

## Список литературы

1 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01.07.1990. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.

2 СН 4.01.01-2019 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования. – Введ. 09.07.2020. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2018. – 75 с.

3 ГОСТ ISO 13760-2024. Трубы из пластмасс для транспортирования жидкостей под давлением. Правило Майнера. Метод расчета накопленного повреждения. – Введ. 29.11.2024 / подготовлен обществом с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИПЛАСТИК». – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2024. – III, 8 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/845/84540.pdf?ysclid=mflioz13fx109124102> (дата обращения: 10.09.2025).

УДК 628.35:628.395

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ АЗОТА И ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ФОСФОРА**

*А. А. РОДЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Реконструкция городских очистных сооружений является важнейшей задачей в условиях роста антропогенной нагрузки на водные объекты и ужесточения экологических нормативов сброса сточных вод. Устаревшие технологии очистки, применявшиеся при строительстве большинства действующих очистных сооружений несколько десятилетий назад, не обеспечивают требуемую степень очистки по таким показателям, как биогенные элементы (азот и фосфор). Кроме того, физический износ оборудования и конструкций приводит к повышенным эксплуатационным затратам, увеличению аварийных ситуаций и снижению эффективности очистки сточных вод.

Кроме технологических аспектов, актуальность реконструкции обусловлена экономическими факторами. Эксплуатация морально и физически устаревших очистных сооружений связана с высокими затратами на ремонты, значительными потерями ресурсов и рисками штрафных санкций за превышение допустимых концентраций загрязняющих веществ. Внедрение энергоэффективного оборудования, цифровых систем мониторинга и современных методов обработки осадка обеспечивает долгосрочную экономию бюджетных средств и снижает экологические риски. Таким образом, реконструкция очистных сооружений представляет собой не только экологическую, но и экономическую необходимость, способствуя устойчивому развитию городской инфраструктуры [1].

Объектом реконструкции являются очистные сооружения г. Владикавказа. Первая очередь очистных сооружений производительностью 123 тыс. м<sup>3</sup>/сут была введена в эксплуатацию в 1976 году, вторая очередь производительностью 157 тыс. м<sup>3</sup>/сут – в конце 1990 года. Фактическая производительность очистных сооружений существенно снизилась и составляет 96,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Действующие очистные сооружения включают сооружения и оборудование механической (решетки, горизонтальные песколовки, преаэратор, первичные радиальные отстойники) и биологической очистки (четырёхкоридорные аэротенки вытеснители с регенераторами, вторичные радиальные отстойники). В настоящее время в эксплуатации находятся только решетки и горизонтальные песколовки, а далее сточные воды по транспортирующему лотку отводятся в реку Терек. Сооружения по обработке осадка (радиальные илоуплотнители, метантенки) не работают и выведены из эксплуатации. Сырой осадок и избыточный активный ил отводятся на иловые площадки для обезвоживания и складирования.

На основании проведенного обследования очистных сооружений установлено множество дефектов и повреждений основных элементов сооружений:

- сколы, отслоения, продольные и поперечные трещины защитного слоя бетона;
- разрушение бетонного слоя с оголением арматуры;
- коррозия металлоконструкций (ограждений, площадок обслуживания, щитовых затворов) и технологического оборудования (воздуховодов, трубопроводов, решеток);
- признаки глубокой коррозии в местах оголения арматуры.

Критическое состояние существующих очистных сооружений обусловлено совокупностью факторов, среди которых основными являются продолжительная эксплуатация без капитального ремонта и деструктивное влияние климатических условий.

Качественный состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения, существенно отличаются от проектных значений. Концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске очистных сооружений превышают допустимые значения по показателям: взвешенные вещества, БПК<sub>5</sub>, ХПК, азот общий, азот аммонийный, фосфор общий и фосфор фосфатов (таблица 1).

Очистные сооружения не только находятся в неудовлетворительном состоянии, но и не обеспечивают требуемую степень очистки. Без проведения реконструкции очистных сооружений получить нормативные концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах невозможно.

Таблица 1 – Качественная характеристика сточных вод г. Владикавказа

Показатели	Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup> , в составе сточных			
	поступающих на очистные сооружения		на выпуске очистных сооружений	
	проектные	фактические	фактические	допустимые
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	210	286,83	48	5,0
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	192	309,62	25,5	3,0
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	150	553,67	170,2	-
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	60	50,52	48,3	15
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	50	38,4	60,1	0,4
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	10	10,2	8,6	0,5
Фосфор фосфатов, мг/дм <sup>3</sup>	8	6,41	5,32	0,2

На основании проведенного комплексного обследования и оценки эффективности работы очистных сооружений г. Владикавказа разработаны рекомендации по их реконструкции, направленные на достижение нормативных показателей очистки сточных вод, соответствующих требованиям сброса в р. Терек.

Разработанный проект реконструкции предусматривает комплексную модернизацию системы очистки сточных вод, включающую:

- интенсификацию существующих технологических процессов за счет внедрения современных решений, повышающих эффективность очистки и производительность сооружений;
- оптимизацию состава очистных сооружений на основе детального анализа технологической схемы с подбором наиболее эффективного оборудования для механической, биологической и физико-химической очистки;
- совершенствование системы обработки осадка путем модернизации узлов обезвоживания и утилизации, обеспечивающей снижение объема образующихся осадков и их экологически безопасное использование.

Проект реконструкции включает следующие основные технологические решения:

- замена устаревших среднепрозрачных решеток на современные ступенчатые решетки с мелким прозором для повышения эффективности задержания взвешенных веществ;
- оптимизация работы горизонтальных песколовков путем стабилизации скорости движения сточных вод и модернизации системы удаления осадка (замена гидроэлеваторов);
- демонтаж преаэраторов как технологически устаревших элементов;
- замена пластиковых водосливов на коррозионностойкие конструкции из нержавеющей стали;
- трансформация традиционных азротенков-вытеснителей в современные сооружения с глубокой биологической очисткой, включающие: организацию анаэробной, аноксидной и аэробной зон; установку мешалок в анаэробных и аноксидных зонах; полную замену системы аэрации на мелкопузырчатый пневмоаэраторы ООО «ГЕФЛИС»;
- применение технологии обеззараживания гипохлоритом натрия с возможностью дальнейшей модернизации на УФ-обеззараживание.

Применение технологической схемы биологической очистки с выделением анаэробной, аноксидной и анаэробной зон обеспечивает снижение концентрации фосфора общего до 1,7–2,0 мг/дм<sup>3</sup>. Для обеспечения нормативного содержания общего фосфора в очищенных сточных водах (не более 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) предусмотрено дополнительное химическое осаждение с использованием сульфата алюминия в качестве коагулирующего реагента [2]. Данный реагент был выбран благодаря его высокой эффективности осаждения фосфатов и оптимальному соотношению стоимости и производительности.

Введение раствора сульфата алюминия осуществляется на завершающей стадии биологической очистки – непосредственно перед подачей сточных вод во вторичные отстойники. Такой подход позволяет:

- максимально использовать синергию биологического и химического методов очистки;
- обеспечить образование плотных хлопьев фосфата алюминия, которые эффективно задерживаются в отстойниках;
- минимизировать расход реагента за счет точного дозирования, автоматически корректируемого в зависимости от текущей концентрации фосфора.

Дополнительным преимуществом применения сульфата алюминия является его способность улучшать седиментационные свойства активного ила, что повышает эффективность работы вторичных отстойников. Для контроля процесса предусмотрена система онлайн-мониторинга остаточного фосфора с обратной связью на дозирующее оборудование.

Проектные решения по обработке осадков предусматривают комплексный технологический подход, обеспечивающий полный цикл переработки образующихся осадков сточных вод. Отбросы, задерживаемые решетками, подвергаются обезвоживанию с использованием шнекового пресса, что позволяет значительно уменьшить их объем. Пескопульпа, образующаяся в процессе очистки, поступает в два имеющихся песковых бункера для последующего удаления. Смешанные осадки, поступающие с решеток, первичных и вторичных отстойников, направляются в метантенки для анаэробного сбраживания в мезофильных условиях, где происходит их стабилизация с одновременным выделением биогаза.

Механическое обезвоживание осадков осуществляется с помощью фильтр-прессов, обеспечивающих снижение влажности до технологически оптимальных значений. Дальнейшая обработка включает сушку в барабанной сушилке с последующим термическим обезвреживанием в барабанных печах. Образующийся в метантенках биогаз используется в качестве энергоресурса для поддержания температурного режима сбраживания, а также для работы сушильных установок и печей.

Вторичный продукт термической обработки – зола – обладает потенциалом для полезного применения в строительной отрасли в качестве добавки при производстве бетонных смесей. Данный подход позволяет минимизировать объем отходов, направляемых на захоронение, и реализовать принципы ресурсосберегающей и экологически ориентированной технологии.

Разработанные проектные решения направлены на модернизацию всего технологического цикла – от механической очистки до обработки образующихся осадков. Переход на современные системы биологической очистки с глубоким удалением азота и фосфора, внедрение энергоэффективного оборудования и автоматизированных систем управления позволят не только достичь нормативных показателей сброса, но и значительно повысить эксплуатационную надежность комплекса. Особое внимание уделено вопросам утилизации осадков, где предусмотрено создание замкнутого цикла переработки с максимальным использованием энергетического потенциала биогаза и полезным применением золы.

Реализация проекта реконструкции позволит не только устранить текущие экологические риски, но и создать технологический запас прочности для будущего развития городской системы канализации. Комплексный подход к модернизации, сочетающий техническое переоснащение с внедрением ресурсосберегающих технологий, обеспечит устойчивую и экономически эффективную работу очистных сооружений на десятилетия вперед, что соответствует принципам экологически ориентированного развития городской инфраструктуры.

#### Список литературы

- 1 Новикова, О. К. Реконструкция систем водоснабжения и канализации : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 212 с.
- 2 Новикова, О. К. Технология очистки сточных вод : учеб. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 302 с.

УДК 631.624

## КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

*Н. П. СЕРЕДА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Актуальность.** Повысительные насосные станции являются важнейшим элементом городской системы водоснабжения. Значительное количество насосных станций третьего подъема функционирует в течение продолжительного времени, в результате чего установленное насосное оборудование и используемые системы автоматизации требует замены [3].