



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2022, ТОМ 18, НОМЕР 4, 145–155

EDN: WDDMPM

УДК 628.3

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В СИСТЕМАХ С ЭРЛИФТНЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ

В. С. Рожков

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: v.s.rozhkov@donnasa.ru

Получена 01 ноября 2022; принята 25 ноября 2022.

Аннотация. В статье приведены описание и результаты опытно-промышленных исследований биологической очистки сточных вод от биогенных элементов и органических веществ в схемах с эрлифтными биореакторами. Выполнено обоснование основных параметров работы таких систем путем оценки сходимости экспериментальных данных с теоретическими расчетными показателями качества биологической очистки, полученными с помощью модели активного ила ASM+Bio-P. Приведены характерные биохимические профили схем очистки с применением эрлифтных биореакторов, созданные на базе Йоханнесбургского и Кейптаунского процессов улучшенного биологического удаления фосфора. Установлено, что в аэротенках-осветлителях с затопленной эрлифтной системой аэрации отсутствует выделение фосфора при вторичном илоразделении, при этом эффективность илоразделения во взвешенном слое находится на уровне аналогичных сооружений гравитационного отстаивания. Подтверждено участие зоны осветления в биологической очистке и протекание улучшенного биологического удаления фосфора на уровне БНДФ, что соответствует требованиям Наилучших Доступных Технологий при более низких, чем у известных технологий, эксплуатационных затратах за счет меньшего объема рециркуляции и расхода воздуха.

Ключевые слова: биологическая очистка, эрлифтный биореактор, улучшенное биологическое удаление фосфора.

ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У СИСТЕМАХ З ЕРЛІФТНИМИ БІОРЕАКТОРАМИ

В. С. Рожков

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: v.s.rozhkov@donnasa.ru

Отримана 01 листопада 2022; прийнята 25 листопада 2022.

Анотація. У статті наведено опис та результати дослідно-промислових випробувань біологічного очищення стічних вод від біогенних елементів та органічних речовин у схемах з ерліфтними біореакторами. Обґрунтовано основні параметри роботи таких систем шляхом оцінки збіжності експериментальних даних з теоретичними розрахунковими показниками якості біологічного очищення, отриманими за допомогою моделі активного мулу ASM+Bio-P. Наведено характерні біохімічні профілі схем очищення із застосуванням ерліфтних біореакторів, створених на базі Йоганнесбурзького та Кейптаунського процесів покращеного біологічного видалення фосфору. Встановлено, що в аеротенках-освітлювачах із затопленою ерліфтною системою аерації відсутнє виділення фосфору при вторинному ілорозділенні, при цьому ефективність ілорозділення у завислому шарі знаходиться на рівні аналогічних споруд гравітаційного відстоювання. Підтверджено участь зони освітлення у біологічному очищенні та протікання



покращеного біологічного видалення фосфору на рівні БНДБФ, що відповідає вимогам Найкращих Доступних Технологій за умови більш низьких, ніж у відомих технологій, експлуатаційних витрат за рахунок меншого об'єму рециркуляції та витрати повітря.

Ключові слова: біологічне очищення, ерліфтний біореактор, покращене біологічне видалення фосфору, біохімічний профіль.

PILOT-SCALE STUDIES OF WASTEWATER TREATMENT IN SYSTEMS WITH AIRLIFT BIOREACTORS

Vitaliy Rozhkov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: v.s.rozhkov@donnasa.ru

Received 01 November 2022; accepted 25 November 2022.

Abstract. The article presents a description and results of pilot-scale studies of biological wastewater treatment from biogenic elements and organic substances in schemes with airlift bioreactors. The substantiation of the main parameters of the operation of such systems was carried out by evaluating the convergence of experimental data with theoretical estimate indicators of the quality of biological treatment obtained using the ASM + Bio-P activated sludge model. Characteristic biochemical profiles of treatment schemes using airlift bioreactors, created on the basis of the Johannesburg and Cape Town processes for improved biological removal of phosphorus, are presented. It has been established that in aerotanks-clarifiers with a flooded airlift aeration system, there is no release of phosphorus during secondary sludge separation, while the efficiency of sludge separation in a fluid bed is at the level of similar gravity sedimentation facilities. Confirmed participation of the clarification zone in biological treatment and the conduction of improved biological phosphorus removal at the level of biological nitrification-denitrification with biological removal of phosphorus, which corresponds to the requirements of the Best Available Technologies at lower operating costs than known technologies due to less recirculation and air consumption.

Keywords: biological treatment, airlift bioreactor, improved biological phosphorus removal.

Формулировка проблемы

Сброс сточных вод различной степени очистки оказывает значительное воздействие на водные экосистемы [1–3], что выражается в снижении биосферных функций водоемов, принимающих сточные воды антропогенного характера. Причиной этого явления является эвтрофикация водных источников за счет интенсивного развития анаэробных микроорганизмов и водорослей, обусловленного, в свою очередь, сбросом очищенных сточных вод, содержащих соединения азота и фосфора (биогенных элементов).

Для сокращения данного воздействия в части очистки сточных вод в настоящее время разработаны различные схемы и сооружения биологической очистки городских стоков [4], наи-

более эффективные из которых представлены двумя группами методов: БНДБФ (биологическая нитри-денитрификация с биологическим удалением соединений фосфора) и БНДБХФ (биологическая нитри-денитрификация с комбинированным химико-биологическим удалением фосфора).

Такие системы представлены сооружениями (биореакторами различного типа и вторичными отстойниками), объединенными в целостную систему посредством перетоков и рециклов. Основой большинства наиболее распространенных схем БНДБФ и БНДБХФ в мире в настоящее время являются процессы Phoredox [5], модифицированный вариант процесса Кейптаунского университета МУСТ [6], Йоханнесбургский

процесс JNB [7]. Данный перечень схем не является исчерпывающим. Существует еще ряд технических решений, которые либо базируются на приведенных выше, либо достаточно специфические по качеству исходного стока и аппаратурному оформлению. К ним можно отнести PhoStrip [8], Renphosystem [9], VIP [10], ISAH [11], SBR и др. Часть из этих методов можно отнести к комбинированным – совместному биолого-химическому удалению фосфора.

Приведенные основные схемы биологического удаления азота и фосфора достаточно сложны в исполнении, что обуславливает дороговизну их реализации в отечественной практике очистки городских сточных вод. Кроме того, достаточно часто в случае реализации данных схем наблюдается расхождение фактического качества очистки с проектными расчетными величинами [4], [12–15]. Причиной подобных явлений являются не только колебания качества исходных сточных вод, но и несовершенство системы вторичного отстаивания – анаэробные условия вторичного отстаивания приводят к выделению фосфора в очищаемый сток [16].

Такого недостатка лишены системы, основанные на предложенных в ГОУ ВПО «ДонНАСА» аэротенках-осветлителях с затопленной эрлифтной системой аэрации [17], которые являются основным элементом концепции биологической очистки с эрлифтными биореакторами (БОСЭБ) [18,19]. Концепция БОСЭБ подразумевает, в том числе, использование освещения во взвешенном слое для вторичного илоразделения, что исключает нахождение активного ила в анаэробных условиях на конечных стадиях биологической очистки и исключает выделение фосфора в очищаемый сток.

Кроме того, системы биологической очистки БОСЭБ не предусматривают перекачивания иловой смеси для организации нитрифициро-

ванного рецикла – в аэротенке с затопленной эрлифтной системой аэрации протекают процессы симульганной нитри-денитрификации, что снижает затраты на перекачивание жидкости. Сравнение основных технологических показателей предложенной схемы JNB-ЭБ (Йоханнесбургский процесс, модифицированный эрлифтным биореактором) с основными используемыми в мировой и отечественной практике процессами приведено в табл. 1. Указанные данные получены на основании теоретического моделирования систем с эрлифтным биореактором.

В табл. 1 использованы следующие обозначения:

ИКПО – интегральный показатель качества очистки;

$T_{оч}$ – время пребывания жидкости на станции очистки;

$I_{ок}$ – удельный расход воздуха на окисление органического вещества 1 метра кубического поступающих сточных вод, m^3/m^3 ;

$S_{рец}$ – кратность превышения рециркуляционных потоков над расходом исходного стока;

$Z_{пер}$ – количество условных зон перемешивания.

По относительным показателям процесс БОСЭБ превосходит все использующиеся в настоящее время технологические схемы. Подвергнутые теоретическому моделированию процессы улучшенного биологического удаления фосфора МУСТ-ЭБ и JNB-ЭБ схематично показаны на рис. 1. Моделирование выполнено с использованием подхода ASM3+Bio-P в программной среде CellDesigner.

Цель работы

Опытно-промышленное обоснование схем улучшенного биологического удаления фосфора с применением эрлифтных биореакторов.

Таблица 1. Укрупненная характеристика схем биологической очистки сточных вод

Технологическая схема	ИКПО	$T_{оч}$, ч	$I_{ок}$, m^3/m^3	$S_{рец}$	$Z_{пер}$
Процесс Phoredox	14–20	18...28	26...55	2...6	2,5
Процессы УСТ и МУСТ	8–10	16...25	22...42	1,5...7	2
Йоханнесбургский процесс JNB	9–12	17...26	22...42	1,5...7	3
Процесс JNB-ЭБ	7–10	18...24	15...20	0,6...1	2

Методы исследования

Опытно-промышленные испытания проводились на полупромышленной установке биологической очистки сточных вод на КНС №52 г. Донецка.

Установка работала в проточном режиме на реальном стоке, отбираемом погружными насосами из приемного резервуара канализационной насосной станции. Устройство переключений между биореакторами позволяло работать системе БОСЭБ как по модифицированному Кейптаунскому процессу, так и по Йоханнесбургской схеме.

Для определения параметров работы опытно-промышленной установки анализировалось содержание загрязняющих веществ в поступаю-

щей сточной жидкости, потоках между сооружениями, на выходе из сооружений. Анализировались фильтрованные и взболтанные пробы.

Расходы потоков определялись объемным методом. Химические анализы выполнялись в лаборатории ТЕРЗ ГОУ ВПО «ДонНАСА» и на месте с использованием кислородомера АЖА-101.1М, рН-метра-милливольтметра рН-121. Протекание тех или иных биохимических процессов, состав и характеристики активного ила определялись тестами активности, седиментации, микроскопией [20].

Технологическая реализация пилотной установки приведена на рис. 2.

Подача воды осуществляется с помощью погружного канализационного насоса (1) на высоту

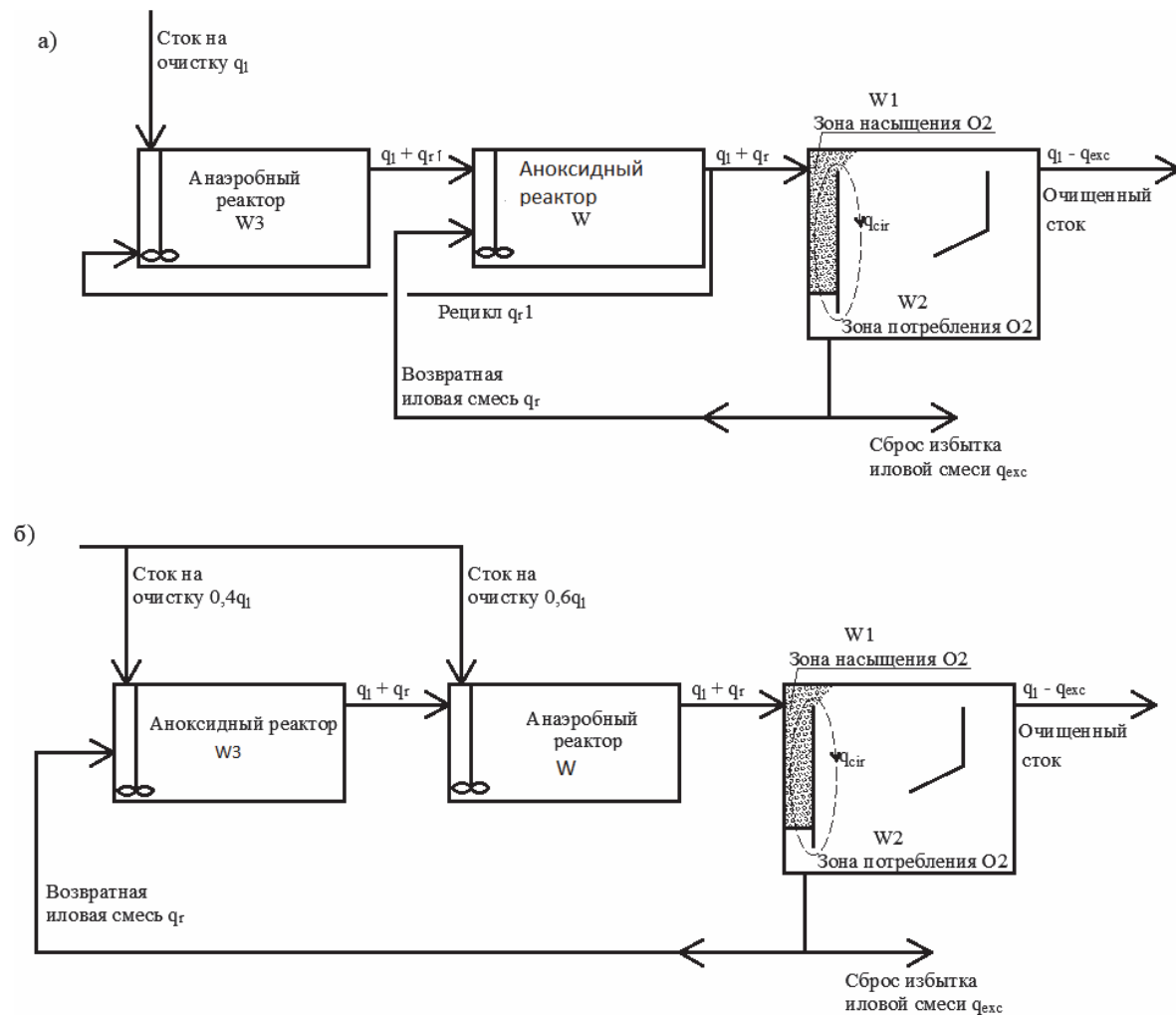


Рисунок 1. Схемы биологической очистки от соединений азота и фосфора в рамках концепции БОСЭБ: а) на базе схемы МУСТ; б) на базе схемы JNB.

порядка 8 м в наземную часть помещения решеток, где располагался основной блок сооружений. Усреднитель объемом 300 л (3) находился постоянно в наполненном состоянии за счет протока по линиям (2) и (18). Это позволило обеспечить бесперебойность подачи стока на очистку и исключало застаивание стока в усреднителе. Сам насос (1) работал с периодическим включением/выключением ввиду колебаний уровня воды в приемном резервуаре.

Сточные воды из бака постоянного уровня (6) по трубопроводам (8) поступают в емкости для анаэробно/аноксидной очистки (9,10). Емкости оснащены устройствами перемешивания (19). Трубопровод (8) оснащен запорно-регулирующими вентилями для перераспределения потока между реакторами (9) и (10).

Далее иловая смесь поступает на аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации (11) (рис. 3), состоящий из двух

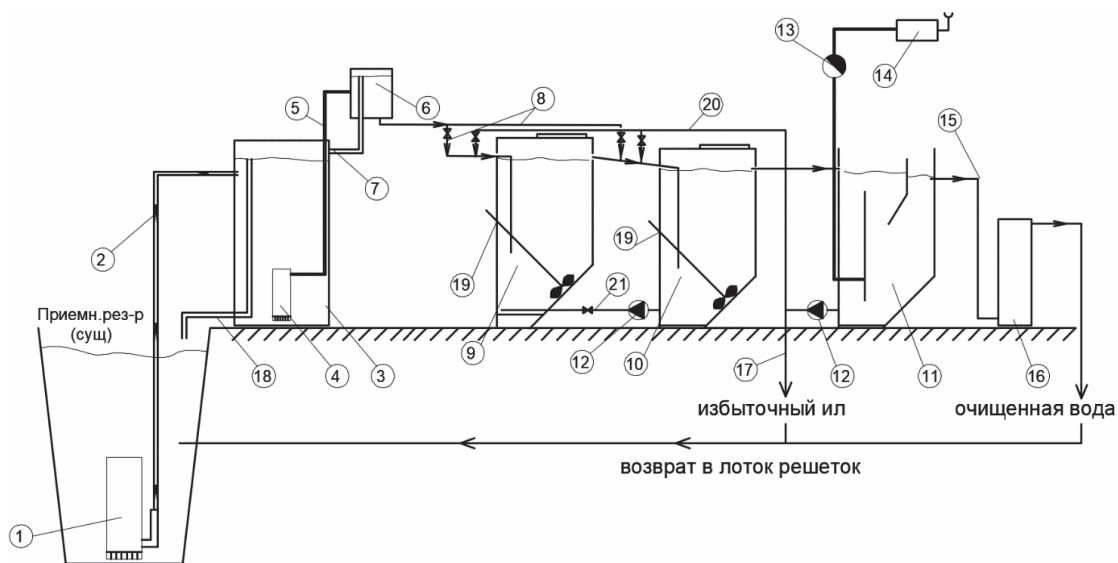


Рисунок 2. Технологическая схема опытно-промышленной установки.



Рисунок 3. Общий вид аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации.

зеркальных секций. Осветленная жидкость по двум трубопроводам (15) поступает в резервуар 16, который может работать как промежуточный бак либо третичный отстойник.

Воздух в систему подается с помощью объемного компрессора (14) через турбинный расходомер (13). Для сброса избыточного активного ила и рециркуляции возвратного устроены 2 насоса (12) – по одному на каждую секцию и один насос дополнительно для устройства денитрифицированного рецикла. Линия (17) избыточного активного ила оснащена запорным устройством, как и линия возвратного ила.

Сооружения (9), (10), (11) размещены «по воде» – уровень жидкости в каждом следующем сооружении меньше, чем в предыдущем, на (9)–(10) перепад составляет 2,5 см, (10)–(11) – 35 см. Линия рециркуляции (20), отвода избыточного ила (17), денитрифицированного рецикла (21) представлены гибкими силиконовыми трубками, оснащенными лабораторными зажимами. Остальные трубопроводы выполнены из полипропиленовых труб с устройством шаровых вентилях. Система канализации выполнена из раструбных полипропиленовых труб диаметром 32...50 мм.

Подача в аэраторы сжатого воздуха осуществляется через силиконовые трубки диаметром 10 мм.

Основные параметры опытно-промышленной установки приведены в табл. 2.

Запланировано ступенчатое варьирование одного параметра – расхода воздуха, подаваемого в систему аэрации. Возвратный и денитрифицированный рецикл не варьировались.

Соотношение расходов исходного стока между аноксидным и анаэробным реактором, характерное только для схемы JNB-ЭБ принято 1:1 для упрощения технологического регулирования системы.

Опытно-промышленные исследования проводились на протяжении приблизительно трех месяцев, не включая подготовительного периода и пуско-наладки (приблизительно полтора месяца). При этом около 1 месяца система работала по модели MUCN-ЭБ, затем 1 месяц по схеме JNB-ЭБ в режиме адаптации, затем 1 мес. по схеме JNB-ЭБ в режиме контроля параметров.

Результаты и обсуждение

Концентрации кислорода в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации, в сопоставление с концентрацией активного ила a_p , приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что повышение расхода воздуха, подаваемого в аэротенк-осветлитель с затопленной эрлифтной системой аэрации, на 10 % (от 0,69 до 0,75 м³/час) приводит к значительному изменению кислородного режима сооружения, которое необходимо оценивать совместно с анализом концентраций основных загрязняющих веществ. При этом схема JNB-ЭБ

Таблица 2. Параметры опытно-промышленной установки

Параметр	Обознач.	Ед. изм.	Значение	
			МУСТ-ЭБ	JNB-ЭБ
Расход поступающих сточных вод	q1	м ³ /сут	0,95	0,95
Внутренний циркуляционный расход	qcir	м ³ /сут	144	144
Возвратный рецикл	qr	м ³ /сут	0,55	0,55
Денитрифицированный рецикл	qr1	м ³ /сут	3	–
Расход избыточного ила	qexc	м ³ /сут	0,01	0,01
Расход подаваемого воздуха	Qair	м ³ /час	0,69...0,75	0,69...0,75
Коэффициент использования кислорода	kisp		0,048	0,048
Объем анаэробного реактора	W3	м ³	0,047	0,047
Объем аноксидного реактора	W	м ³	0,047	0,047
Объем зоны насыщения кислородом	W1	м ³	0,0225	0,0225
Объем зоны потребления кислорода	W2	м ³	0,875	0,875
Соотношение расходов в подаваемом стоке между аноксидным/анаэробным реактором	c		–	1:1

Таблица 3. Концентрации кислорода в аэротенке-осветлителе

Схема работы	Подача воздуха Q_{air} , $m^3/час$	a_i , г/л	Зона насыщения кислородом, $г/дм^3$	Верх зоны потребления кислорода, $г/дм^3$	Низ зоны потребления кислорода, $г/дм^3$
МУСТ-ЭБ	0,69	3 270	1,8...2,4	1,4...1,8	0,0...0,2
	0,75	3 270	3,2...3,8	2,2...2,8	1,4...2,0
JNB-ЭБ	0,69	3 070	1,6...2,2	0,8...1,4	0,0...0,2
	0,75	3 200	2,4...2,8	1,8...2,2	0,8...1,2

характеризуется меньшими концентрациями кислорода в сооружении, что указывает на более эффективное его использование.

Для оценки результатов работы опытно-промышленной установки по биогенным элементам предлагается метод построения «биохимического профиля» системы. Биохимический профиль отображает изменение концентраций того или иного вещества по стадиям очистки и может достаточно наглядно отобразить суть процессов, протекающих в системе в целом. По оси абсцисс в таком профиле предлагается от-

кладывать физический объем каждого из сооружений станции очистки, что позволит наглядно воспринимать сущность и скорости физических, химических и биохимических процессов без потери математической точности результатов.

Результаты работы опытно-промышленной установки приведены в виде биохимических профилей биогенных элементов (азота и фосфора) на рис. 4, 5.

При обеих схемах и любой подачи воздуха профиль по азоту аммонийному NH_4-N

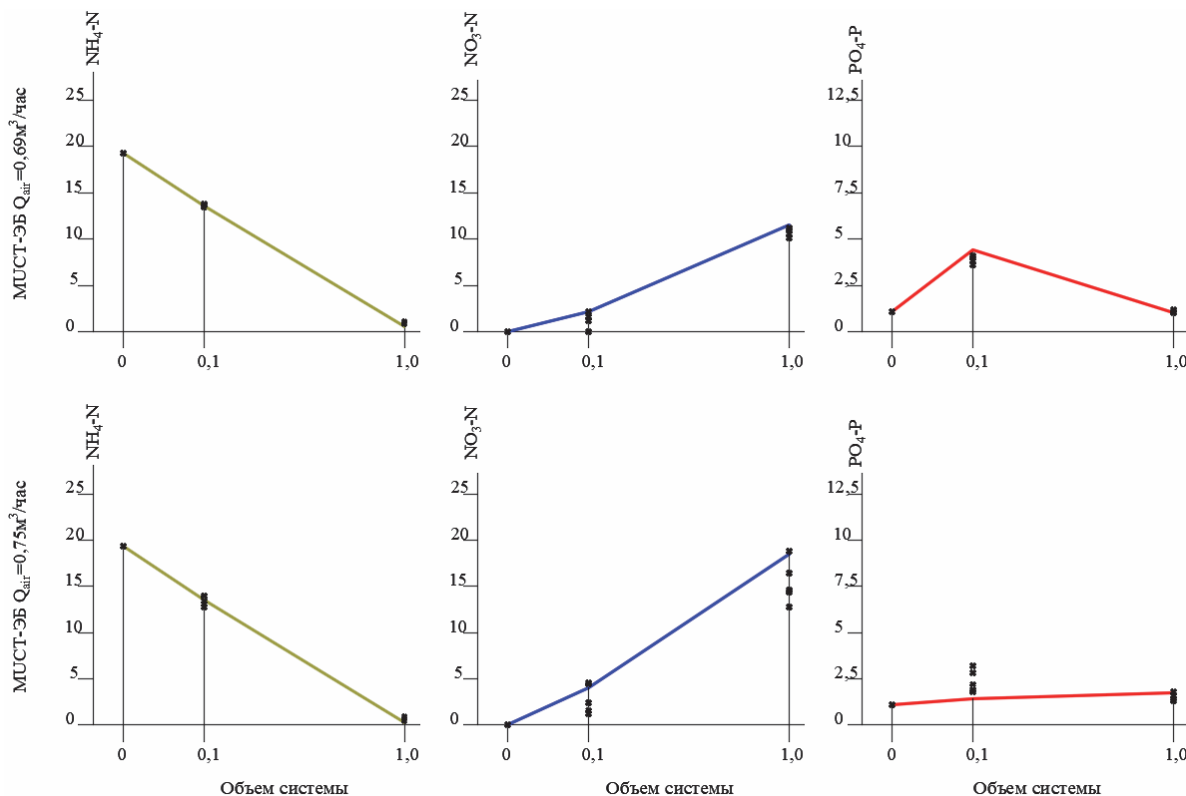


Рисунок 4. Биохимические профили в сравнении с расчетным значением для МУСТ-ЭБ (x – экспериментальные данные; ----- – расчетные значения).

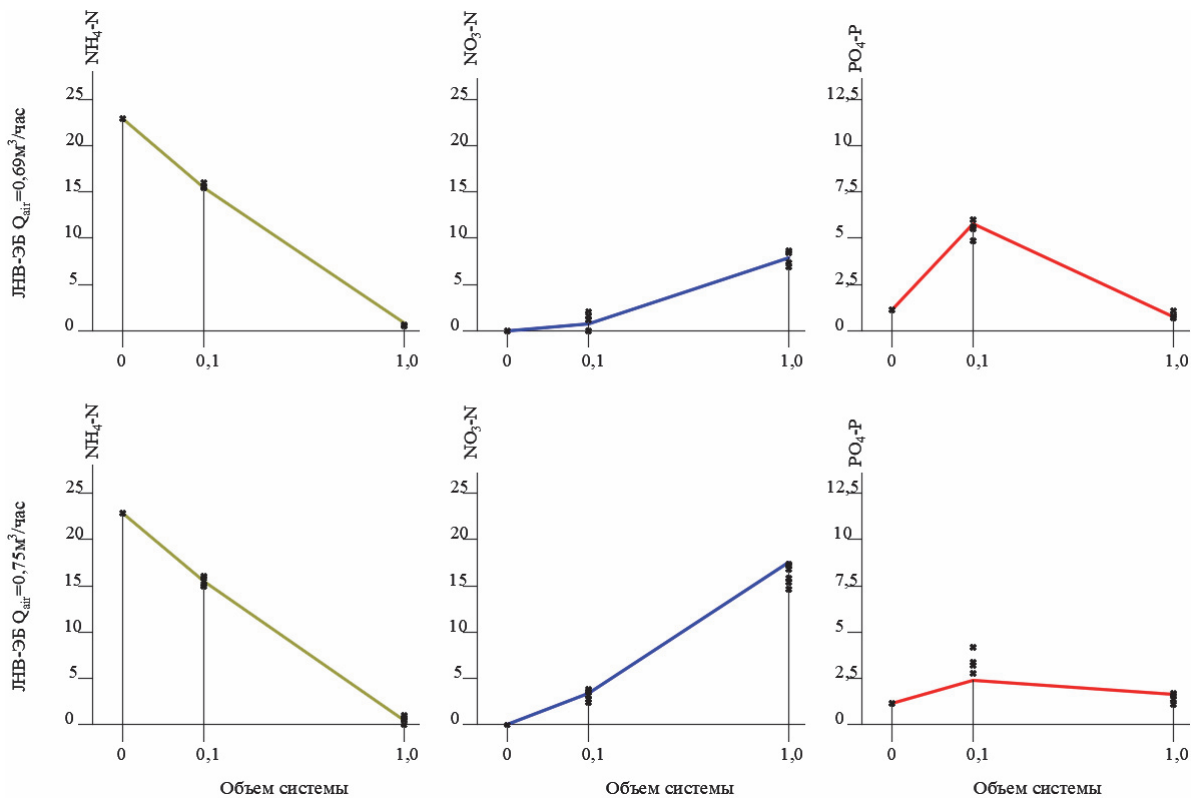


Рисунок 5. Биохимические профили в сравнении с расчетным значением для JNB-ЭБ (x – экспериментальные данные; ----- – расчетные значения).

представляет из себя нисходящие прямые. В блоке А/А (анаэробный/аноксидный реакторы – 0,1 от общего объема системы) падение профиля объясняется не очисткой от этого компонента, а подмесом рецикла возвратного ила, содержащего минимальные концентрации азота аммонийного. В блоке ЭБ (непосредственно эрлифтный биореактор – оставшиеся 0,9 от общего объема системы) происходит падение концентраций за счет протекания процессов нитрификации.

Количество нитратов $\text{NO}_3\text{-N}$ растет при всех вариантах использования схем и расхода воздуха. Повышение концентрации этого компонента в блоке А/А объясняется как рециклом нитратсодержащих возвратных вод, так и процессами денитрификации, протекающими в анаксидных реакторах этого блока. Рост нитратов в блоке эрлифтного биореактора ЭБ объясняется процессами денитрификации, протекающими в этом сооружении.

В предложенных границах работы сооружений биологической очистки только профиль фосфо-

ра фосфатов $\text{PO}_4\text{-P}$ может иметь точку перегиба в месте перехода от блока А/А в ЭБ. Как видно из рис. 4–5, высокая степень конечного удаления соединений фосфора сопровождается значительными уклонами профиля фосфатов до и после точки перегиба, что объясняется большим развитием фосфораккумулирующих микроорганизмов ФАО.

Оценка сходимости результатов теоретического и опытно-промышленного исследования составила 90 %, что вполне приемлемо для таких систем ввиду неравномерности исходного стока, инертности биохимических преобразований, гидравлических особенностей всех биореакторов.

Внос биогенных элементов в ИПКО каждой из технологий для расхода воздуха $0,69 \text{ м}^3/\text{час}$ составил 4,63 и 4,24 для МУСТ-ЭБ и JNB-ЭБ соответственно.

Качество работы встроенного осветлителя в эрлифтный биореактор оценивалось по концентрации взвешенных веществ на выходе из

сооружения в очищенной воде $C_{\text{ВВ}}^{\text{оч}}$, которая колебалась в процессе работы в диапазоне 15...23 мг/л, что характерно для сооружений вторичного илоразделения.

Выводы

В опытно-промышленных условиях доказана гипотеза, что в аэротенках-осветлителях с затопленной эрлифтной системой аэрации отсутствует выделение фосфора при вторичном илоразделении, что характерно при классическом способе во вторичных отстойниках.

Теоретический биохимический профиль системы БОСЭБ, рассчитанный с использованием подхода ASM3+Bio-P в программной среде CellDesigner, с достаточной степенью сходимости

описывает процессы в натуральных сооружениях биологической очистки.

Эффективность илоразделения во взвешенном слое аэротенка-осветлителя находится на уровне аналогичных сооружений гравитационного отстаивания. При этом объем зоны осветления задействован в биологической очистке, что подтверждается фактическим биохимическим профилем системы.

В схемах БОСЭБ (МУСТ-ЭБ и JNB-ЭБ) возможно протекание улучшенного биологического удаления фосфорана уровне БНДФ, что соответствует требованиям Наилучших Доступных Технологий при более низких, чем у известных технологий, эксплуатационных затратах за счет меньшего объема рециркуляции и расхода воздуха.

Литература

1. Smith, V. H. Eutrophication science: Where do we go from here? / V. H. Smith, D. W. Schindler. – Текст : непосредственный // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2009. – Volume 24. – P. 201–207.
2. Evaluation and analysis of present water environment quality of MinJiang&TuoJiang river basins / M. Du, Q. Liu, B. Luo [et. al.]. – Текст : непосредственный // *Sichuan Environ*. – 2016. – Volume 35. – P. 20–25.
3. Васильева, М. В. Влияние сточных вод на водные объекты в Воронежской области / М. В. Васильева, А. А. Натарева. – Текст : электронный // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2016. – Том 1, № 7-1. – С. 141–145. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stochnyh-vod-na-vodnye-obekty-v-voronezhskoy-oblasti> (дата обращения: 12.11.2022).
4. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов = Communal waste water treatment using urban centralized systems : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2019 г. № 2981 : взамен ИТС 10-2015 : дата введения 2020-09-01 / разработан технической рабочей группой № 10 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» (ТРГ 10). – Москва : Бюро НДТ, 2019. – 416 с. – Текст : непосредственный.
5. Barnard, J. A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process / J. Barnard. – Текст : непосредственный // *Water SA*. – 1976. – № 2. – P. 136–144.

Reference

1. Smith, V. H.; Schindler, D. W. Eutrophication science: Where do we go from here?. – Text : direct. – In: *Trends in Ecology & Evolution*. – 2009. – Volume 24. – P. 201–207. (in English)
2. Du, M.; Liu, Q.; Luo, B. [et. al.]. Evaluation and analysis of present water environment quality of MinJiang&TuoJiang river basins. – Text : direct. – In: *Sichuan Environ*. – 2016. – Volume 35. – P. 20–25. (in English)
3. Vasileva, M. V.; Natarova, A. A. Effect of sewage on water bodies in the Voronezh region. – Text : electronic. – In: *The science. Thought: electronic periodical*. - 2016. – Volume 1, № 7-1. – P. 141–145. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stochnyh-vod-na-vodnye-obekty-v-voronezhskoy-oblasti> (date of the application: 12.11.2022). (in Russian)
4. ITS 10-2019. Communal waste water treatment using urban centralized systems. – Moscow : Bureau NDT, 2019. – 416 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Barnard, J. A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process. – Text : direct. – In: *Water SA*. – 1976. – № 2. – P. 136–144. (in English)
6. Ekama, G. A.; Marias, G. R.; Siebritz, I. P. [et. al.]. Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes. – Pretoria : Water Research Commission, 1984. – 214 p. – Text : direct. (in English)
7. Burke, R.; Dolb, P. M. G. Biological excess phosphorus removal in short sludge age activated sludge. Research Report № W58. – Cape Town : University of Cape Town, 1986. – 391 p. – Text : direct. (in English)

6. Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes / G. A. Ekama, G. R. Marrias, I. P. Siebritz [et. al.]. – Pretoria : Water Research Commission, 1984. – 214 p. – Текст : непосредственный.
7. Burke, R. Biological excess phosphorus removal in short sludge age activated sludge. Research Report № W58 / R. Burke, P. M. G. Dolb. – Cape Town : University of Cape Town, 1986. – 391 p. – Текст : непосредственный.
8. Levin, G. V. PhoStrip® process – aviable answer to eutrophication of lakes and coastal sea water in Italy / G. V. Levin, U. Delia Sala. – Текст : непосредственный // *Biological Phosphate Removal From Wastewaters : proceedings of an IAWPRC Specialized Conference Rome, 2–30 September 1987.* – Rome : [S. n.], 1987. – P. 249–259.
9. Харькина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харькина. – Волгоград : Панорама, 2015. – 433 с. – Текст : непосредственный.
10. Randall, C. W. Upgrading a Municipal Activated Sludge Plant for High-Rate Biological Nutrient Removal / C. W. Randall, D. Waltrip, M. V. Wabl?. – Текст : непосредственный // *Water Science and Technology.* – 1990. – № 22. – P. 21–33.
11. Seyfried, C. F. Upgrading of wastewater treatment plants for the reduction of nitrogen and phosphorus in Schleswigolstein FRG / C. F. Seyfried, E. Daumaum. – Текст : непосредственный // *Water Science and Technology.* – 1990. – Volume 27-8, № 22. – P. 69–76.
12. Кулаков, А. А. Управление работой малых канализационных очистных сооружений в условиях нестабильной нагрузки / А. А. Кулаков. – Текст : непосредственный // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения.* – 2020. – № 4. – С. 46–56.
13. Безопасность водных экосистем и проблемы реализации процесса очистки сточных вод от биогенных веществ / А. В. Козачек, Ю. В. Зеленева, Т. В. Скопинцева [и др.]. – Текст : непосредственный // *Вестник российских университетов. Математика.* – 2015. – № 20(1). – С. 219–222.
14. Константинова, Т. И. Анализ эффективности работы очистных сооружений по фосфору и рекомендации по удалению фосфора / Т. И. Константинова. – Текст : непосредственный // *Евразийское научное объединение.* – 2019. – № 10-2(56). – С. 127–129.
15. Галанцева, Л. Ф. Исследования эффективности очистки сточных вод г. Чистополя от фосфатов / Л. Ф. Галанцева, С. В. Фридланд. – Текст : непосредственный // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2010. – № 2. – С. 311–314.
16. Сапон, Е. Г. Перераспределение фосфора между фазами суспензии избыточного активного ила при аэробной и анаэробной стабилизации / Е. Г. Сапон, В. Н. Марцуль. – Текст : непосредственный // *Труды БГТУ. Серия 2 : Химические*
8. Levin, G. V.; Delia Sala, U. PhoStrip® process – aviable answer to eutrophication of lakes and coastal sea water in Italy. – Text : direct. – In: *Biological Phosphate Removal From Wastewaters : proceedings of an IAWPRC Specialized Conference.* – Rome : [S. n.], 1987. – P. 249–259. (in English)
9. Kharkina, O. V. Efficient operation and design of biological wastewater treatment facilities. – Volgograd : Panorama, 2015. – 433 p. – Text : direct. (in Russian)
10. Randall, C. W.; Waltrip, D.; Wabl?, M. V. Upgrading a Municipal Activated Sludge Plant for High-Rate Biological Nutrient Removal. – Text : direct. – In: *Water Science and Technology.* – 1990. – № 22. – P. 21–33. (in English)
11. Seyfried, C. F.; Daumaum, E. Upgrading of wastewater treatment plants for the reduction of nitrogen and phosphorus in Schleswigolstein FRG. – Text : direct. – In: *Water Science and Technology.* – 1990. – Volume 27-8, № 22. – P. 69–76. (in English)
12. Kulakov, A. A. Management of the work of small sewage treatment plants in conditions of unstable load. – Text : direct. – In: *Best available technologies for water supply and sanitation.* – 2020. – № 4. – P. 46–56. (in English)
13. Kozachek, A. V.; Zeleneva, Iu. V.; Skopintseva, T. V. [et. al.]. The safety of aquatic ecosystems and problems of realization of process waste water from nutrients. – Text : direct. – In: *Journal of the Russian Universities. Mathematics.* – 2015. – № 20(1). – P. 219–222. (in Russian)
14. Konstantinova, T. I. Analysis of the efficiency of wastewater treatment plants for phosphorus and recommendations for the removal of phosphorus. – Text : direct. – In: *Eurasian Scientific Association.* – 2019. – № 10-2(56). – P. 127–129. (in Russian)
15. Galantseva, L. F.; Fridland, S. V. Studies on the efficiency of wastewater treatment from phosphates in Chistopol town. – Text : direct. – In: *Bulletin of Kazan Technological University.* – 2010. – № 2. – P. 311–314. (in Russian)
16. Sapon, E. G.; Martsul, V. N. Phosphorus release from excess activated sludge to sludge liquide under aerobic and anaerobic sludge stabilization. – Text : direct. – In: *Proceedings of BSTU. Series 2 : Chemistry, organic substances technology and biotechnology.* – 2015. – № 4(177). – P. 288–294. (in Russian)
17. Patent № 132076 Ukraine. Aerotank-illuminator : № 201809073 ; declared 31.08.2018 : published. 11.02.2019 / V. I. Nezdoinov, D. V. Zavorotnij, V. I. Zyatina, V. S. Rozhkov. – 4 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
18. Nezdoinov, V. I.; Rozhkov, V. S.; Zavorotnyi, D. V. Biological treatment of urban wastewater with airlift bioreactors-clarifiers. – Text : direct. – In: *Stroitel Donbassa.* – 2018. – № 4(5). – P. 17–21. (in Russian)
19. Nezdoinov, V. I.; Rozhkov, V. S.; Chernyshev, V. N. The concept of biological wastewater treatment with airlift bioreactors. – Text : direct. – In: *Water*

- технологии, биотехнология, геоэкология. – 2015. – № 4(177). – С. 288–294.
17. Патент № 132076 Україна, B01D 21/02 (2006.01), C02F 3/02 (2006.01), C02F103/00 Аеротенк-освітлювач : № 201809073 ; заявл. 31.08.2018 : опубл. 11.02.2019 / В. І. Нездойминов, Д. В. Заворотний, В. І. Зятіна, В. С. Рожков. – 4 с. – Текст : непосредственный.
18. Нездойминов, В. И. Биологическая очистка городских сточных вод с эрлифтными биореакторами-осветлителями / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Д. В. Заворотный. – Текст : непосредственный // Строитель Донбасса. – 2018. – № 4(5). – С. 17–21.
19. Нездойминов, В. И. Концепция биологической очистки сточных вод с эрлифтными биореакторами / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, В. Н. Чернышев. – Текст : непосредственный // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018» : Материалы XI Международной научно-практической конференции г. Сочи 11–14 декабря 2018 г. – Новочеркасск : ЛИК, 2018. – С. 220–224.
20. Experimental methods in wastewater treatment / M. C. van Loosdrecht, P. H. Nielsen, C. M. Lopez-Vazquez, D. Brdjanovic. – London : IWA Publishing, 2016. – 362 p. – Текст : непосредственный.
- purification technologies «TECHNOVOD-2018» : Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. – Novocherkassk : LIK, 2018. – P. 220–224. (in Russian)*
20. Van Loosdrecht, M. C.; Nielsen, P. H.; Lopez-Vazquez, C. M.; Brdjanovic, D. Experimental methods in wastewater treatment. – London : IWA Publishing, 2016. – 362 p. – Text : direct. (in English)

Рожков Виталий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: биологическая очистка сточных вод, оборотные системы промышленного водоснабжения, очистка природных вод.

Рожков Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічне очищення стічних вод, оборотні системи промислового водопостачання, очищення природних вод.

Rozhkov Vitaliy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological wastewater treatment, circulating industrial water supply systems, natural water treatment.