

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ДОЗЫ АКТИВНОГО ИЛА

**Введение.** Биохимическое окисление органических загрязнений, присутствующих в сточных водах, протекает под воздействием ферментов, вырабатываемых различными микроорганизмами. Потребность в энзимах, а следовательно, и видовое разнообразие бактериальной микрофлоры определяется составом субстрата и его количеством. В сточных водах, представляющих собой многокомпонентную питательную среду, окисление органики осуществляется сообществом микроорганизмов, называемым активным илом. Его состав, количество и физиологическое состояние, зависящее от различных факторов окружающей среды, оказывает существенное влияние на скорость биохимического окисления.

Процесс биологической очистки можно интенсифицировать по следующим трем направлениям: увеличение дозы активного ила в зоне аэрации; улучшение условий окисления загрязнений за счет создания оптимальной гидродинамической структуры потока в аэротенке; повышение активности микроорганизмов.

Основные пути практической реализации этих направлений представлены на схеме 1.

Анализ основных отечественных и зарубежных тенденций раз-

вития очистки сточных вод показал, что наиболее реальным, технически осуществимым и перспективным направлением интенсификации биологической очистки сточных вод является повышение дозы активного ила в зоне аэрации [1].

Интенсификация работы биохимических реакторов путем повышения дозы активного ила в зоне аэрации может быть осуществлена поддержанием соответствующего кислородного режима и эффективной работы илоразделительных сооружений. В тех случаях, когда аэрационные системы обычных аэротенков не справляются с обеспечением аэробного процесса требуемым количеством растворенного кислорода, биологическую очистку сточных вод возможно осуществлять в окситенках.

Эффективное илоразделение высококонцентрированных смесей сточных жидкостей с активной микрофлорой обеспечивается следующими способами: использование различных фильтровальных устройств, устанавливаемых в аэротенке, с последующей подачей низкоконцентрированной иловой смеси на обычные вторичные отстойники; применение флотационного илоразделения; отделение ила в поле центробежных сил; отстаивание ила в тонком слое.

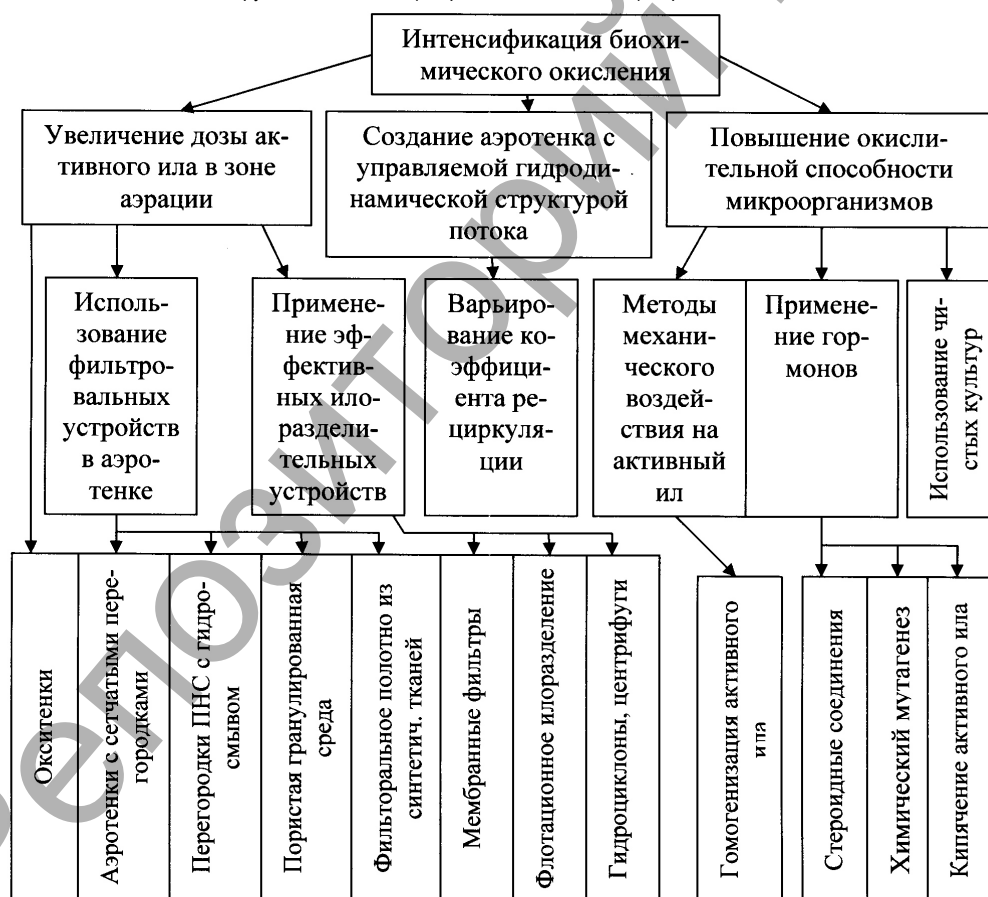


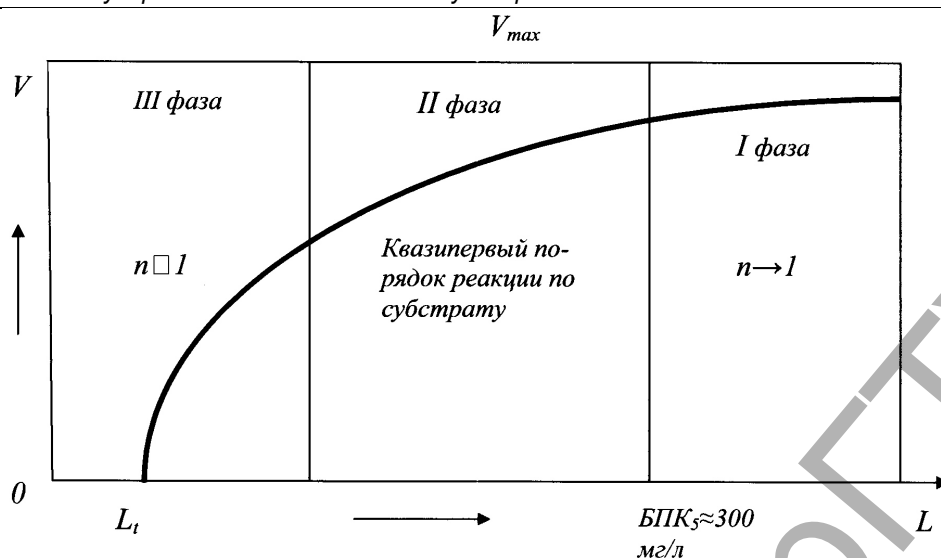
Схема 1

**Волкова Галина Александровна**, к.т.н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Андreyuk Светлана Васильевна**, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Дмухайло Евгений Иванович**, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



$V$  – скорость окисления органических загрязнений;  $L$  – текущая концентрация субстрата (по БПК);  $L_t$  – остаточное содержание органики в очищенной воде

**Рис. 1.** Кривая зависимости скорости окисления органических загрязнений от текущей концентрации субстрата при постоянной дозе активного ила

**Теоретическое обоснование повышения дозы активного ила в зоне аэрации.** Для того, чтобы обеспечить оптимальные условия протекания биохимического окисления в аэрационном сооружении и умело управлять этим процессом при изменяющихся условиях, необходимо знать роль кинетических параметров на отдельных этапах ферментативного окисления загрязнений [2].

Скорость процесса биологической очистки принято выражать в виде уравнений кинетики, которые составляются по формализованной схеме. В связи с тем, что механизм изъятия и утилизации органических веществ активным илом очень сложен и до сих пор недостаточно ясен, существующие математические модели разрабатываются на основе результатов экспериментальных и производственных исследований.

Для описания скорости процесса, которая определяет продолжительность очистки, используются многие параметры. К ним относятся концентрация поступающих загрязнений, необходимая степень очистки, химическая природа загрязнений, доза активного ила и его возврат.

Основным параметром, определяющим закономерности процесса аэробного окисления, является количество органики в очищенной воде [3]. Экспериментально установлено, что на начальных этапах очистки, когда концентрация загрязнений ( $L$ ) значительна, скорость окислительного процесса ( $V$ ) не лимитируется по субстрату, а определяется количеством биомассы. В аэрационной емкости происходит насыщение микроорганизмов широко представленными компонентами субстрата-загрязнителя и скорость изъятия загрязнений становится максимальной. В этом случае процесс биохимического окисления, соответствующий реакции 0-го порядка по обобщенному субстрату, описывается уравнением вида:

$$\ln \left[ 1 + \frac{a \cdot L_r}{X} \right] = k_r \cdot t,$$

где  $a$  – коэффициент перехода от БПК к весу активного ила;

$X$  – начальная доза активного ила;

$k_r$  – константа роста активного ила;

$L_r$  – БПК сточных вод, снятая за время  $t$ .

Анализ этого уравнения показывает, что увеличение дозы активного ила, адаптированного к субстрату, присутствующему в сточных водах, позволит сократить продолжительность очистки на данном этапе.

По мере изъятия загрязнений, когда БПК<sub>5</sub> очищаемой жидкости составляет 300 мг/л и менее, скорость окисления определяют два фактора  $L$  и  $X$ . Это соответствует реакции 1-го порядка по активному илу и субстрату, т.е. можно записать дифференциальное уравнение:

$$\frac{dL}{dt} = -k_r \cdot X \cdot L,$$

где  $k_r$  – константа изъятия БПК.

Интегрируя данное выражение от  $L_0$  до  $L_t$  относительно переменной  $T$ , получим:

$$T = \frac{L_0 - L_t}{k_r \cdot L_t \cdot X}.$$

Наблюдается обратно пропорциональная зависимость продолжительности аэрации от количества активной микрофлоры.

На протяжении всего процесса аэробной очистки сточных вод доза активного ила влияет на скорость биохимического окисления, являясь определяющим фактором на начальных этапах очистки (рис. 1).

Обратная зависимость, связывающая параметры  $T$  и  $X$ , указывает на то, что увеличение концентрации активной биомассы приводит к снижению требуемого времени очистки сточных вод в зоне аэрации. Следовательно, процесс биохимической очистки можно интенсифицировать путем увеличения дозы активного ила.

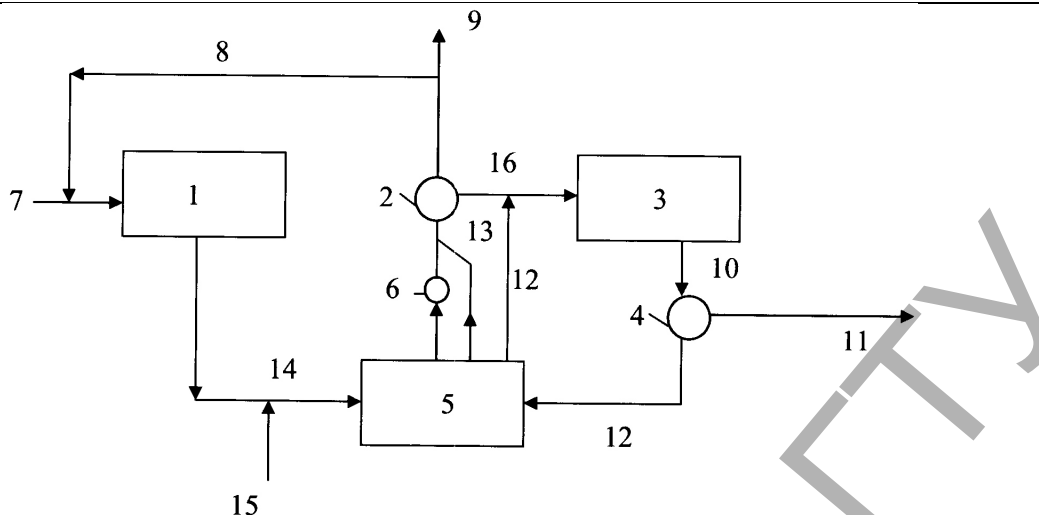
**Практическая реализация интенсификации биологической очистки сточных вод с использованием фильтровальных устройств.** Необходимость уменьшения диктующего влияния процесса илоразделения на работу аэрационных сооружений привело к созданию оригинальной конструкции биохимического реактора – фильтротенка.

В технологической схеме работы этого биоокислителя реализуется идея поддержания высокой дозы активной биомассы (до 25 г/л по беззольному веществу) в зоне аэрации при сохранении концентрации иловой смеси, отводимой в зону отстаивания, не более 3–4 г/л.

Характерной конструктивной особенностью фильтротенков является наличие сетчатых фильтровальных насадок с размерами ячеек 40–180 мкм, соизмеримыми с диаметром хлопков активного ила. Через определенные промежутки времени проводится регенерация фильтровальных насадок путем обратной продувки сжатым воздухом, подаваемым с интенсивностью 40–60 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч и под давлением  $P=0,04$  МПа.

**Интенсификация процесса биохимической очистки сточных вод в окситенках.** Одним из основных факторов, который влияет на скорость окисления органических примесей, содержащихся в сточных водах, является наличие растворенного кислорода в зоне аэрации.

Экспериментально установлено, что в результате повышения дозы активного ила общая скорость потребления кислорода



1 – аэротенк-смеситель 1-й ступени; 2 – флотационный илоотделитель; 3 – аэротенк-вытеснитель 2-й ступени; 4 – вторичный отстойник; 5 – насосная станция; 6 – напорный резервуар; 7 – подача сточных вод после сооружений механической очистки; 8 – возвратный активный ил 1-й ступени; 9 – избыточный активный ил; 10 – иловая смесь после 2-й ступени; 11 – очищенная сточная вода; 12 – возвратный ил 2-й ступени; 13 – избыточный активный ил 2-й ступени; 14 – иловая смесь после 1-й ступени биологической очистки; 15 – подача воздуха; 16 – подача сточных вод на вторую ступень биологической очистки

Рис. 2. Технологическая схема двухступенчатой биологической очистки сточных вод с флотационным илоотделением на первой ступени

микроорганизмами увеличивается. Во избежание лимитирования процесса биологической очистки по кислороду необходимо поддерживать адекватную концентрацию растворенного кислорода в биоокислителе. Если при эксплуатации аэротенков с повышенными дозами активного ила обычные аэрационные системы не справляются с этой задачей, то процесс биоокисления целесообразно осуществлять в окситенках. Экономически выгодно осуществлять строительство этих сооружений в следующих случаях: при очистке высококонцентрированных сточных вод, если на предприятии, использующем окситенки, имеется технический кислород, получаемый в основном производстве; при получении кислорода на установках разделения воздуха, входящих в состав крупных станций биологической очистки сточных вод.

**Применение высокоэффективных илоотделителей после аэротенков, работающих с повышенными дозами активного ила.** Жесткая взаимосвязь между работой илоразделительных сооружений и поддерживаемой дозой активной биомассы в аэротенках поставила перед специалистами проблему создания и внедрения высокоэффективных илоотделителей. Эффективность работы таких сооружений определяется минимальным периодом илоразделения при обеспечении требуемого качества очищенной жидкости и необходимой степени уплотнения активного ила.

В РБ и за рубежом, наряду с традиционными вторичными отстойниками, в качестве высокоэффективных илоразделительных устройств применяются высокопроизводительные сепарационные устройства: гидроциклоны, центрифуги и флотаторы различных конструкций.

Метод напорной флотации, применяемый для быстрого отделения и уплотнения ила, заключается в использовании подъемной силы пузырьков воздуха, выделяющихся из жидкости при резком снижении давления.

На рисунке 2 представлена технологическая схема двухступенчатой очистки [4], которая предполагает использование на первой ступени аэротенка-смесителя, работающего с повышенными дозами активного ила, с последующим разделением иловой смеси на напорном флотаторе.

Совершенствование технологических схем очистки сточных вод возможно также за счет использования гидроциклонов и центрифуг в качестве илоотделительных сооружений и илоуплотнителей.

Активный ил, подаваемый на гидроциклоны и выходящий из сливного и шламового патрубка, характеризуется следующими показателями (табл. 1).

Таблица 1

Параметры, %	Активный ил, поступающий после вторичных отстойников	Активный ил, выходящий из	
		шламового патрубка гидроциклона	сливного патрубка гидроциклона
Зольность	26–31	32–46	25–25,9
Влажность	98,9–99,3	96,1–97,5	98,95–99,35

Анализ экспериментальных данных показывает, что осветленный активный ил, выходящий через сливной патрубок, имеет пониженную зольность (25–25,9%) и хорошую активность микроорганизмов. Этот ил может быть рециркуляционным и под остаточным напором подаваться для работы в аэротенки. Уплотненный шламовый ил, отличающийся высокой зольностью, отводится на дальнейшую обработку.

Следовательно, в схеме очистных сооружений напорные гидроциклоны могут применяться вместо гравитационных уплотнителей. При этом гидроциклон используется не только для ускорения процесса уплотнения ила, но и для повышения его биологической активности за счет отделения «старых», отмирающих микроорганизмов от молодого активного ила.

**Заключение.** Увеличение дозы активного ила в зоне аэрации, способствующее резкому подъему окислительной мощности аэрационных сооружений, является одним из перспективных и реальных способов интенсификации процесса биохимического окисления. Вместе с тем, трудности, возникающие при илоразделении высококонцентрированных смесей после аэротенков, с повышенными дозами активного ила, требуют оптимизации их совместной работы, а также разработки и внедрения сепарационных устройств и методов илоразделения, обеспечивающих требуемое качество очищенного стока и необходимую степень уплотнения биомассы.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Калицун, В.И. Современные методы интенсификации работы аэротенков на очистных сооружениях больших городов: обзорная информация / В.И. Калицун, В.Н. Николаев, В.Д. Журавлев, М.Г. Картавцева – М.: МГЦНТИ, 1985. – Выпуск 6. – 23 с.
- Жуков, Д.Д. Математическая модель биологической очистки сточных вод в аэротенках на основе кинетики последовательных реакций: сб. научн. трудов МИСИ им. В.В. Куйбышева / Д.Д. Жуков, В.Л. Рязанов // Водоснабжение и канализация. – М., 1984. – С. 155–166.

3. Вавилин, В.А. Обобщенная модель аэробной биологической очистки // Водные ресурсы. – 1982. – № 4. – С. 136–138.
4. Янченко, К.С. Исследование процесса биологической очистки сточных вод с флотационным илоотделением: автореф. дисс. канд. техн. наук. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1982.
5. Воронов, Ю.В. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Ю.В. Воронов [и др.]; под ред. СВ. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990.
6. Хенце, М. Очистка сточных вод; пер. с англ. / М. Хенце [и др.] – М.: Мир, 2004.

Материал поступил в редакцию 22.02.15

**VOLKOVA G.A., ANDREYUK S.V., DMUHAYLO E.I. Intensification of biological purification of city sewage by increase of a dose of active silt**

The article describes the direction of intensification of biological wastewater treatment: increasing the dose of activated sludge in the aeration zone; the improvement of the conditions of oxidation of contaminants; increased activity of microorganisms.

УДК 628.162

**Белоглазова О.П.**

## ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ В СТРАНАХ ЕВРОСОЮЗА

**Введение.** Современное развитие общества предполагает непрерывное повышение требований к качеству жизни людей, поиск новых и совершенствование существующих форм и методов деятельности, позволяющих выполнить данное требование. Важное место принадлежит коммунальным услугам, предназначенным удовлетворять повседневные потребности людей.

Темпы развития науки, разработка и внедрение новых технологий, ужесточение экологических законодательств, необходимость оптимизации затрат на очистку сточных вод, повышение энергоэффективности – это малая часть тех задач, с которыми в ежедневной практической деятельности сталкиваются специалисты, действующие в этой сфере.

На фоне общей политики Евросоюза в отношении водных ресурсов наблюдается повышение требований национальных стандартов охраны вод. Создание и эксплуатация водоочистных сооружений требуют значительных финансовых ресурсов, в связи с чем возникает необходимость эффективного проектирования, эксплуатации и контроля очистных сооружений. Все эти вопросы могут быть решены с использованием квалифицированных кадров, которые кроме обу-

чения в учреждениях образования нуждаются в непрерывном профессиональном (практическом) обучении.

Рассмотрим на примере Польши и Германии развитие концепции непрерывного обучения для подготовки специалистов в области очистки сточных вод.

Постоянный рост числа задач, стоящих перед организациями, занятыми эксплуатацией водоочистных сооружений (далее – операторами), в таких областях, как технологии, право, экономика, развитие потребовал поиска путей для их решения.

Реакцией профессионального сообщества на потребности в обмене информацией, взаимопомощи, мотивации и побуждении к действию в сфере, требующей глубоких знаний и высокой степени вовлеченности явилось создание в 1998 г. Объединения, в состав которого в настоящее время входят:

- 179 постоянных членов (представителей более 100 очистных сооружений),
- 33 ассоциированных члена (отраслевые предприятия),
- около 800 членов в качестве наблюдателей.

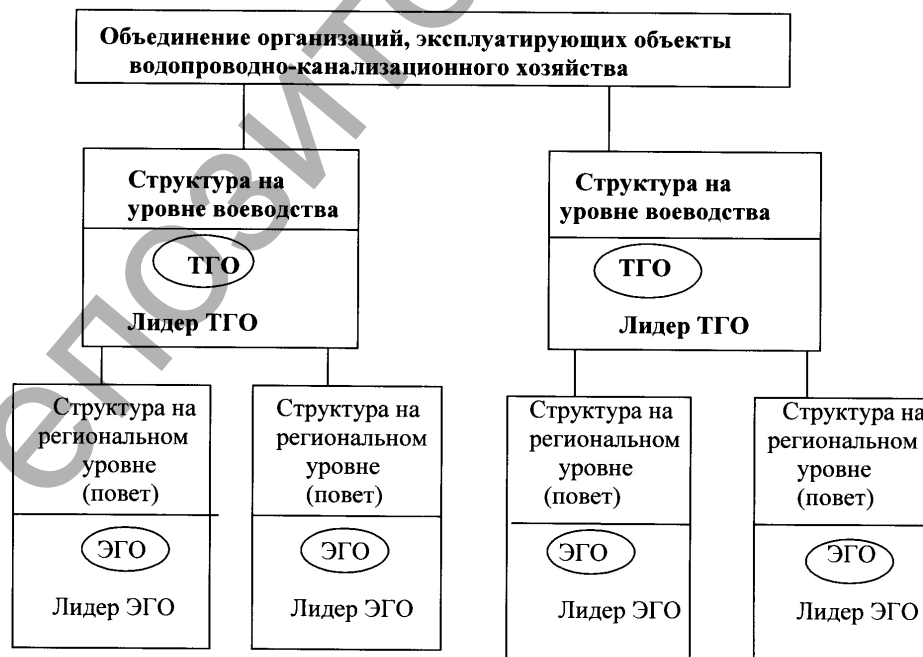


Рис. 1. Общепольская структура

**Белоглазова Ольга Петровна**, доцент кафедры экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.