

EDN: QLOLGH

УДК 628.345

Ю. В. ВАСИЛЬЕВА, М. Н. ДОРЦЕВАФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТУПЕНЧАТОГО ТРЕТИЧНОГО ОТСТАИВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТОВ

Аннотация. Исследована возможность использования третичного отстаивания с применением реагентов для доочистки биологически очищенных в эрлифтных биореакторах сточных вод от взвешенных веществ и соединений фосфора. В статье представлены результаты лабораторных исследований по определению эффективности третичного отстаивания биологически очищенных сточных вод в привязке к технологии БОСЭБ (очистки с эрлифтными биореакторами). В лабораторных испытаниях использовались классические реагенты (коагулянт, флокулянт, известь). Результаты экспериментов показали, что наибольшую эффективность третичной очистки как от взвешенных веществ, так и от соединений фосфора показала схема с двухступенчатым отстаиванием и введением на первой ступени анионного флокулянта, на второй – коагулянта, с увеличением времени пребывания на второй ступени до 40 минут. Получено косвенное подтверждение гипотезы, что выносимые из осветлителя частицы активного ила имеют положительный поверхностный заряд.

Ключевые слова: третичное отстаивание, фосфаты, мутность, коагулянт, флокулянт, активный ил.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается недостаточная степень очистки по взвешенным веществам и фосфатам на канализационных очистных станциях. Рассмотрение возможности использования третичного отстаивания с применением реагентов обусловлено необходимостью приведения значения этих параметров к нормативным.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обоснование возможности использования третичного отстаивания с применением реагентов для доочистки биологически очищенных в эрлифтных биореакторах сточных вод от взвешенных веществ и соединений фосфора.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в Российской Федерации определяющим при нормировании качества очистки сточных вод является Закон № 225-ФЗ от 29.07.2017 [1], внесший ряд коррективов в Федеральные законы 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении». Указанный закон вводит понятие технологически нормируемых веществ (ТНВ), к которым, для городских сточных вод, отнесены следующие загрязняющие вещества: взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, азот аммонийный, азот нитратов, азот нитритов, фосфора фосфатов [2].

Для определения степени очистки сточных вод для каждой из указанных категорий объектов, введены понятия «интегрального показателя качества очистки» ИПКО [3]. Данный показатель представляет собой средневзвешенное отношение фактической концентрации вещества в очищенных сточных водах к целевому технологическому показателю (ЦТП) – концентрации в наиболее защищаемых водоемах (таблица 1).

Качество очистки, согласно концепции ТНВ, оценивается для всех основных нормируемых величин интегральным показателем ИПКО_{цтп}.

© Ю. В. Васильева, М. Н. Дорцева, 2024



Таблица 1 – Значения ЦТП для технологически варьируемых величин

Показатель	ЦТП, мг/л	Показатель	ЦТП, мг/л
Взвешенные вещества	5	Азот аммонийных солей (N-NH ₄)	1
БПК ₅	3	Азот нитратов (N-NO ₃)	8
ХПК	30	Азот нитритов (N-NO ₂)	0,1
		Фосфор фосфатов (P-PO ₄)	0,5

$$\text{ИПКО}_{\text{ЦТП}} = \sum_1^n \text{ИПКО}_i, \quad (1)$$

где n – количество технологически нормируемых величин (7);

ИПКО_{*i*} – интегральный показатель качества очистки по каждой из технологически нормируемых величин.

Для повышения эффективности очистки сточных вод, и, соответственно, уменьшения ИПКО сооружений малой и средней производительности, научной школой Донбасской национальной академии строительства и архитектуры под руководством профессора В. И. Нездойминова с середины 2000-х годов развивается концепция очистки сточных вод симультанной нитри-денитрификацией в аэротенках с затопленной эрлифтной системой аэрации [4], позже получившая сокращенное название БОСЭБ (биологическая очистка с эрлифтными биореакторами) [5].

Отказ от вторичного отстаивания при внедрении эрлифтных биореакторов (технология БОСЭБ) при реконструкции сооружений биологической очистки сточных вод малой и средней производительности (до 10.000 м³/сут.) позволяет освободить для мощностей третичной обработки наиболее распространенные в таких схемах вертикальные отстойники. В среднем, время пребывания сточных вод в таких сооружениях может составлять 1,5–2,0 часа, что диктует граничные параметры по времени третичного отстаивания с введением реагентов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В качестве реагентов при третичной обработке очищенных сточных вод для снижения содержания фосфора фосфатов используются коагулянты (на основе железа и алюминия) и известь [6]. При этом, широкому изучению ранее был подвержен вопрос [7, 8] именно снижения концентрации фосфатов, без учета эффективности удаления взвешенных веществ. Однако, при сбросе очищенных сточных вод в водоемы без последующего фильтрования (что является весьма дорогостоящим методом для станций малой и средней производительности), наличие взвешенных веществ приведет к увеличению ИПКО сразу по трем целевым технологическим показателям. Это как сами взвешенные вещества, так и БПК, ХПК очищенных стоков, поскольку вынос из третичных отстойников будет представлен неотделенными частицами активного ила.

Концентрация взвешенных веществ после илоразделения в самообновляющемся взвешенном слое составляет 20...60 мг/л [9], что превышает ЦТП по этому показателю в 4–12 раз и практически исключает сброс в водоемы категории Б, В [10]. Отсюда возникает необходимость снижения при третичном отстаивании не только содержания фосфора фосфатов, но и концентрации взвешенных веществ.

Для исследования эффективности удаления взвешенных веществ при третичном отстаивании с применением классических реагентов (коагулянта, флокулянта и извести) проведена серия лабораторных исследований (рисунок), в которых к очищенным сточным водам с содержанием взвешенных веществ 60...80 мг/л добавлялись:

- коагулянт сульфат алюминия (Al₂(SO₄)₃) дозой 30 мг/л;
- анионный флокулянт полиакриламид (ПАА) дозой 0,2 мг/л;
- известь гашеная (Ca(OH)₂) дозой 200 мг/л.

После добавления реагента выполнялось плавное перемешивание пробы и отстаивание в поле сил тяжести продолжительностью 30 минут.

Результаты первичных поисковых исследований по эффективности третичного отстаивания с контролем степени удаления фосфора фосфатов (по Р) приведены в таблице 2.

Результаты исследований показали, достаточно парадоксальный, на первый взгляд, факт – эффективность удаления взвешенных веществ активного ила выше при агломерации частиц анионным флокулянтом, нежели положительно заряженными частицами коагулянта, что косвенно указывает на положительный заряд удаляемых частиц.



Рисунок – Лабораторные исследования эффективности третичного отстаивания.

Таблица 2 – Результаты поисковых исследований по определению эффективности третичного отстаивания с применением реагентов

Показатель	Исходная	Коагулянт	Флокулянт	Коагулянт+ флокулянт	Известь
Мутность	60...80	32...36	16...26	32...42	33...60
Фосфаты (по Р)	1,44...1,76	0,19...0,47	1,3...1,4	0,18...0,8	0,29...0,7

Общеизвестно, что частицы активного ила имеют отрицательный заряд, как и большинство других коллоидных частиц [11], что во многом обуславливает (согласно ряду теорий хлопьеобразования [11]) их слипание. В то же время, выносимые из осветлителя мелкие частицы активным илом могут не считаться, и могут быть представлены другими составляющими, что меняет заряд частицы. В работе [12] указывается, что большее количество полимеров белкового типа может привести к совместному изменению заряда поверхности частиц. Поскольку аминокислоты содержат как аминные, так и карбоксильные группы, они могут вносить в систему как положительные, так и отрицательные заряды, что вполне возможно при разложении активного ила в процессе лизиса.

Совместное использование анионного флокулянта и коагулянта при этом не дает нужного эффекта за счет взаимокомпенсации заряда реагентов. Отсюда следует необходимость разделения во времени ввода реагентов и ступенчатого отстаивания. Емкость вторичных отстойников (выше описано, что время пребывания в них достигает 2-х часов), может быть достаточна для отстаивания скоагулированных и сфлокулированных систем в 2 различные ступени (по часу каждая, либо 30 мин – 90 минут).

Для подтверждения этой гипотезы проведена вторая серия лабораторных исследований, в которой введение коагулянта и флокулянта чередовались со ступенями отстаивания. Дополнительно проведены исследования с введением только флокулянта для контроля эффективности осветления. Во всех опытах

контролировались концентрации фосфатов (по Р) на всех этапах третичной обработки. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследований по определению эффективности ступенчатого третичного отстаивания с применением реагентов

Показатель	Реагент 1 ст.	Коагулянт	Флокулянт	Флокулянт
Мутность исходная			67	
Фосфаты (по Р) исходные			1,79	
Мутность после 1 ступени (20 минут отстаивания)		16	14	14
Фосфаты (по Р) после 1 ступени (20 минут отстаивания)		1,78	1,38	1,4
Показатель	Реагент 2 ст.	Флокулянт	Коагулянт	---
Мутность после 2 ступени (20 минут отстаивания)		16	20	---
Мутность 2 ступени (40 минут отстаивания)		16	10	---
Фосфаты (по Р) после 2 ступени (20 минут отстаивания)		1,06	0,71	---

Результаты экспериментов показали, что наибольшую эффективность третичной очистки как от взвешенных веществ, так и от соединений фосфора показала схема с двухступенчатым отстаиванием и введением на первой ступени флокулянта, на второй – коагулянта, с увеличением времени пребывания на второй ступени до 40 минут.

Эффективность такой конфигурации схемы очистки может быть объяснена тем, что на первой стадии из воды удаляется избыточное для данной дозы коагулянта содержание взвешенных веществ. Исходя из гипотезы положительного заряда таких частиц они могут являться мешающим фактором для протекания процесса коагулирования при реагентном удалении соединений фосфора.

Предложенное решение нуждается в дальнейшей оптимизации как в части установления эффективной дозы реагента, так и в определении времени отстаивания по 1-й и 2-й ступеням, однако уже достигнутые результаты указывают на перспективность ступенчатого третичного отстаивания с применением реагентов для реконструкции станций биологической очистки малой и средней производительности в рамках технологии БОСЭБ.

ВЫВОДЫ

На основании лабораторных исследований установлено, что для достижения высокого качества очистки методами третичного отстаивания, следует организовывать указанный процесс в две ступени: перед первой ступенью вводится анионный флокулянт, перед второй – коагулянт. Получено косвенное подтверждение гипотезы, что выносимые из осветлителя частицы активного ила имеют положительный поверхностный заряд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 225-ФЗ от 29.07.2017. – Текст : электронный // Норматив Контур : [сайт]. – 2017. – 29 июля. – Москва : Кремль. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=324922&ysclid=lx1t43ce5i602701910> (дата обращения: 10.04.2024).
2. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ИТС 10-2019 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов : внесена поправка, утвержденная 28.10.2010 : дата введения 2020-09-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – 2024. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889/> (дата обращения: 10.04.2024).
3. Данилович, Д. А. Проектирование очистных сооружений канализации: как избежать негативного опыта/ Д. А. Данилович. – Текст : электронный // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2018. – № 1. – С. 36–45. – URL: https://vodanews.info/wp-content/uploads/2018/02/NDT_1_31_prjct.pdf (дата обращения: 12.04.2024).
4. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация-денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация» : диссертация на соискание

- ученой степени доктора технических наук / Нездойминов Виктор Иванович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Makeevka, 2012. – 184 с. – Текст : непосредственный.
5. 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 «ТЕХНО-ВОД-2018» : материалы XI Международной научно-практической конференции, Сочи, Красная Поляна, 11–14 декабря 2018 года. – Сочи, Красная Поляна : ООО «Лик», 2018. – С. 220–224.
 6. Clarifier Design / T. Wilson [et al.] // WEF Manual of Practice No. FD. – Second Edition. – [S. l.] : McGraw-Hill : Water Environment Federation, 2005. – 704 p. – Текст : непосредственный.
 7. Mahoo, F. Methods for phosphorus recovery from waste water: A review / F. Mahoo. – Текст : непосредственный // Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. – 2018. – Volume 13, issue 2. – P. 315–323.
 8. Ружицкая, О. А. Современные химические и физико-химические методы удаления фосфатов из сточных вод / О. А. Ружицкая, С. Мендеса. – Текст : электронный // Системные технологии. – 2019. – № 3 (32). – С. 22–27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-himicheskie-i-fiziko-himicheskie-metody-udaleniya-fosfatov-iz-stochnyh-vod/viewer> (дата обращения: 10.04.2024).
 9. Нездойминов, В. И. Исследование допустимой подачи затопленной эрлифтной системы аэрации в аэротенке-осветлителе / В. И. Нездойминов, Д. В. Заворотный, В. С. Рожков. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-3(125) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 80–85. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3\(125\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3(125).pdf) (дата обращения: 10.04.2024). – ISSN 2519-2817.
 10. Российская Федерация. Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление : Приказ Правительства РФ № 1379. – Текст : электронный // Правительство Российской Федерации : [сайт]. – 2019. – Москва. – URL: <http://government.ru/docs/all/124400/> (дата обращения: 10.04.2024).
 11. Mikkelsen, L. H. Applications and limitations of the colloid titration method for measuring activated sludge surface charges / L. H. Mikkelsen. – Текст : непосредственный // Water Research. – 2003. – Volume 37, No. 10. – P. 2458–2466. – DOI: 10.1016/S0043-1354(03)00021-6.
 12. Kara, F. Monovalent cations and their influence on activated sludge floc chemistry, structure, and physical characteristics / F. Kara, G. C. Gurakan, F. D. Sanin. – Текст : непосредственный // Biotechnology and Bioengineering. – 2008. – Volume 100, No. 2. – P. 231–239. – DOI: 10.1002/bit.21755.

Получена 19.04.2024

Принята 24.05.2024

YULIA VASILYEVA, MARIIA DORTSEVA
STUDY OF THE PROCESSES OF STEPWISE TERTIARY SEDIMENTATION OF
TREATED WASTEWATER USING REAGENTS

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation,
Donetsk People's Republic, Makeevka

Abstract. The possibility of using tertiary sedimentation with the use of reagents for the additional purification of biologically treated wastewater in airlift bioreactors from suspended solids and phosphorus compounds has been studied. The article presents the results of laboratory studies to determine the effectiveness of tertiary sedimentation of biologically treated wastewater in connection with the BOSEB technology (treatment with airlift bioreactors). In laboratory tests, classical reagents were used (coagulant, flocculant, lime). The experimental results showed that the greatest efficiency of tertiary purification from both suspended solids and phosphorus compounds was shown by a scheme with two-stage sedimentation and the introduction of an anionic flocculant at the first stage, and a coagulant at the second, with an increase in the residence time at the second stage to 40 minutes. Indirect confirmation of the hypothesis was obtained that activated sludge particles removed from the clarifier have a positive surface charge.

Keywords: tertiary sedimentation, phosphates, turbidity, coagulant, flocculant, activated sludge.

Васильева Юлия Вячеславовна – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод от соединений фосфора.

Дорцева Мария Николаевна – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

Vasilyeva Yulia – assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: wastewater treatment from phosphorus compounds.

Dortseva Mariia – master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: wastewater treatment.