

EDN: **NBLYMJ**

УДК 628.345

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАГУЛЯНТА НА РАБОТУ САМООБНОВЛЯЮЩЕГОСЯ ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ ЭРЛИФТНОГО БИОРЕАКТОРА ПРИ СООСАЖДЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Аннотация. В работе представлены результаты исследования работы самообновляющегося взвешенного слоя активного ила при введении коагулянта в эрлифтный биореактор. Представлены результаты полупромышленных исследований процесса илоразделения при реагентном соосаждении соединений фосфора в эрлифтном биореакторе. Исследована зависимость введения коагулянта на эффективность осветления. Установлено, что добавление коагулянта непосредственно в биореактор повышает эффективность осветления иловой воды во взвешенном слое на 10...40 %, в зависимости от дозы коагулянта. При увеличении дозы коагулянта наблюдается прогнозируемое повышение степени удаления фосфора. Предложены значения коэффициента соосаждения для описания самообновляющегося взвешенного слоя активного ила в эрлифтных биореакторах. Зависимость коэффициента соосаждения от нагрузки на зеркало защитной зоны осветлителя незначительно, потому он рассматривается как функция дозы коагулянта. Для описания зависимости коэффициента соосаждения от дозы коагулянта выбрана степенная функция. Экспериментальным путем установлено, что с увеличением дозы коагулянта коэффициент соосаждения снижается.

Ключевые слова: соосаждение, коагулянт, фосфор, активный ил, нагрузка, осветление, реагентные методы удаления фосфора.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существующие зависимости, описывающие илоразделение в самообновляющемся взвешенном слое, не учитывают изменения седиментационных свойств активного ила при введении в биореактор коагулянта.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование в полупромышленных условиях влияния коагулянта при соосаждении фосфора на работу самообновляющегося взвешенного слоя активного ила в эрлифтном биореакторе.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время только 8...10 % очистных сооружений канализации в РФ обустроены для удаления соединений фосфора [1]. Это связано с достаточно высокой сложностью, энергозатратностью технологий, отвечающих всем требованиям действующего экологического законодательства. Особенно актуален этот вопрос для очистных сооружений малых и средних населенных пунктов, что объясняется как технологическими, так и организационными особенностями работы этих предприятий.

Для сооружений производительностью до 10.000 м³/сут. в ФГБОУ ВО «ДОННАСА» предложена технология БОСЭБ [2, 3] – биологическая очистка с эрлифтными биореакторами. Эрлифтные биореакторы представляют из себя сооружения для биологической очистки аэрацией, организованной по принципу затопленного эрлифта. Это позволяет организовать в сооружении циркуляционные восходящие, нисходящие и вихревые потоки, что обуславливает не только перемешивание ила, но и поддерживает обновление (самообновление) взвешенного слоя на выходе из сооружения (рисунок 1).

© Ю. В. Васильева, 2024



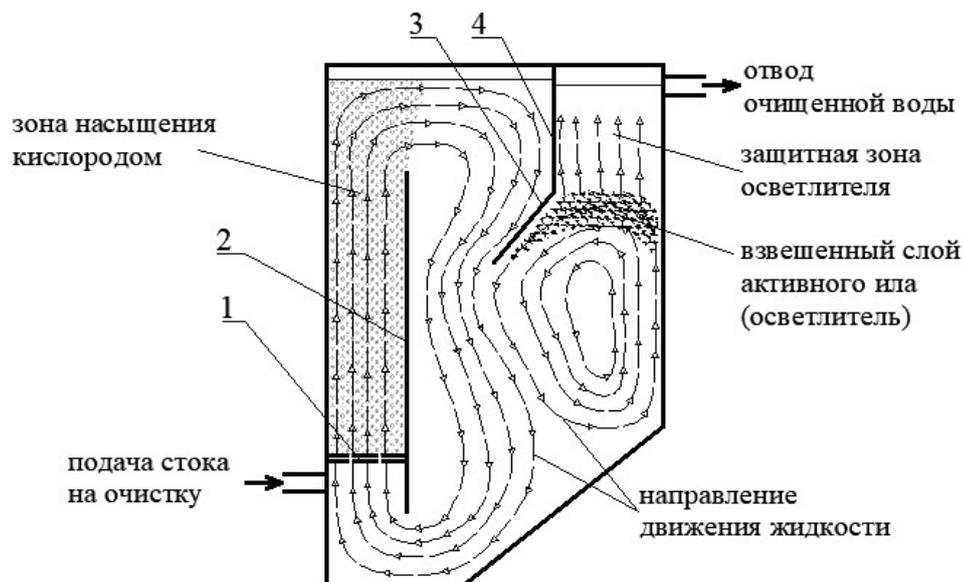


Рисунок 1 – Схема эрлифтного биореактора: 1 – аэратор; 2 – погружная перегородка; 3 – наклонный козырек; 4 – перегородка.

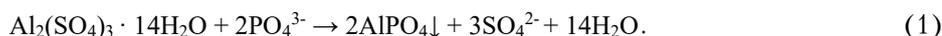
Для описания илоразделения в самообновляющемся взвешенном слое предложены зависимости, связывающие эффективность осветления с концентрацией ила в биореакторе, нагрузкой на осветлитель и интенсивностью циркуляции [4, 9]. Однако, эти зависимости не учитывают изменения седиментационных свойств активного ила при введении в биореактор коагулянта для соосаждения фосфора в рамках БНДХФ (биологической нитри-денитрификации с химическим удалением фосфора [1]).

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Процесс соосаждения соединений фосфора (наряду с пред-осаждением и пост-осаждением) при очистке сточных вод используется при превышении показателя фосфатов в очищенных сточных водах требованиям сброса в водоемы и относится к реагентным методам удаления фосфора.

Сущность реагентного метода удаления фосфора из сточных вод состоит в осаждении фосфатов металлов при добавлении к сточным водам коагулянтов – зачастую представляющих из себя соли трехвалентных (Al^{3+} , Fe^{3+}), реже – двухвалентных металлов, добавляемых в виде хлоридов и сульфатов [5].

Взаимодействие сульфата алюминия с фосфатами проходит по реакции:



Реакция трехвалентного железа:



В ходе этих реакций происходит образование «мицелиев» оксида металла, обладающих адсорбционной способностью, которые и связывают фосфаты с образованием метал-гидроксид-фосфата [6]. Поскольку активный ил очистных сооружений канализации обладает отрицательным поверхностным потенциалом [7], неизбежно влияние коагулянта и на его седиментационные свойства, и, как следствие, на работы самообновляющегося взвешенного слоя.

Исследование работы самообновляющегося взвешенного слоя активного ила при введении коагулянта проводилось на полупромышленной установке эрлифтного биореактора (рисунок 1, фото на рисунке 2) в проточном режиме с наполнением активным илом Макеевских ОС.

Схема полупромышленной установки представлена на рисунке 3. Проток осуществлялся по замкнутому контуру через промежуточную емкость.

Полный объем эрлифтного биореактора составил 47 л. В ходе экспериментов подача воздуха была неизменной и составила $0,13 \text{ м}^3/\text{час}$, что соответствует интенсивности аэрации $I_A = 12 \text{ м}_3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$. При этом интенсивность циркуляции относительно зазора между козырьком и погружной перегородкой $I_{\text{ц}}$ составит $300 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$. Расход проточной жидкости варьировался в диапазоне $0,02 \dots 0,06 \text{ м}^3/\text{час}$, что соответствует нагрузке на зеркало защитной зоны осветлителя $q_s = 1,7 \dots 4,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$. Следует отметить, что



Рисунок 2 – Полупромышленная установка эрлифтного биореактора: а) общий вид; б) отвод осветленной воды.

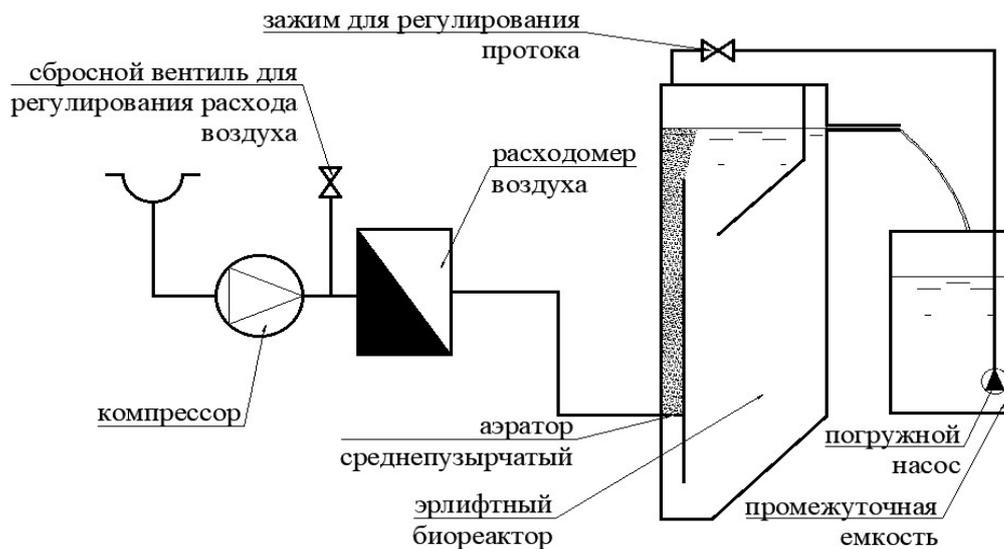


Рисунок 3 – Схема полупромышленной установки.

нагрузка на осветлитель принята в верхнем диапазоне рекомендуемых значений [4], что связано с необходимостью получить для анализа меньшее количество осветленной воды за счет большей концентрации взвешенных веществ на выходе. Из этих же соображений принята доза активного ила в сооружении 1,5 г/дм³ (в минимальных значениях, что способствует большему выносу из сооружения).

Концентрация коагулянта (сульфат алюминия по безводному веществу) варьировалась в диапазоне 5... 15 мг/дм³, что соответствует общей практике дозирования коагулянта при соосаждении.

При каждой смене дозы коагулянта выполнялась полная перезагрузка коагулянта со сменой активного ила. Отбор проб очищенной воды выполнялся на минимальной нагрузке без введения коагулянта, при той же нагрузке после введения коагулянта, при увеличении нагрузки на зеркало защитной зоны осветлителя. Анализ концентраций взвешенных веществ на выходе без введения коагулянта проводился для установления предложенного диапазона рабочих параметров известной зависимости [9]:

$$q_s = 0,377 \cdot \frac{C_{\text{в.в}}^{1,19} \cdot a_t^{0,451}}{1,0078^{1,19/Ц}}, \quad (3)$$

где, кроме описанных выше:

$C_{в.в}$ – концентрация взвешенных веществ в осветленной воде, мг/дм³;
 a_i – концентрация активного ила в биореакторе, г/дм³.

Для установления концентрации взвешенных веществ в осветленной воде отбиралась проба объемом 1 дм³, с последующим определением содержания взвешенных веществ весовым методом. Параллельно контролировалось содержание фосфатов (в пересчете на Р, мг/дм³) в осветленной воде. Результаты анализов приведены в таблице. Там же приведены рассчитанные по формуле 3 значения концентраций взвешенных веществ на выходе без введения коагулянта.

Таблица – Результаты экспериментов по определению влияния коагулянта на степень осветления в эрлифтном биореакторе

№ серии	1			2			3		
Концентрация коагулянта, мг/дм ³	0	5		0	10		0	15	
Нагрузка на зеркало защитной зоны осветлителя, м ³ /(м ² ·час)	3,5	3,5	4,3	2,9	2,9	1,7	1,7	1,7	2,9
Расчетное значение $C_{вв}$ по ф-ле 3, мг/дм ³	60	60	72	52	52	33	33	33	52
Фактическое значение $C_{вв}$, мг/дм ³	60	52	65	49	34	20	34	18	30
Коэффициент сосаждения K_{CO}	1,01	0,87	0,90	0,94	0,66	0,60	1,02	0,54	0,58
Содержание фосфатов по Р, мг/дм ³	1,32	0,75		1,3	0,63		1,3	0,42	

Касательно содержания фосфатов в осветленной воде, результаты подтвердили известные зависимости по реагентному сосаждению [6, 8]. При увеличении дозу коагулянта наблюдается повышение степени удаления фосфора.

Для определения степени влияния коагулянта на эффективность осветления, в таблице предложен «коэффициент сосаждения» K_{CO} , который представляет из себя отношение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде при добавлении коагулянта в биореактор ($C_{в.в}^{теор}$) к аналогичному параметру без добавления реагента ($C_{в.в}^{коаг}$, рассчитанному в общем случае по формуле 3):

$$K_{CO} = \frac{C_{в.в}^{коаг}}{C_{в.в}^{теор}} \quad (4)$$

Анализ результатов из таблицы показал, что коэффициент сосаждения зависит от нагрузки на зеркало защитной зоны осветлителя незначительно, поэтому предлагается рассматривать его как функцию только дозы коагулянта (рисунок 4).

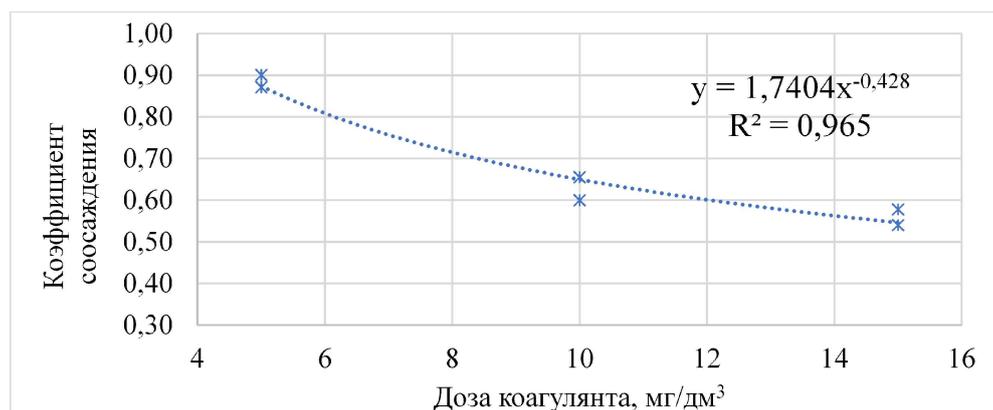


Рисунок 4 – Вид зависимости коэффициента сосаждения от дозы коагулянта.

Для описания зависимости на рисунке 4 выбрана степенная функция, которая описывает рассматриваемое явление в следующем виде:

$$K_{CO} = 1,7404 \times D_k^{-0,428}, \quad (5)$$

где D_k – доза коагулянта, вносимая в биореактор, мг/дм³.

Решая совместно уравнения 3, 4, 5, после преобразования, учитывая, что $C_{в.в}^{теор}$ из формулы 4 равно $C_{в.в}$ из формулы 3, можно представить зависимости, описывающие работу самообновляющегося взвешенного слоя при введении в биореактор коагулянта (при удалении фосфора соосаждением):

$$C_{в.в}^{коаг} = K_{со} \cdot \frac{q_s^{0,84} \cdot 1,0078^{I_{ц}}}{0,44 \cdot a_i^{0,318}}; \quad (6)$$

$$C_{в.в}^{коаг} = 3,8727 \cdot \frac{q_s^{0,84} \cdot 1,0078^{I_{ц}}}{D_k^{0,428} \cdot a_i^{0,318}}. \quad (7)$$

Зависимость 6 имеет более общий вид, поскольку приведение ее к виду формулы 7 подразумевает использование в качестве коагулянта сульфата алюминия. При применении иного коагулянта (хлорного железа и других), вид зависимости (5) должен уточняться дополнительно.

ВЫВОДЫ

Введение коагулянта в эрлифтный биореактор для осаждения фосфора, оказывает существенное влияние на эффективность илоразделения в самообновляющемся взвешенном слое этого сооружения. Для оценки этого воздействия предложен параметр – «коэффициент соосаждения» $K_{со}$, который представляет из себя отношение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде при добавлении коагулянта в биореактор к аналогичному параметру без добавления реагента. Экспериментальным путем установлено, что с увеличением дозы сульфата алюминия коэффициент соосаждения снижается, повышая эффективность очистки по взвешенным веществам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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: 28.03.2024).
2. 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, Сочи, Красная Поляна, 11–14 декабря 2018 года. – Сочи, Красная Поляна : ООО «Лик», 2018. – С. 220–224.
3. Нездойминов, В. И. Системы очистки городских сточных вод на базе эрлифтных биореакторов / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков, Д. В. Заворотный [и др.]. – Текст : электронный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 5. – С. 48–55. – URL: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2023/2023-05/8805-sistemy-ochistki-gorodskikh> (дата обращения: 28.03.2024). – ISSN 2519-2817.
4. Нездойминов, В. И. Исследование допустимой подачи затопленной эрлифтной системы аэрации в аэротенк осветлителя / 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).
5. Review: Phosphorus removal and recovery technologies / G. K. Morse, S. W. Brett, J. A. Guy [et al.]. – Текст : непосредственный // Science of The Total Environment. – 1998. – Volume 212. – P. 69–81.
6. Харьковина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харьковина. – Волгоград : Панорама. – 2015. – 433 с. – Текст : непосредственный.
7. 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.
8. Залётова, Н. А. Особенности химического удаления фосфора / Н. А. Залётова. – Текст : электронный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – Том 11. – С. 40–46. – URL: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2011/2011-11/2114-osobennosti-khimicheskogo> (дата обращения: 20.03.2024).
9. Нездойминов, В. И. Процессы осветления иловой смеси во взвешенном слое в сооружениях с эрлифтной системой аэрации / В. И. Нездойминов, Д. В. Заворотный, В. С. Рожков. – Текст : непосредственный // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017» : материалы X – Юбилейной Международной научно-практической конференции, Астрахань, 05–06 октября 2017 года. – Астрахань : ООО «Лик», 2017. – С. 268–272.

Получена 11.04.2024

Принята 24.05.2024

YULIA VASILYEVA

STUDY OF THE INFLUENCE OF A COAGULANT ON THE OPERATION OF A SELF-RENEWING SUSPENDED LAYER OF AN AIRLIFT BIOREACTOR DURING COPRECIPITATION OF PHOSPHORUS COMPOUNDS

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

Abstract. The paper presents the results of a study of the operation of a self-renewing suspended layer of activated sludge when introducing a coagulant into an airlift bioreactor. The results of semi-industrial studies of the sludge separation process during reagent coprecipitation of phosphorus compounds in an airlift bioreactor are presented. The dependence of the introduction of a coagulant on the effectiveness of clarification was studied. It has been established that adding a coagulant directly to the bioreactor increases the efficiency of clarification of sludge water in the suspended layer by 10–40 %, depending on the dose of the coagulant. As the coagulant dose increases, a predicted increase in the degree of phosphorus removal is observed. The values of the coprecipitation coefficient are proposed to describe the self-renewing suspended layer of activated sludge in airlift bioreactors. The dependence of the coprecipitation coefficient on the load on the mirror of the protective zone of the clarifier is insignificant, therefore it is considered as a function of the coagulant dose. To describe the dependence of the coprecipitation coefficient on the coagulant dose, a power function was chosen. It has been experimentally established that with increasing dose of coagulant, the coprecipitation coefficient decreases.

Keywords: coprecipitation, coagulant, phosphorus, activated sludge, load, clarification, reagent methods of phosphorus removing.

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.

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.