

**Е.В. ВИЛЬСОН**  
**Н.С. СЕРПОКРЫЛОВ**  
**Л.А. ДОЛЖЕНКО**

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ**

SUSTAINABLE OPERATION OF THE SEWAGE WORKS IN CRITICAL SITUATIONS

*Проанализированы причины критических ситуаций на очистных сооружениях коммунального водоотведения. Проведено обследование локальных очистных сооружений микрорайона в критической ситуации отказа и определены проблемы, обусловленные сбросом либо недоочищенных, либо полностью неочищенных сточных вод в водоём. Для восстановления функционирования очистных сооружений разработан оптимальный технологический режим с учетом изменения подачи воздуха, ввода биопрепаратов, добавления пероксида водорода и использования светодиодов в аэробной части сооружений.*

**Ключевые слова:** сточные воды, городские очистные сооружения, биологическая очистка, биогенные элементы, окислительно-восстановительный потенциал, пероксид водорода, технологические показатели

Устойчивость функционирования очистных сооружений коммунального водоотведения в аварийных условиях представляет собой способность отдельных блоков, в первую очередь – биологической очистки, предупредить возникновение производственных аварий с целью предотвращения сброса неочищенных сточных вод в окружающую среду, а также обеспечивать восстановление нарушенного технологического режима работы в минимально короткий срок.

Очистные сооружения водоотведения являются заключительным элементом системы коммунального водоотведения и представляют собой комплекс инженерных сооружений и оборудования, необходимого для переработки сточных вод и образующихся осадков. Очистные сооружения относятся к объектам непрерывного действия, остановка которых может привести к загрязнению сточными водами водоемов, снижению уровня санитарно-эпидемиологической обстановки и возможным чрезвычайным последствиям. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в критических ситуациях в водные объекты или на рельеф создает угрозу для здоровья человека, окружающей среды и нормальной хозяйственной деятельности. Опасность в залповых выбросах отравляющих или токсичных веществ на территории очистной станции, естественно, от-

*The causes of critical situations in sewage treatment plants for municipal water disposal are analyzed. A survey of local treatment facilities of the microdistrict in a critical failure situation was carried out and problems were identified, caused by the discharge of either under-treated or completely untreated sewage into the reservoir. To restore the functioning of treatment facilities an optimal technological regime has been developed, taking into account changes in air supply, introduction of biologics, addition of hydrogen peroxide and the use of LEDs in the aerobic part of structures.*

**Keywords:** sewage, urban treatment plants, biological treatment, biogenic elements, redox potential, hydrogen peroxide, technological indicators

рицательно влияет на обслуживающий персонал. Повышается вероятность заражения людей инфекционными болезнями [1].

Такая ситуация ведет к необходимости повышения требований к устойчивости функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях в целях защиты населения и требует разработки мероприятий для оперативного реагирования.

Критические ситуации возникают в результате частичных и/или полных отказов оборудования, сооружений, сетей и их элементов, что требует проведения превентивных аварийно-восстановительных работ для приведения их в работоспособное состояние. Причинами критических ситуаций в работе очистных сооружений коммунального водоотведения могут быть различные нарушения технологических регламентов. По вине персонала могут происходить ошибочные отключения и включения оборудования, неправильная дозировка реагентов, случаи некачественного ремонта оборудования, невыполнения противоаварийных мероприятий, несвоевременное устранение аварийных очагов, допуск необученного персонала, несвоевременное проведение профилактических испытаний и др. Оборудование для очистки сточных вод может иметь дефекты изготовления или монтажа, некачественный материал

или не соответствовать прямому назначению по каким-либо параметрам. При стихийных бедствиях (наводнение, ураган и пр.) происходят нарушения режима работы оборудования, которые невозможно предвидеть при проектировании и строительстве сооружений, а также своевременно предотвратить персоналом предприятия. Аварийный сброс сточных вод может быть связан с отказами на очистных сооружениях, их переполнением, сознательным нелегальным сбросом поступающих сточных вод, следствием отключения энергоснабжения и т. п.

Однако критические ситуации на очистных сооружениях могут возникать и по другим субъективным причинам. Такая ситуация – появление неприятного запаха и сброс недоочищенных сточных вод локальных очистных сооружений коммунального водоотведения – привела к возмущению населения, проживающего вблизи места выпуска сточных вод в р. Темерник [2]. В феврале-начале марта на локальных очистных сооружениях водоотведения микрорайона г. Ростова-на-Дону сложилась нештатная ситуация, при которой активный ил погиб и прекратилась биологическая очистка сточных вод. Визуальный осмотр показал, что в биореакторе идут процессы гниения, о чем свидетельствует черный цвет иловой смеси и характерный неприятный запах обрабатываемой воды.

Для выявления возможных причин возникновения развития технологического отказа, а также устранения его последствий и предотвращения подобных критических ситуаций было проведено предварительное обследование комбинированных очистных сооружений [3].

Главным узлом локальных очистных сооружений является блок биологической очистки с зонами нитри-, денитрификации и реагентным удалением фосфатов. Для механической очистки от грубых отбросов и песка предусмотрена комбинированная установка, состоящая из шнековой решетки и аэрируемой песколовки. Осветленная сточная вода после механической очистки с помощью насосов поступает на блок биологической очистки, состоящий из смесителя, зоны денитрификации, зоны аэрации, вторичных отстойников и регенератора активного ила.

Денитрификатор представляет собой резервуар в форме кольца, оборудованный двумя погружными пропеллерными мешалками. В денитрификаторе происходит окисление органических веществ в аноксидных условиях с целью восстановления азота нитратов и нитритов до газообразного состояния. В качестве органического субстрата для денитрификации используются органические компоненты сточных вод после механической очистки, наличие окисленных форм азота обеспечивается рециклом потока очищенной воды с возвратным активным илом.

Аэробная зона состоит из двух секций в форме полукруга и оборудована пневматической системой

аэрации и блоками контактных носителей биомассы (биофильтрами). Для разделения иловой смеси после биологической очистки предусмотрены четыре вторичных отстойника вертикального типа, квадратной формы в плане. Отстойники встроены в резервуар для аэрации в центральной части сооружения. Для химического удаления фосфатов в биологически очищенную сточную воду подают раствор сульфата алюминия, который при взаимодействии с фосфатами образует мелкую нерастворимую взвесь.

Доочистка сточных вод осуществляется в две ступени. На первой ступени установлены механические самопромывные фильтры, на второй – двухслойные песчано-антрацитовые фильтры. На фильтрах задерживаются взвешенные вещества минерального и органического происхождения, включая нерастворимые соединения фосфора.

Предварительные результаты обследования показали, что на очистные сооружения поступает примерно 17,5 % хозяйственно-бытовых сточных вод от проектной производительности станции. Расход поступающих на очистные сооружения сточных вод колеблется от 1700 м<sup>3</sup>/сут в будние дни до 2200 м<sup>3</sup>/сут – в выходные. При выпадении дождей расходы, поступающие на очистные сооружения, превышают 2000 м<sup>3</sup>/сут и их увеличение достигает 25 %. Анализ поступления сточных вод на очистные сооружения показывает, что имеют место высокая неравномерность притока и перерывы в подаче сточных вод в течение 6–8 часов в сутки.

Анализ качественных характеристик загрязняющих веществ по основным компонентам превышает среднестатистические более чем в два раза. Так, концентрация органических веществ, идентифицируемых как ХПК, изменяется от 600 до 1200 мгО/л, в то время как среднестатистическая величина составляет 450 мгО/л; концентрация азота аммонийного изменяется от 45 до 100 мг/л, среднестатистический диапазон составляет 18–40 мг/л; концентрация фосфатов достигает 26 мг/л, что превышает среднестатистическое значение более чем в четыре раза.

Обследование основных сооружений включало микробиологический контроль и седиментационные характеристики активного ила, а также основные показатели биологических процессов в аэробной, аноксидной зоне и вторичном отстойнике. Для характеристики стабильности системы и определения степени аэробности измеряли окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), концентрацию растворенного кислорода и активную реакцию среды [4]. Результаты обследования сооружений биологической очистки на разных глубинах приведены в таблице.

Анализ результатов исследований показал, что в зоне денитрификации в результате длительного пребывания сточных вод формируются восстановительные условия, показателем которых являются

Характеристика сооружений биологической очистки в критической ситуации

Место отбора	Глубина отбора, м	ОВП, мВ	O <sub>2</sub> , мг/л	pH
Зона аэрации <sup>1</sup>	6,0	40	2,2	7
Зона аэрации 1	3,0	15	2,0	6,9
Биофильтр 2	3,5	40	1,9	6,9
Денитрификатор	6,0	- 240	0,7	7,0
Денитрификатор	3,0	- 230	0,8	6,9
Зона аэрации 2	6,0	- 50	1,38	7,0
Вторичный отстойник	6,0	- 80	1,7	6,0

значения окислительно-восстановительного потенциала -240 мВ, что значительно ниже значения окислительно-восстановительного потенциала в поступающих сточных водах, который составлял -40 мВ. Оптимальное значение ОВП в денитрификаторе должно быть в пределах -100-0 мВ. В результате недогруженности притока сточных вод расчетное время пребывания сточных вод в отдельных модулях не соблюдается. Так, в денитрификаторе активный ил находится практически в бескислородных условиях около 23 ч вместо двух-трех расчетных, в результате чего меняется вся идеология очистки сточных вод. Данный факт негативно сказывается и на процессе нитрификации – при фактическом значении ОВП, равном 40 мВ, он должен быть на уровне 250-350 мВ. Невозможность осуществления эффективного процесса нитрификации подтверждается низкими показателями аэробности, которые приводят к гибели аэробных микроорганизмов активного ила [5, 6]. В аэробной зоне не образуются нитраты, следовательно, в денитрификаторе не происходит доминантного процесса – денитрификации [7]. В результате проведенных исследований выявлены субъективные факторы, которые вызвали критическую ситуацию на очистных сооружениях:

- концентрация основных загрязнений, характерных для хозяйственно-бытовых сточных вод, превышает проектную более чем в два раза по отдельным показателям;
- нарушается суточный график подачи сточных вод;
- имеют место залповые сбросы сточных вод промышленного характера, в том числе и строительного производства;
- малые расходы сточных вод не обеспечивают требуемой рециркуляции потоков.

С целью повышения устойчивости функционирования и экологической безопасности очистных сооружений водоотведения разработаны и апробированы на практике ряд мероприятий для восстановления режимов работы в критических ситуациях. Для оценки системы биологической очистки сточных вод были использованы следующие параметры: окислительно-восстановительный потенциал; концентрация растворенного кислорода; скорость потребления кислорода активным илом, видовой состав

и седиментационные свойства активного ила; качественные показатели очищенной воды.

Для определения экстренных мероприятий по восстановлению работоспособности активного ила были выполнены исследования в полупроизводственных условиях на пилотных моделях с использованием реальной иловой жидкости, находящейся в экстремальных условиях. Исследования возможности восстановления работоспособности аэробного ила реализовывали в двух направлениях: в первом случае определяли продолжительность процесса восстановления при интенсивной аэрации иловой смеси; во втором случае – продолжительность процесса восстановления при введении пероксида водорода. Изменения состояния активного ила в целом оценивали визуально по цвету иловой смеси и запаху, а также микроскопированием активного ила с целью определения жизнеспособности простейших микроорганизмов, так как известно, что именно они являются индикатором для оперативного определения состояния активного ила.

Исследования по восстановлению активности ила при усиленной аэрации показали, что существенные изменения состояния простейших активного ила происходят лишь на седьмые сутки аэрирования иловой смеси. Интенсивность аэрации поддерживали исходя из условия формирования ила во взвешенном состоянии, концентрация растворенного кислорода при этом составляла 4,5-5 мг/л. Улучшились седиментационные свойства активного ила, он стал коричневого цвета, появился характерный землистый запах. Микробиологические исследования показали наличие в активном иле коловраток, которые являются показательными микроорганизмами для эффективной очистки, так как чувствительны к недостатку кислорода и наличию токсинов. Таким образом, при наличии высоких концентраций кислорода (5 мг/л) возможна реанимация активного ила и вывод процессов очистки на проектный режим за семь дней.

Введение небольших доз 3 %-го пероксида водорода, с целью поддержания в системе его концентрации на уровне 2-10-4 моль/л, позволило наблюдать существенные изменения в состоянии активного ила через 36 – 40 ч). На вторые сутки в иловой жидкости были обнаружены коловратки. На третьи

сутки и в последующие 6 дней наблюдали увеличение количества коловраток, резкое сокращение количества нитчатых бактерий. Надиловая жидкость стала прозрачной, ХПК биологически очищенной осветленной пробы составляло 25–30 мг/л, концентрация азота аммонийного снизилась до 0,2 мг/л, что свидетельствовало о развитом процессе нитрификации. Ил приобрел коричневый цвет, землистый запах, седиментационные свойства улучшились. В данном случае формируется окислительная обстановка в системе и микроорганизмы лучше усваивают кислород, следовательно, и процессы окисления загрязняющих веществ идут более интенсивно [8, 9]. Необходимо отметить, что использование пероксида водорода должно носить временный характер и применяться только в аварийных ситуациях, до создания в аэробной зоне окислительных условий и реализации процессов нитрификации.

При критических ситуациях в сооружениях биологической очистки и отмирании активного ила неизбежно происходит выделение соединений серы: сероводорода и сульфидов, сульфитов, тиосульфатов, меркаптанов. Личный опыт авторов позволяет утверждать целесообразность применения пероксида водорода для удаления из сточных вод восстановленных соединений серы в сточной воде до ее поступления в аэротенк [10].

В результате проведенных исследований для устойчивой эксплуатации локальных сооружений биологической очистки сточных вод, как в стационарных, так и критических ситуациях, разработан ряд мероприятий: оптимальный режим подачи воздуха, виды и дозы биопрепаратов, технология использования пероксида водорода. Для повышения эффективности и снижения энергоёмкости биологической очистки сточных вод рекомендовано применение светодиодов в аэробной части сооружений.

Также необходимо учитывать, что критическое время прекращения подачи воздуха в аэробную зону не должно превышать 2,5 ч, так как большее время простоя может привести к гибели активного ила и прекращению процесса очистки сточных вод. В случае отключения энергоснабжения воздухоподводящей станции и перерыва подачи воздуха в аэробную зону на более длительный срок необходимо брать пробы в резервуаре активного ила на содержание растворенного кислорода каждый час и определять жизнеспособность микроорганизмов. Сохраненный активный ил и затем выпадающий активный ил в отстойнике следует непрерывно перекачивать в аэробную зону. При этом необходимо вести непрерывное наблюдение за исчезновением аммонийного азота и появлением нитратов, а также за содержанием растворенного кислорода.

**Выводы.** 1. Эксперимент показал, что при введении в иловую смесь небольших доз 3 %-го пероксида водорода с концентрацией на уровне  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л существенно изменяется физиологическое состоя-

ние активного ила в течение двух суток. Такой прием может быть использован для выхода из критических ситуаций на очистных сооружениях биологической очистки сточных вод.

2. Для устойчивого функционирования сооружений биологической очистки в аэробных условиях необходимо, чтобы критическое время прекращения подачи воздуха в аэробную зону не превышало 2,5 ч. Разработаны мероприятия, предотвращающие гибель активного ила при большем времени отключения аэрационного оборудования.

3. Учет предлагаемых мероприятий позволит стабилизировать работу локальных очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях и приведет к устойчивости их функционирования путем оперативного реагирования для защиты населения и природных водоемов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комаров А.В., Кашарный В.В. Проблемы водопользования и чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-vodopolzovaniya-i-chrezvychaynye-situatsii-prirodnogo-i-tehnogennogo-haraktera](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vodopolzovaniya-i-chrezvychaynye-situatsii-prirodnogo-i-tehnogennogo-haraktera) (дата обращения: 02.11.2017).

2. Эксперт: без очистки ливневых вод чистить Темерник бесполезно // URL: [donnews.ru/Ekspert-bez-ochistki-livnevyyh-vod-chistit-Temernik-bespolezno\\_1837](http://donnews.ru/Ekspert-bez-ochistki-livnevyyh-vod-chistit-Temernik-bespolezno_1837).

3. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А., Смоляниченко А.С. Анализ результатов обследования комбинированных сооружений для очистки городских сточных вод // Технологии очистки воды «ТЕХ-НОВОД-2017»: материалы X юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т, (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 209–213.

4. Кичигин В.И., Скороходов С.Н. К вопросу о применимости величины  $\zeta$ -потенциала воды в качестве характеристики степени её загрязненности // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 28–34. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.6.

5. Харьковина О.В., Харьковин С.В. Очистка сточных вод от азота и фосфора: оценка корректности предлагаемых технико-коммерческих предложений на строительство (реконструкцию) очистных сооружений // Справочник эколога. 2015. № 10. С. 81–96.

6. Петренко С.Е., Серпокрылов Н.С., Борисова В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений [Электронный ресурс] // Инженерный Вестник Дона. 2013. №2. Режим доступа: URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602) (дата обращения: 05.01.2018).

7. Долженко Л.А. Разработка и анализ технологических схем для очистки сточных вод малых городов // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2017. №5 (12). С. 52–62.

8. Дровозова Т.И., Паненко Н.Н., Кулакова Е.С. Повышение санитарно-экологической безопасности сточных вод // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 04 (58). Ч. 4. С. 39–42. DOI: 10.23670/IRJ.2017.58.048.

9. Sreeram K.J. etc. Use of hydrogen peroxide for tannery waste water treatment // J. Sci. And Ind. Res. 1998. № 2. P. 64–69.

10. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3.

Об авторах:

**ВИЛЬСОН Елена Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**VILSON Elena V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SERPOKRYLOV Nikolay S.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ДОЛЖЕНКО Лидия Алексеевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**DOLZHENKO Lidiya A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

Для цитирования: Вильсон Е.В., Серпокрьлов Н.С., Долженко Л.А. Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.

For citation: Vilson E.V., Serpokrylov N.S., Dolzhenko L.A. Sustainable operation of the sewage works in critical situations // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.