13. Ахмадиева, Ю. И. Выбор технологических решений при строительстве и реконструкции очистных сооружений сточных вод населенных пунктов / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2022. – № 4. – С. 97–107.
14. Ахмадиева, Ю. И. Анализ подходов к внедрению наилучших доступных технологий по очистке сточных вод в Республике Беларусь и зарубежных странах / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Гомель, 2–3 июня 2022 г. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : А. П. Гусев [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 113–117.
15. Ахмадиева, Ю. И. Состояние и перспективы развития наилучших доступных технических методов в области очистки сточных вод населенных пунктов Республики Беларусь / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Импортзамещение, научно-техническая и экономическая безопасность : сборник материалов V Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения–2022», Минск, 7–9 декабря 2022 г. : в 3 т. – Минск : БГТУ, 2022. – Т. 3. – С. 28.
16. Ахмадиева, Ю. И. Концепция наилучших доступных технологий и технологическое нормирование сбросов сточных вод на примере Российской Федерации / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: сб. тр. / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2024. – 300 с.
17. Ахмадиева, Ю. И. Сравнительный анализ подходов к классификации очистных сооружений сточных вод населенных пунктов в Республике Беларусь и Российской Федерации / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 17–18 октября 2024 г. / БНТУ ; редкол. : С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2024. – С. 139–146.
18. Ахмадиева, Ю. И. Оценка применимости технологических показателей наилучших доступных технологий на очистных сооружениях смешанных (городских) сточных вод в условиях Беларуси / Ю. И. Ахмадиева, С. А. Дубенок // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 69–78.
19. Автоматизация технологических процессов очистки сточных вод на примере Минской очистной станции УП «Минскводоканал» / В. В. Иванович, А. Г. Гуранчик, О. С. Дубовик, В. Н. Ануфриев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2024. – № 2. – С. 12.
20. Реконструкция воздушной станции на очистных сооружениях г. Читы / А. Н. Ядрищенский, Н. Н. Филиппова, К. А. Булыгин [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 10. – С. 50.
21. Шекета, А. Н. Комплексная система оптимизации технологических процессов аэробной биологической очистки сточных вод : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.23 / А. Н. Шекета. – Щелково, 2008. – 208 л.
22. Устюжанин, А. В. Разработка энергосберегающей технологии управляемой подачи воздуха для систем аэрации биологических очистных сооружений : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / А. В. Устюжанин. – М., 2021. – 218 л.
23. Фоменкова, А. А. Модельно-алгоритмическое обеспечение мониторинга состояния систем анаэробной биологической очистки сточных вод : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / А. А. Фоменкова. – Санкт-Петербург, 2022. – 227 л.
24. Конон, О. А. Основные направления решения проблемы безопасной подготовки к использованию осадков очистных сооружений канализации / О. А. Конон, В. Н. Марцуп, Ю. И. Ахмадиева // Новые методы и технологии обращения с отходами. Органическая часть коммунальных отходов : сборник трудов / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 77.
25. Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь : постановление Министерства экономики Респ. Беларусь от 30.09.2011 № 161 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21124359> (дата обращения: 12.05.2025).

References

1. Ahmadiyeva, YU. I. Reestr kommunal'nyh ochistnyh sooruzhenij stochnyh vod kak osnova dlya formirovaniya nailuchshih dostupnyh tekhnicheskikh metodov ochistki stochnyh vod naselennykh punktov / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Aktual'nye voprosy effektivnogo i kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov : sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, priurochennoj ko Vsemirnomu dnyu vodnykh resursov, Minsk, 22–24 marta 2023 g. / Nacional'naya biblioteka Belarusi. – Minsk, 2023. – С. 127.

2. O Gosudarstvennoj programme «Komfortnoe zhil'e i blagopriyatnaya sreda» na 2021–2025 gody: postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus' ot 28 yanv. 2021 g. № 50 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100050> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
3. Sostav i poryadok razrabotki predproektnoj (predynvesticionnoj) dokumentacii. Stroitel'nye pravila Respubliki Belarus' : SP 1.02.01-2023. – Vved. 23.05.23 (s otnemoj TKP 45-1.02-298-2014 (02250)). – Minsk : Minstrojarkhitektury, 2023. – 75 s.
4. Ob utverzhdenii Pravil pol'zovaniya centralizovannymi sistemami vodosnabzheniya, vodootvedeniya (kanalizacii) v naselennykh punktakh : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus' ot 30.09.2016 № 788 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600788> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
5. Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii sistem pit'evogo vodosnabzheniya i vodootvedeniya (kanalizacii) naselennykh punktov : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus' ot 04.09.2019 № 594 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900594> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
6. Ob utverzhdenii ekologicheskikh norm i pravil: postanovlenie M-va prirod. resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 18 iyulya 2017 g. № 5-T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732307p> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
7. O nekotorykh voprosakh normirovaniya sbrosov himicheskikh i inyh veshchestv v sostave stochnykh vod : postanovlenie M-va prirod. resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 26.05.2025 № 16 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732141> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
8. Ob utverzhdenii ekologicheskikh norm i pravil : postanovlenie M-va prirod. resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 21 sentyabrya 2021 g. № 8-T // ETALON. Zakonodatel'stvo Respubliki Belarus' / Nac. centr pravovoj inform. Resp. Belarus'. – Minsk, 2025.
9. Ob utverzhdenii ekologicheskikh norm i pravil: postanovlenie M-va prirod. resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus' ot 15 dekabrya 2023 g. № 15-T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441063p> (data obrashcheniya: 12.05.2025).
10. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya vod. Stroitel'nye normy Respubliki Belarus' : SN 4.01.02-2019. – Vved. 31.10.19 (s otnemoj TKP 45-4.01-321-2018 (33020)). – Minsk : Minstrojarkhitektury, 2024. – 86 s.
11. Klassifikatsiya ochistnykh sooruzhenij stochnykh vod. Standart Gosstandarta : STB 17.06.02-03-2015. – Vved. 01.12.15. – Minsk : Gosudarstvennyj komitet po standartizatsii Respubliki Belarus', 2015. – 32 s.
12. Ochistnye sooruzheniya stochnykh vod. Stroitel'nye pravila Respubliki Belarus' : SP 4.01.10-2025. – Vved. 10.02.25 (s otnemoj P1-2019 k TKP 45-4.01-321-2018). – Minsk : Minstrojarkhitektury, 2025. – 129 s.
13. Ahmadiyeva, YU. I. Vybory tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve i rekonstrukcii ochistnykh sooruzhenij stochnykh vod naselennykh punktov / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya. – 2022. – № 4. – S. 97–107.
14. Ahmadiyeva, YU. I. Analiz podhodov k vnedreniyu nailuchshih dostupnykh tekhnologij po ochistke stochnykh vod v Respublike Belarus' i zarubezhnykh stranah / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Transgranichnoe sotrudnichestvo v oblasti ekologicheskoy bezopasnosti i ohrany okruzhayushchej sredy: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Gomel', 2–3 iyunya 2022 g. / Gomel'skij gos. un-t im. F. Skoriny ; redkol. : A. P. Gusev [i dr.]. – Gomel', 2022. – S. 113–117.
15. Ahmadiyeva, YU. I. Sostoyanie i perspektivy razvitiya nailuchshih dostupnykh tekhnicheskikh metodov v oblasti ochistki stochnykh vod naselennykh punktov Respubliki Belarus' / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Importozameshchenie, nauchno-tekhnicheskaya i ekonomicheskaya bezopasnost' : sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Minskie nauchnye chteniya–2022», Minsk, 7–9 dekabrya 2022 g. : v 3 t. – Minsk : BGTU, 2022. – T. 3. – S. 28.
16. Ahmadiyeva, YU. I. Konceptsiya nailuchshih dostupnykh tekhnologij i tekhnologicheskoe normirovanie sbrosov stochnykh vod na primere Rossijskoj Federacii / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Nauchno-tekhnicheskij progress v zhilishchno-kommunal'nom hozyajstve: sb. tr. / Institut zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva NAN Belarusi; pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk, prof. V. O. Kitikova. – Minsk : BGTU, 2024. – 300 s.
17. Ahmadiyeva, YU. I. Sravnitel'nyj analiz podhodov k klassifikacii ochistnykh sooruzhenij stochnykh vod naselennykh punktov v Respublike Belarus' i Rossijskoj Federacii / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Innovacionnye tekhnologii v vodnom, kommunal'nom hozyajstve i vodnom transporte: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Minsk, 17–18 oktyabrya 2024 g. / BNTU ; redkol. : S. V. Haritonchik [i dr.]. – Minsk, 2024. – S. 139–146.
18. Ahmadiyeva, YU. I. Ocenka primenimosti tekhnologicheskikh pokazatelej nailuchshih dostupnykh tekhnologij na ochistnykh sooruzheniyah smeshannykh (gorodskih) stochnykh vod v usloviyah Belarusi / YU. I. Ahmadiyeva, S. A. Dubenok // Prirodnye resursy. – 2025. – № 1. – S. 69–78.
19. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh processov ochistki stochnykh vod na primere Minskoj ochistnoy stancii UP «Minskvodokanal» / V. V. Ivanovich, A. G. Guranchik, O. S. Dubovik, V. N. Anufriev // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2024. – № 2. – S. 12.
20. Rekonstruktsiya vozdukhoduvnoj stancii na ochistnykh sooruzheniyah g. Chity / A. N. Yadrishchenskij, N. N. Filippova, K. A. Bulygin [i dr.] // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2019. – № 10. – S. 50.
21. Sheketa, A. N. Kompleksnaya sistema optimizatsii tekhnologicheskikh processov aerobnoj biologicheskoy ochistki stochnykh vod : dis. ... kand. tekhn. nauk : 03.00.23 / A. N. Sheketa. – SHCHelkovo, 2008. – 208 l.
22. Ustyuzhanin, A. V. Razrabotka energosberegayushchej tekhnologii upravlyayemoj podachi vozduha dlya sistem aeratsii biologicheskikh ochistnykh sooruzhenij : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.04 / A. V. Ustyuzhanin. – M., 2021. – 218 l.
23. Fomenkova, A. A. Model'no-algoritmicheskoe obespechenie monitoringa sostoyaniya sistem anaerobnoj biologicheskoy ochistki stochnykh vod : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.04 / A. A. Fomenkova. – Sankt-Peterburg, 2022. – 227 l.
24. Konon, O. A. Osnovnye napravleniya resheniya problemy bezopasnoj podgotovki k ispol'zovaniyu osadkov ochistnykh sooruzhenij kanalizacii / O. A. Konon, V. N. Marcul', YU. I. Ahmadiyeva // Novye metody i tekhnologii obrashcheniya s othodami. Organicheskaya chast' kommunal'nykh othodov : sbornik trudov / Institut zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva NAN Belarusi. – Minsk : BGTU, 2021. – S. 77.
25. Ob ustanovlenii normativnykh srokov sluzhby osnovnykh sredstv i priznanii utrativshimi silu nekotorykh postanovlenij Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus' : postanovlenie Ministerstva ekonomiki Resp. Belarus' ot 30.09.2011 № 161 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21124359> (data obrashcheniya: 12.05.2025).

Материал поступил 21.05.2025, одобрен 25.05.2025, принят к публикации 25.05.2025