Биофлокуляция и биокоагуляция, несмотря на их потенциальную эффективность при удалении взвешенных и коллоидных загрязнений, в настоящее время мало применимы в практике очистки сточных вод из-за сложности управления биологическими процессами и нестабильности их протекания. Эффективность данных методов существенно зависит от состава сточных вод, температуры, pH среды и наличия токсичных примесей, которые могут подавлять жизнедеятельность микроорганизмов и снижать образование биофлокул. В условиях переменных нагрузок, характерных для реальных очистных сооружений, обеспечить стабильную работу таких процессов затруднительно.

Также проблемой является необходимость поддержания определенных условий для роста и активности биомассы, что усложняет эксплуатацию сооружений и увеличивает требования к контролю за технологической схемой.

В отличие от реагентных методов коагуляции, биокоагуляция протекает медленнее и хуже поддается регулированию, что снижает ее востребованность для объектов, где требуется надежная и постоянная эффективность очистки. Поэтому в современных технологиях чаще используются физико-химические и механические методы интенсификации осаждения, обладающие большей надежностью и устойчивостью результатов.

Вывод. Применение данных методов повышает эффективность очистки сточных вод, и интенсификация первичного осаждения достигается за счет модернизации механической очистки, оптимизации процессов седиментации, совершенствования конструкций отстойников, регулирования гидравлических режимов и улучшения биологической стадии очистки.

Список литературы

1 **Парамонова, Л. Н.** Пути повышения эффективности очистки сточных вод / Л. Н. Парамонова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – URL: https://izvestiapgups.org/archive/ (дата обращения: 22.02.2026).

2 **Эдимова, С. Р.** Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на канализационных сооружениях города Красноперекопска / С. Р. Эдимова, Э. И. Салиев // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 16 (68). – URL: http://stroy-texnobez.ru/archives/ (дата обращения: 24.02.2026).

УДК 551.4 (476.13)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Ю. В. МУРАВЬЁВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, yulia_muraveva@list.ru

Актуальность. Применение *BIM*-технологий при проектировании наружных сетей канализации обусловлено необходимостью повышения

качества проектных решений, сокращения сроков проектирования и снижения количества ошибок при строительстве и эксплуатации инженерных коммуникаций. В современных условиях наружные сети канализации прокладываются в плотной городской застройке, где требуется учитывать большое количество пересечений с существующими инженерными сетями, дорогами и сооружениями. При традиционном 2*D*-проектировании в среде *Autodesk AutoCAD* возрастает риск несогласованности данных между планами и профилями, а внесение изменений требует значительных временных затрат и увеличивает вероятность ошибок. Использование программного комплекса *Autodesk Civil* 3*D* позволяет перейти к параметрическому 3*D*-проектированию, автоматизировать построение продольных профилей, управлению уклонами трубопроводов, формированию спецификаций и ведомостей объёмов работ, что делает процесс проектирования более точным и эффективным. В связи с этим разработка рекомендаций по применению *BIM*-подходов на базе *Autodesk AutoCAD* и *Autodesk Civil* 3*D* является актуальной задачей для повышения уровня цифровизации проектирования наружных сетей канализации.

Цель работы. Разработка практических рекомендаций по применению *BIM*-технологий при проектировании наружных сетей канализации с использованием программных средств *Autodesk AutoCAD* и *Autodesk Civil* 3*D*, направленных на повышение точности проектных решений, сокращение трудоёмкости проектирования и улучшение качества проектной документации.

Основные результаты. В настоящее время технологии информационного моделирования зданий и сооружений *BIM (Building Information Modeling)* занимают всё более значимое место в современной практике проектирования инженерной инфраструктуры. В основе концепции *BIM* лежит не просто трёхмерный чертёж, а единая цифровая модель объекта, в которой хранится вся проектная информация: геометрия конструкций, технические характеристики материалов, взаимосвязи между элементами. Любое изменение в такой модели автоматически отражается на всех связанных с ним данных, что принципиально отличает её от набора разрозненных чертежей, которые при традиционном подходе нужно обновлять вручную в каждом затронутом документе [1]. Несмотря на широкое распространение данного подхода при проектировании зданий, его применение к линейным объектам инженерной инфраструктуры, в частности к наружным сетям канализации, остаётся недостаточно методически проработанным, хотя именно возможности цифровой модели могут дать наибольший практический эффект.

Специфика наружных канализационных сетей как объекта *BIM*-проектирования определяется их линейным характером и необходимостью постоянного учёта внешних факторов: рельефа местности, геологического строения основания и расположения существующих подземных коммуникаций – водопроводом, кабелями, газопроводом. При традиционном проектирова-

нии в среде *Autodesk AutoCAD* согласование глубины прокладки трубопровода с данными топографической съёмки, контроль пересечений с другими сетями и актуализация продольного профиля при изменении трассы выполняются вручную, именно это является накоплением ошибок, которые обнаруживаются уже в ходе строительства и влекут за собой переделки и удорожание работ [2].

Autodesk Civil 3D реализует этот принцип через единую связанную среду, где цифровая модель рельефа, трасса коллектора и трубопроводная сеть образуют ассоциативную структуру: программа автоматически вычисляет отметки лотков и верха трубы, строит продольный профиль и обновляет его при любом изменении трассы. Каждый элемент сети – участок трубы, смотровой колодец, фасонная часть – является параметрическим объектом, хранящим полный набор технических характеристик. Эти данные программа использует для автоматического формирования спецификаций и выполнения автоматической проверки пересечения проектируемых трубопроводов с уже существующими подземными коммуникациями [2]. Именно такая связанность данных внутри модели, а не трёхмерная визуализация сама по себе, и составляет реальную ценность BIM при проектировании наружных сетей канализации.

Вместе с тем анализ практики внедрения *BIM*-технологий в проектных организациях выявляет характерную закономерность: наличие современного программного обеспечения само по себе не гарантирует перехода на качественный новый уровень проектирования. Отсутствие унифицированных регламентов работы закономерно приводит к системным сбоям. На практике это выражается в методологической разнородности: часть специалистов использует параметрические объекты с атрибутивными данными, тогда как другие ограничиваются созданием линейных примитивов, лишенных информационной нагрузки. Модели разных разделов проекта не сводятся в единую общую модель и существуют параллельно вплоть до финальной сдачи документации. Каждый из этих сбоев нивелирует работу, выполненную в *BIM*-среде, и является фактором возникновения рисков при традиционном проектировании в условиях применения передовых технологий [3]. Именно поэтому ключевым результатом внедрения *BIM* должно стать не приобретение программного обеспечения, а разработанный и утверждённый внутренний регламент – нормативный документ организации, устанавливающий обязательный порядок работы с цифровой моделью.

В отличие от методических рекомендаций, носящих совещательный характер, регламент является обязательным для исполнения всеми участниками проекта и служит основой для контроля качества на каждом этапе проектирования. Его разработка обусловлена тем, что *BIM*-процесс охватывает одновременно нескольких специалистов и несколько разделов проекта, и без зафиксированных правил взаимодействия между ними неизбежно воз-

никают информационные разрывы, устранение которых требует значительных временных затрат [4]. Состав регламента определяется логикой проектного цикла и включает четыре взаимосвязанных блока.

Первый раздел регламента устанавливает требования к исходным данным. Данные топографической съёмки должны передаваться в форматах, пригодных для прямой загрузки в *Civil 3D* без необходимости ручной отрисовки – в виде структурированного массива пространственных точек или иных совместимых структурированных форматов. Сведения о существующих подземных коммуникациях оформляются как трёхмерные объекты с указанием глубины их залегания: без этого параметра проверка на пересечения невозможна. Регламент фиксирует единую систему координат и высот для всего проекта, поскольку несоответствие систем координат в исходных документах – одна из наиболее частых причин смещений при объединении моделей [3]. Важно учитывать, что в *BIM*-среде ошибка в исходных данных не остаётся локальной, как при традиционном черчении, а распространяется на все зависимые объекты модели – отметки колодцев, глубины заложения, уклоны трубопроводов.

Второй раздел регламента посвящён порядку разработки цифровой модели. Здесь закрепляется обязательное требование создавать все трубопроводы и колодцы исключительно как параметрические объекты специальными инструментами для проектирования инженерных сетей, а не как элементарные геометрические объекты. Каждый объект должен содержать заданный набор свойств: диаметр, материал, класс прочности, отметки верха и лотка. Регламент также определяет корпоративный шаблон проекта со стандартизированными стилями отображения объектов и параметрами продольного профиля, а также библиотеку типовых элементов – труб, смотровых колодцев и фасонных частей. Применение единого шаблона и библиотеки обеспечивает однородность моделей, выполняемых разными специалистами, и делает возможным их последующее объединение без дополнительных настроек [4].

Третий раздел регламентирует порядок проверки на пересечения – коллизионного анализа. Поскольку канализационная сеть является частью комплексного проекта, её модель должна регулярно объединяться с моделями других разделов: водоснабжения, электроснабжения, конструктивных решений. Для этого используется *Navisworks*, принимающий модели из разных источников через форматы *NWC* и открытый стандарт *IFC* и находящий все точки их пространственного пересечения. Регламент устанавливает периодичность такого анализа и порядок документирования выявленных конфликтов с передачей их на устранение ответственным исполнителям. Тем самым коллизионный анализ превращается из разовой финальной процедуры в регулярный инструмент контроля качества на протяжении всего проектного цикла [5].

Четвёртый раздел определяет требования к модели на завершающей стадии работы. По завершении проектирования модель должна содержать полный проверенный и подтверждённый набор параметров по всем элементам сети. После строительства и внесения фактических данных о выполненных работах она передаётся эксплуатирующей организации в структурированном цифровом виде и служит электронным паспортом объекта, содержащим точные сведения о местоположении, диаметрах, материалах и глубине залегания трубопроводов на весь срок их службы. Установление этого требования в регламенте является ключевым, так как определяет отношение к *BIM*-модели не как к инструменту получения чертежей, а как к долгосрочному информационному ресурсу объекта [5].

В результате разработка внутреннего регламента применения *BIM* при проектировании наружных канализационных сетей является не технической формальностью, а содержательным инструментом управления качеством проектного процесса. Регламент переводит *BIM* из области индивидуальных навыков отдельных специалистов в область воспроизводимого организационного процесса, результат которого не зависит от того, кто именно ведёт конкретный проект. Именно в обеспечении такой системности, а не в освоении отдельных функций программного обеспечения состоит фактическая значимость перехода к информационному моделированию для объектов канализования.

Выводы. Применение *BIM*-технологий при проектировании наружных сетей канализации обеспечивает переход от традиционных 2*D*-чертежей к единой цифровой модели, позволяющей автоматически согласовывать все элементы проекта, сокращать трудоёмкость проектирования и минимизировать ошибки. Вместе с тем эффективное внедрение *BIM* требует разработки внутреннего организационного регламента, регулирующего порядок работы с моделью на всех этапах проектного цикла, что превращает информационное моделирование из инструмента отдельных элементов в воспроизводимый процесс, обеспечивающий стабильно высокое качество проектной документации.

Список литературы

1 **Талапов, В. В.** Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 392 с.

2 Autodesk. Civil 3D: проектирование трубопроводных сетей : [офиц. документация]. – URL: https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/RUS/ (дата обращения: 15.02.2026).

3 **Сунгатуллин, А. Р.** Применение технологии информационного моделирования при проектировании объектов водоснабжения и канализации / А. Р. Сунгатуллин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 7. – С. 45–51.

4 **Шуберт, Ю. Е.** К вопросу внедрения BIM-технологий в учебный процесс / Ю. Е. Шуберт // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 168–169.

5 **Карасёв, В. Н.** Коллизионный анализ в Autodesk Navisworks при проектировании наружных инженерных сетей / В. Н. Карасёв // CADmaster. – 2022. – № 98. – С. 22–28.