

Таблица

Динамика строительства наружных сетей водоснабжения Фрунзенского района Минска за 2019–2022 гг. (в процентном выражении за год)

Материал труб	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
полиэтилен (ПЭ)	75	44	89	77
сталь	1	5	1	7
чугун	20	5	1	4
футляр ПЭ	3	30	7	8
футляр сталь	1	16	2	4

Как показывает анализ табл., в настоящее время при строительстве сетей водоснабжения в Фрунзенском районе преобладают полиэтиленовые трубы, доля которых в различные годы составляет до 89 % от всех проложенных сетей водоснабжения.

При реновации участков сетей водоснабжения Минска предпочтение отдают также футлярам из полиэтиленовых трубопроводов.

### Литература

1. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 30.09.2011 № 161 «Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь» (в ред. от 01.04.2017).

2. СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

3. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячеделиформированные. Технические требования.

4. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 6482-2011 Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия.

5. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия.

УДК 628.3

### Эффективность применения ультрафильтрации при очистке городских сточных вод

Иванов С. А., Аврутин О. А.

Группа компаний «Полимерконструкция»

Витебск, Республика Беларусь

*Использование биореакторов с мембранным илоразделением позволяет оптимизировать стоимость жизненного цикла очистных сооружений и*

достичь стабильного качества очистки сточных вод при сбросе в водоемы рыбохозяйственного назначения. Для корректного решения таких задач требуется учесть ряд специфических факторов, обусловленных высокой дозой ила в биореакторе. Статья содержит теоретические и практические результаты работы объектов, реализованных УП «Полимерконструкция».

В европейском регионе существуют различные требования к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Наиболее жесткие требования предъявляются к качеству очистки в Российской Федерации, а также в Республике Беларусь при сбросе сточных вод в малые водотоки. В последнем случае, с учетом отсутствия разбавляющей способности водоема-приемника сточных вод, к качеству очистки сточных вод предъявляются требования на уровне «рыбхоз».

Эти требования характеризуются следующими показателями качества очищенных сточных вод [1] (табл. 1).

Наиболее крупными очистными сооружениями в Республике Беларусь, к которым были предъявлены такие требования, являются очистные сооружения китайско-белорусского промышленного парка «Великий камень» (производительность 12 000 м<sup>3</sup>/сут) и очистные сооружения Белорусской национальной биотехнологической корпорации (производительность 7 000 м<sup>3</sup>/сут).

Таблица 1

Требования к качеству очистки сточных вод при сбросе в водоемы  
рыбохозяйственного назначения

Показатель	Значение показателя
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,1
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	0,4
Азот нитратов, мг/дм <sup>3</sup>	9
Азот нитритов, мг/дм <sup>3</sup>	0,02
Фосфор фосфатов, мг/дм <sup>3</sup>	0,2
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Ф+0,27/0,75

Самой распространенной технологической схемой работы очистных сооружений для обеспечения, приведенных в таблице 1 требований качества очищенных сточных вод, является строительство классического биореактора с доочисткой сточных вод.

В соответствии с [2] для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод применяют сооружения для удаления взвешенных веществ и соединений фосфора (сетчатые барабанные сетки, сита, микрофильтры,

фильтры и осветлители различных конструкций, устройства для мембранного разделения, сооружения для насыщения сточных вод кислородом, грунтовые фильтрационные площадки и другие сооружения), сооружения глубокого окисления органических соединений и соединений азота (биофильтры и биореакторы различных конструкций, биологические пруды, установки обработки окислителями).

Таким образом, в технологических схемах очистки сточных вод могут использоваться:

- аэрируемые биопруды, требующие значительного размера земельных участков;

- биореактор с активным илом второй ступени, в эксплуатации которого могут возникать проблемы, обусловленные низкой нагрузкой на активный ил;

- биореактор второй ступени с закрепленной биомассой, усложняющий технологическую схему, увеличивающий количество эксплуатируемых сооружений и занимающий дополнительную площадь;

- сооружения физико-химической очистки с последующим фильтрованием на фильтрах с зернистой загрузкой.

Кроме обозначенные вопросов, связанных с усложнением технологических схем очистки есть и ряд трудно решаемых для стабильной эксплуатации вопросов.

Например, очистка сточных вод по показателю «аммоний ион» до величины 0,5 мг/л требует значительного возраста ила низкой нагрузки по органическим загрязнениям на него. А достижение необходимой степени очистки по показателю «нитрит ион» до величины 0,08 мг/л зачастую приводит к еще большему расчетному показателю возраста ила.

В свою очередь низкая нагрузка на активный является одной из самых распространенных причин возникновения вспухания ила и пенообразования. При этих процессах наблюдается повышение илового индекса до величины, превышающей 200 мл/г, что обуславливает повышенный вынос активного ила. С одной стороны, сооружения доочистки, включающие в свой состав фильтровальные установки, обеспечивают соблюдение ПДК по показателю «взвешенные вещества», с другой стороны, наихудшие последствия в выносе активного ила заключаются в снижении рабочей дозы активного ила, так как скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов достаточно низка и восстановление «вымытых» нитрификаторов происходит достаточно долго.

Еще одним важным аспектом является проблема увеличения размера земельного участка для расширения сооружений очистки сточных вод для биопрудов и сооружений доочистки при их реконструкции.

В работе [3] нами были описаны преимущества применения ультрафильтр-трационных мембран для систем биологической очистки сточных воды с активным илом. Отмечено, что данное решение позволяет обеспечить целый ряд технологических процессов:

- илоразделение;
- доочистка от взвешенных и органических веществ;
- обеззараживание сточных вод.

При этом оборудование процесса илоразделения позволяет одновременно исключить влияние нитчатого вспухания активного ила, характерного для низконагруженных очистных сооружений, на процесс очистки. Благодаря данному решению можно существенно увеличить рабочую дозу активного ила в биореакторе (до 8–10 г/л), увеличить аэробный возраст активного ила (до 12–30 суток) и, таким образом, уменьшить объемы резервуаров очистных сооружений и площадь требуемых земельных участков.

По-прежнему при реализации проектов по очистке сточных вод от малых населенных пунктов актуальной остается проблема качества исходных данных. Как показала практика, точечный анализ (разовый, или в течение короткого периода времени) расхода сточных вод и их состава совсем не означает их постоянства в течение года. Отдельные объекты имеют неравномерность суточного поступления сточных вод в различные периоды года более 2–2,5 раз. В таком же диапазоне могут колебаться и концентрации основных загрязнений: ХПК, азот, фосфор.

В этой ситуации крайне важно иметь возможность в ходе эксплуатации изменять рабочую дозу активного ила в широчайшем диапазоне. В классических биореакторах рабочая доза активного ила составляет 2–5 г/л [2]. В том случае, если был выполнен некорректный сбор и анализ исходных данных при проектировании очистных сооружений или в процессе эксплуатации изменилась концентрация загрязнений в поступающих сточных водах возможности такого биореактора крайне ограничены.

Внедрение в технологический процесс мембранного илоразделения позволяет повысить в несколько раз рабочую дозу активного ила и, соответственно, окислительную мощность биореактора.

Следует отметить, что дискуссионным остается вопрос увеличения окислительной мощности биореактора при увеличении рабочей дозы активного ила. Ряд специалистов полагает, что увеличение дозы активного ила прямо пропорционально влияет на окислительную мощность аэробного биореактора. В первую очередь это относится к методикам, основанным на расчете сооружений на основе возраста активного ила [4; 5]. Вместе с тем, методики расчета, основанные на уравнениях ферментативной кинетики [6] и эмпирические методики, основанные на изучении процессов очистки

сточных вод непосредственно в биореакторах [7] указывают на непропорциональность увеличения окислительной мощности. Так, например, расчет, выполненный по [6] для конкретно объекта показывает следующую зависимость периода окисления от дозы активного ила (рис.).

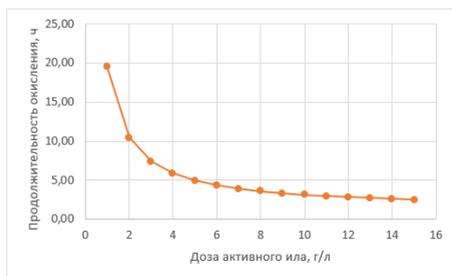


Рис. Зависимость периода окисления от дозы активного ила

К сожалению, существующая нормативная база Российской Федерации по проектированию очистных сооружений вообще не содержит методик расчета очистных сооружений. С одной стороны, это позволяет проектировщику иметь возможность для маневра в работе. При этом квалификация такого проектировщика должна быть очень высокой, желательно, основанной на эксплуатационной деятельности. С другой стороны, к сожалению, многие проектировщики по-прежнему методики расчета используют как некий набор формул, не понимая даже взаимосвязи между технологическими процессами. Нормативная база Республики Беларусь также не содержит методик расчета сооружений до требований очистки «рыбхоз», так как изложенная в [2] методика основана на [8] и не предполагает такой глубины биологической очистки сточных вод.

Безусловно, для обеспечения эффективной работы биореакторов с мембранным илоразделением необходимо обеспечить достаточное количество кислорода (воздуха) в аэробную зону. Методика [6] и последующие методики на ее основе с учетом адаптации для учета процессов нитри-денитрификации не учитывают в расчете дозу ила. Вместе с тем наш опыт проектирования и пуско-наладочных работ свидетельствует, что повышение рабочей дозы ила требует увеличения количества воздуха, подаваемого в аэробную зону. Подтверждением этому являются результаты исследований [9]. Аналогичные результаты были получены еще во ВНИИ ВОДГЕО [10], но не получили своего распространения, так как аппаратная часть очистных сооружений не позволяла эффективно эксплуатировать очистные сооружения с активным илом при его высокой дозе.

С учетом практического опыта реализации проектов малых очистных сооружений с мембранным илоразделением можно выделить следующие важные технические аспекты проектирования таких объектов:

- обязательное применение усреднителей;
- расчетная доза активного ила 6–9 г/л;
- эффективное использование подаваемого в биореактор воздуха за счет высокой плотности раскладки аэрационных элементов с учетом высокой дозы активного ила;
- насосное отведение фильтрата;
- частотно-регулируемая подача воздуха в биоблок и в систему аэрации мембранного блока;
- опциональная автоматизация.

Такое сочетание решений позволяет оптимизировать затраты электрической энергии на очистку сточных вод и повысить энергоэффективность очистных сооружений.

В качестве примера, приведем один из объектов в Ленинградской области (Российская Федерация).

Производительность расчетная 20 м<sup>3</sup>/сут.

Фактический расход сточных вод 80–2 м<sup>3</sup>/сут.

Температура сточных вод 7–21 °С.

Таблица 2

Концентрации основных загрязнений

Показатель	Единицы измерения	Проектное значение	По СП	Фактические (разовые) значения
БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	180	180	160–400
ХПК	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	480	360	420–880
Азот общий	мг/л	43	39	55–170
Азот аммонийный	мг/л	38	31,5	44–140
Фосфор общий	мг/л	6,4	7,5	6,4–17
Фосфор фосфатов	мг/л	4	4,5	4–15
Взвешенные вещества	мг/л	105	195	105–390

Технологическая схема очистки основана на процессе А2О с возможностью изменения в схему УСТ.

Для илоразделения применены плоские безрамные ультрафильтрационные мембраны нового поколения. Технологические этапы цикла работы мембранного блока следующие:

1. Фильтрация.
2. Релаксация 1.
3. Обратная промывка.
4. Релаксация 2.

Продолжительность этих этапов определяется в ходе пуска наладочных работ.

При этом рабочая величина трансмембранного давления фактически находилась в диапазоне 100–250 мбар (1–2,5 м).

Диапазон рабочих доз активного ила составил 6–12 г/л.

Следует отметить, что сточные воды хорошо очищались как в зимнее, так и в летнее время. В зимнее время, это обеспечивалось за счет некоторого снижения расхода поступающих сточных вод, и, соответственно, увеличения периода очистки, а также благодаря конструктивным особенностям контейнерного решения вода в биореакторе имела температуру не ниже 12 °С.

Для обеспечения нормативного качества осуществлялось дополнительно дозирование реагента полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат-18 (30). Важно отметить, что возможность и целесообразность использования биологического или биолого-химического удаления фосфора в технологиях очистки с мембранным илоразделением должны быть подтверждены расчетами исходя из качественных показателей, поступающих на биологическую очистку сточных вод.

В ходе работы обеспечено достижение всех показателей качества очистки сточных вод.

Таблица 3

Качество очищенных сточных вод

	Взв. в-ва	ХПК	БПК <sub>5</sub>	Азот аммонийный	Нитраты (по азоту)	Нитриты (по азоту)	Фосфор общий	Фосфор фосфатов
Сброс сточных вод	<3	16,8	2,0	0,37	6,28	0,002	0,2	< 0,2

Таким образом, можно отметить, что применение ультрафильтрационных мембран для илоразделения в биореакторах с активным илом является инновационным решением, позволяющим существенно оптимизировать процессы очистки и стоимость жизненного цикла очистных сооружений.

Корректный расчет (с учетом аспектов высокой дозы активного ила в биореакторе), проектирование и строительство в условиях жестких норм по

качеству очищенных сточных вод как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации систем биологической очистки с мембранным илоразделением позволяют обеспечить:

1. Стабильное достижение показателей «рыбхоз».
2. Компактность решения: отказ от строительства вторичных отстойников и сооружений доочистки, уменьшение объема биореакторов.
3. Возможность реконструкции очистных сооружений с увеличением производительности без изменения существующих строительных объемов сооружений.
4. Оптимизация объемов строительно-монтажных работы: возможность применения контейнерного решения, отсутствие каких-либо строительных конструкций.
5. Управляемость технологическими процессами в широком диапазоне входных параметров.
6. Энергоэффективность процесса очистки.
7. Оптимальную себестоимость очистки сточных вод.

Применение в проектах отечественных мембранных модулей позволит наработать необходимую опытную базу знаний, разработать методики расчета и повысить конкурентоспособность продукции.

### Литература

1. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420389120>. – Дата доступа: 06.04.2023.
2. Канализация. Наружные сети сооружения. Строительные нормы проектирования // Канализация. Знадворныя сеткі і збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: СН 4.01.02-2019. – Введ. 09.07.2020. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 80 с.
3. Аврутин, О. А. Мембранные технологии и оборудование для очистки сточных вод / О. А. Аврутин, С. А. Иванов, И. В. Войтов // Нефтехимия 2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск 22–23 ноября 2021 г. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2021. – С. 188–190.
4. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце [и др]. – М.: Мир, 2006. – 471 с.

5. Данилович, Д. А. Расчет и технологическое проектирование сооружений биологической очистки городских сточных вод в аэротенках с удалением азота и фосфора / Д. А. Данилович, А. Н. Эпов. – М.: Мир, 2020. – 225 с.

6. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.03-85. – Введ. 01.01.1986. – Москва: ФГУП ЦПП, 2006. – 87 с.

7. Мишуков, Б. Г. Мембранные биологические реакторы для глубокой очистки сточных вод: учебное пособие / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 64 с.

8. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen: DWA-A 131. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. – Hennef, 2016. – 68 s.

9. Henkel, J. Oxygen Transfer Phenomena in Activated Sludge: dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) / J. Henkel. – Darmstadt, 2010. – 179 s.

УДК 628.11(16)

### **Водоносные слои и подземная вода как факторы внутрислоевой обработки в скважинах**

Рашкевич Е. И.

Витебское областное коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал»  
Витебск, Республика Беларусь

*В статье дана характеристика водоносных слоев и состава подземных вод как основных факторов внутрислоевой обработки в скважинах. Рассмотрены отличия этих факторов в зависимости от типа подземных слоев и изменения состава подземных вод.*

В России и странах Западной Европы довольно широко применяется метод внутрислоевой обработки подземных вод для удаления железа непосредственно в водоносных слоях скважин (in-situ) [1; 2]. Технологическая и экономическая эффективность данного метода оценивается исходя из минералого-литографического состава водоносных слоев и химического состава подземных вод. Эти факторы могут отличаться от географического района их расположения.

Гидрогеологические четвертичные подземных пород сплошным чехлом перекрывают всю территорию республики [3; 4], мощностью от нескольких до 300–325 м, средняя величина около 80 м.