

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД С ЭРЛИФТНЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ-ОСВЕТЛИТЕЛЯМИ

**В.И. Нездойминов, д.т.н., профессор; В.С. Рожков, к.т.н., доцент;
Д.В. Заворотный, ассистент**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Представлена концепция биологической очистки городских сточных вод, основанная на применении биологических реакторов с затопленной эрлифтной системой аэрации. Концепция учитывает возможность применения при различной производительности и любой категории станции очистки сточных вод, для каждой категории водоёма для сброса очищенных стоков. Основными элементами технологии биологической очистки стоков являются: удаление фосфора посредством РАО, удаление форм азота и осветление иловой смеси в эрлифтных биореакторах-осветлителях, доочистку сточных вод на фильтрующей загрузке и минерализацию осадка в минерализаторах с затопленной эрлифтной системой аэрации. Предложенная технология обеспечивает качество очистки на уровне наилучших доступных технологий по ИТС 10-2015 и выше.

Ключевые слова: биологическая очистка, сточные воды, эрлифтный биореактор, затопленный эрлифт, аэротенк-осветлитель, минерализация осадка, очистные сооружения, НДТ

Введение. От современных решений в области очистки городских сточных вод требуется соответствие ряду показателей: энергетической эффективности, качеству очистки и т. д. [1, 2]. В большинстве государств постсоветского пространства преимущественная часть городских канализационных очистных сооружений разработана в 70–80-х годах прошлого века [3].

Зачастую такие станции не способны осуществлять качественную очистку сточных вод. Наиболее сложным элементом обработки сточных вод для большинства станций является очистка по биогенным элементам, в особенности удаление соединений фосфора [4]. Ввиду того, что сектор коммунального хозяйства является слабо финансируемым, наряду с вопросами качества очистки, остро стоят вопросы экономической эффективности сооружений очистки городских сточных вод.

На основании вышеизложенного, задачи научных исследований в области очистки городских сточных вод следует формулировать с соблюдением следующих условий:

– разрабатываемые технологии должны соответствовать либо превышать показатели наилучших доступных технологий (НДТ) по части качества очистки и энергетической эффективности;

– предлагаемые технологии должны допускать возможность апробации и внедрения для очистных сооружений, обладающих различной производительностью и использующих различные водные объекты в качестве сброса;



*Нездойминов
Виктор Иванович*



*Рожков
Виталий Сергеевич*



*Заворотный
Дмитрий Викторович*

— технологии должны позволять производить их внедрение в рамках действующих станций очистки с минимизацией капитальных затрат на их реконструкцию.

Анализ последних исследований и публикаций. В последние годы многие научные исследования указывают на высокую эффективность сооружений биологической очистки, обладающих затопленной эрлифтной системой аэрации. Затопленный эрлифт отличается от традиционного воздушного подъёмника тем, что его верхний срез располагается ниже уровня поверхности жидкости. Перекачиваемая затопленным эрлифтом жидкость не выбрасывается выше уровня свободной поверхности, а вовлекается в замкнутую циркуляцию [5]. В англоязычной литературе такие сооружения именуются эрлифтными биореакторами с внутренней циркуляцией (inter-palloorairliftbioreactors) [6,7]. Исследованы закономерности, описывающие гидродинамические особенности эрлифтных биологических реакторов [8, 9]. В биореакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации обеспечивается интенсивное движение иловой смеси по замкнутому контуру и попеременное нахождение активного ила в зонах с различной концентрацией растворённого кислорода. Посредством использования затопленной эрлифтной системы аэрации можно существенно сократить количество электроэнергии, затрачиваемой на насыщение иловой смеси кислородом воздуха [5, 10].



Рис. 1. Аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации на рыбной фабрике, пгт. Пантелеймоновка

Для удаления фосфора применяются фосфор-аккумулирующие организмы (РАО – phosphorus accumulating organisms), которые культивируются в анаэробных условиях с рециркуляцией из последующей аэробной зоны [4, 11, 12].

В ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» был разработан новый тип компактного эрлифтного биореактора с внутренней циркуляцией, в котором процесс биохимической обработки сточной жидкости совмещён с процессом осветления иловой воды (аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации). Осветление осуществляется посредством фильтрования иловой смеси через постоянно обновляющийся взвешенный слой ила [13, 14].

Основной материал. На кафедре «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» ГОУ ВПО ДонНАСА разработана концепция биологической очистки сточных вод с использованием эрлифтных биореакторов (БОСЭБ). Она предусматривает конкретный набор сооружений для различной производительности, для каждой категории станции очистки городских сточных вод и категории водоёма, в который осуществляется сброс очищенных стоков. Концепция БОСЭБ включает в себя следующие технологические положения:

1. Переработка органических веществ и соединений азота осуществляется в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации (эрлифтный биореактор-осветлитель) (рис. 1). Высокая энергетическая эффективность и качество очистки достигается за счёт удаления азота через нитрит. Согласно апробированным и внедрённым решениям снижение затрат на электроэнергию для аэрации и перекачивания жидкости за счёт нитри-денитрификации через нитрит в технологии БОСЭБ составляет 18–25 %, в зависимости от производительности очистной станции.

2. Удаление соединений азота производится комбинированным биологическим и химическим способом. Конструктивно данный метод реализуется посредством устройства анаэробного реактора с перемешиванием перед эрлифтным биореактором-осветлителем по ходу движения очищаемой сточной жидкости. В реактор подается активный ил из аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации. Здесь в анаэробных условиях осуществляется культивирование фосфор-аккумулирующих организмов.

3. Илоразделение осуществляется в самообновляющемся взвешенном слое ила аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации. Конструктивные особенности данного элемента концепции [13] позволяют совмещать зоны протекания биохимических реакций и зоны

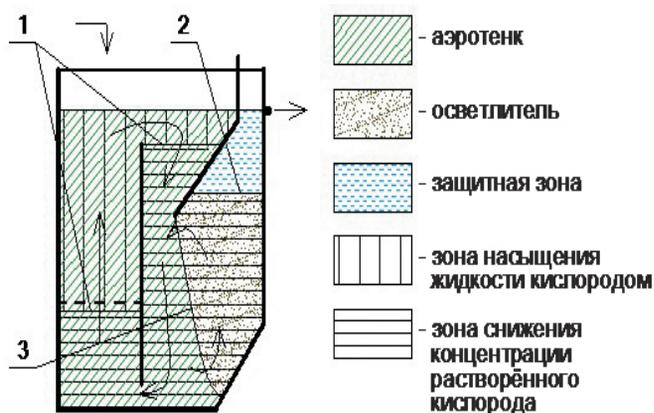


Рис. 2. Условные зоны аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации
 1 – условные границы между зоной насыщения иловой смеси кислородом воздуха и зоной снижения концентрации растворённого кислорода;
 2 – поверхность илоразделения; 3 – условная граница между осветлителем и аэротенком

илоразделения (рис. 2). Работа взвешенного слоя тесно зависит от обусловленной затопленным эрлифтом циркуляции. От интенсивности циркуляции жидкости в эрлифтном биореакторе-осветлителе зависят расход иловой смеси, возвращаемой из осветлителя в аэротенк, и, следовательно, время пребывания ила в илоотделителе [14]. Чем больше расход очищаемой жидкости, тем большая производительность затопленного эрлифта требуется для поддержания времени пребывания в необходимых пределах. Наряду с гидравлической нагрузкой от пропуска очищаемой жидкости интенсивность циркуляции влияет на скорость восходящего потока во взвешенном слое осветлителя. Зависимость максимальной допустимой интенсивности циркуляции от гидравлической нагрузки определена на экспериментальной модели, представленной на рисунке 3 [13]. На рис. 4 представлены графики зависимости интенсивности циркуляции иловой смеси от гидравлической нагрузки на зеркало защитной зоны при различном времени пребывания ила в осветлителе, а также график, выражающий максимальную гидравлическую нагрузку, не допускающую размыва взвешенного слоя. Предлагаемая технология илоразделения отличается высокой гидравлической нагрузкой (в 2–5 раза выше, чем в существующих осветлителях с взвешенным слоем ила) и минимальными энергетическими затратами.

4. Осветление иловой смеси в эрлифтном реакторе-осветлителе не обеспечивает необходимого качества очистки по взвешенным веществам и, соответственно, по БПК при сбросе более 200 м³/сут очищенных сточных вод в водные объекты I категории, а также более 20 тыс. м³/сут – в водные объекты II категории. В таких условиях концепция БОСЭБ



Рис. 3. Экспериментальная модель аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации

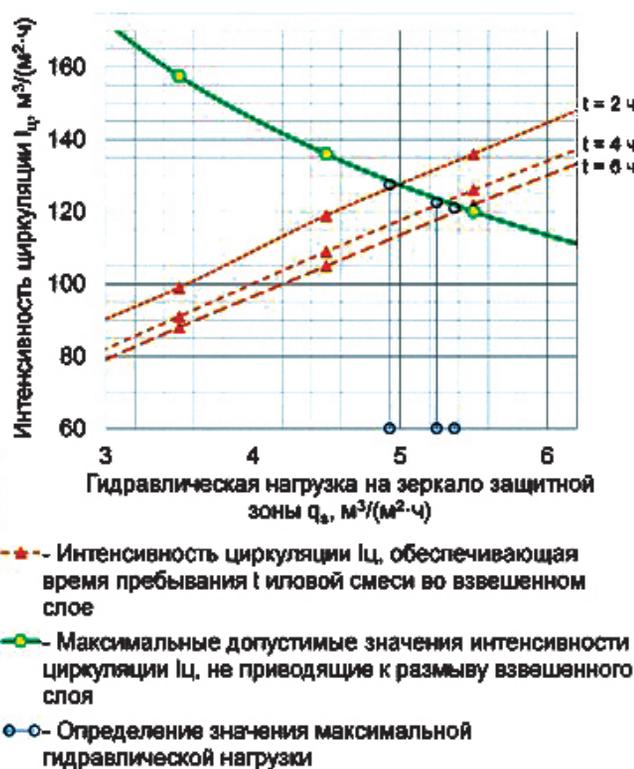
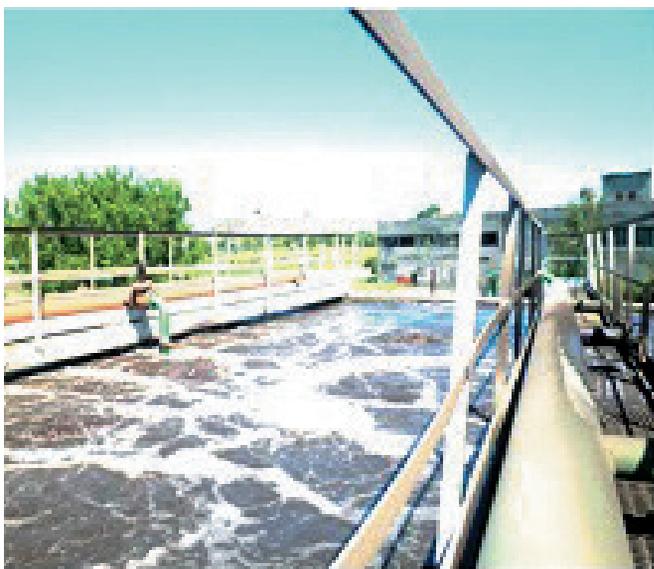


Рис. 4. Определение максимальной гидравлической нагрузки в эрлифтном биореакторе-осветлителе при концентрации иловой смеси 3–5 г/л и иловом индексе 90–100 мл/г при различном времени пребывания ила в осветлителе

предусматривает устройство доочистки биологически очищенной жидкости на фильтрующей загрузке из дроблёного антрацита.

5. В качестве технологии обработки осадка концепция предлагает технологию аэробной минерализации в сооружениях с затопленной эрлифтной системой аэрации. Надильная вода при этом проходит обработку реагентом для удаления соединений фосфора с последующим отстаиванием и (в зависимости от применяемого реагента) фильтрованием на зернистых фильтрах. Предложенная технология минерализации была внедрена на Макеевской станции очистки городских сточных вод (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Аэробный минерализатор с затопленной эрлифтной системой аэрации на канализационной очистной станции, г. Макеевка

Возможность конструктивного исполнения технологии БОСЭБ посредством реконструкции существующих сооружений проработана для очистных сооружений г. Макеевки, г. Донецка, внедрена на канализационной очистной станции пгт Новый Свет Старобешевского района. Проекты реконструкции канализационных очистных сооружений характеризуются использованием 60–70 % емкостных мощностей действующих станций. Вывод остальных сооружений в резерв или на консервацию отвечает требованиям производства работ на действующем предприятии.

ВЫВОДЫ

Представленная концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами обеспечивает очистку городских сточных вод перед сбросом в водоёмы любой категории с качеством на уровне НДТ по ИТС 10-2015 и выше. Внедрение технологии БОСЭБ возможно осуществлять посредством реконструкции действующих сооружений, без остановки предприятия. Реализация БОСЭБ на действующих станциях характеризуется минимальными капитальными затратами на реконструкцию сооружений при последующем снижении эксплуатационных затрат.

Список литературы:

1. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов: ИТС 10-2015 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативной технической документации – 01.07.2016. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200128670/>
2. Березин С.Е. Обоснование выбора технологического оборудования по очистке сточных вод / С.Е. Березин, В.И. Баженов, А.В. Черненко // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2014. – № 2 – С. 48–58.
3. Серпокрылов Н.С. К вопросу о статусе справочника по НТД в разделе «Очистка городских сточных вод» / Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон // Строительство и архитектура 2015. – 2015. – С. 55–58.
4. Юрченко В.А. Влияние редокс-потенциала среды на миграцию фосфора в иловой смеси / В.А. Юрченко, А.В. Смирнов, А.Ю. Бахарева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6. – С. 78–84.
5. Нездойминов В.И. Расчетные зависимости аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации / В.И. Нездойминов [Электронный ресурс] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры – 2014. – № 5 (109). – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnaba_2014_5_14
6. Al-Mashhadani M.K.H. Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport

- processes [Электронный ресурс] / М.К.Н. Al-Mashhadani, S.J. Wilkinson, W.B. Zimmerman // *Chemical Engineering Science* – 2015. – Vol. 137. – Pp. 243–253. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250915004406>
7. Campani G. Oxygen transfer in a pressurized airlift bioreactor [Электронный ресурс] / G. Campani, M.P.A. Ribeiro, A.C.L. Horta, R.C. Giordano, A.C. Badino, T.C. Zangirolami // *Bioprocess and Biosystems Engineering* – 2015. – Vol. 38, Issue 8, Pp. 1559–1567. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-015-1397-4>
 8. Нездойминов В.И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков // *Коммунальное хозяйство городов*. – 2010. – № 93. – С. 353–358.
 9. Ghasemi H. Investigation of hydrodynamics and transition regime in an internal loop airlift reactor using CFD [Электронный ресурс] / H. Ghasemi, S. H. Hosseini // *Brazilian Journal of Chemical Engineering* – 2012. – Vol. 29, № 04. – Pp. 821–833. Режим доступа: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v29n4/v29n4a13>
 10. De Jesus S.S. Hydrodynamics and mass transfer in bubble column, conventional airlift, stirred airlift and stirred tank bioreactors, using viscous fluid: A comparative study [Электронный ресурс] / S.S. de Jesus, J.M. Neto, R.M. Filho // *Biochemical Engineering Journal* – 2017. – Vol. 118, 15.02., Pp. 70–81. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.11.019>
 11. Zeng W. Influence of nitrite accumulation on “*Candidatus Accumulibacter*” population structure and enhanced biological phosphorus removal from municipal wastewater [Электронный ресурс] / Wei Zeng, Boxiao Li, Xiangdong Wang and etc. // *Chemosphere* – 2016. – Vol. 144, Pp 1018–1025. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.064>
 12. Cooperation between *Candidatus Competibacter* and *Candidatus Accumulibacter* clade I, in denitrification and phosphate removal processes [Электронный ресурс] / F. J. Rubio-Rincon, C. M. Lopez-Vazquez, L. Wellesaand etc. // *Water Research* – 2017. – Vol. 120, Pp. 156–164. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.001>
 13. Заворотный Д.В. Экспериментальное определение параметров моделирования аэротенков-осветлителей с затопленной эрлифтной системой аэрации / Д.В. Заворотный // *Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»*. – 2018. – № 10 (53). – С. 104–109.
 14. Nezdoiminov V. Permissible parameters for the circulation rate of the sludge mixture in airlift reactor-clarifier with suspended layer [Электронный ресурс] / V. Nezdoiminov, D. Zavorotnyi, V. Rozhkov, P. Deminov // *MATEC Web of Conferences* – 2018. – Vol. 245. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824511009>

«ФЛП ПАЧЕВ К.П.»

ВЫПОЛНЯЕТ УСЛУГИ:

- ПО ПРОЧИСТКЕ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ,
- РЕШАЕТ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ, А ИМЕННО: ЛИКВИДАЦИЯ ЗАСОРОВ, ПРОЧИСТКА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ БЫТОВЫХ, ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИРОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, А ТАКЖЕ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА РЕГУЛЯРНОЙ ОСНОВЕ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДОЛЖНОГО ВНИМАНИЯ К СИСТЕМЕ ЛИВНЕВЫХ, БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ.



Адрес:	83076, г. Донецк, ул. Проходчиков, 9
Телефон:	Пачев Константин Павлович, Св-во гос. регистрации ДНР: AA01 №27196 (062) 338-73-47, (050) 348-23-90, (071) 375-01-03 Константин Павлович (050) 939-15-80, (071) 311-71-25 Александр Павлович
Email:	aqua-tech@mail.ru