

Секция 1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

УДК 628.16

УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА РЕАГЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

В. Н. АНУФРИЕВ¹, Г. А. ВОЛКОВА²

¹*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

²*Брестский государственный технический университет,*

Республика Беларусь

vladimir.anufriev@bntu.by, vvit@bstu.by

Актуальность. При поступлении в водные объекты биогенных питательных элементов, в том числе соединений азота и фосфора, происходят интенсивные процессы эвтрофикации. При повышении температуры в летний период происходит массовое развитие и отмирание клеток фитопланктона в поверхностных водных объектах, при этом ухудшается качество воды, повышение мутности и цветности воды, увеличение концентрации органических веществ. Важной составляющей комплекса мер по снижению антропогенной нагрузки на водные объекты является развитие технического регулирования в области очистки сточных вод, в том числе при использовании технологий очистки сточных вод, включающих удаление фосфорных соединений.

Цель работы – оценка применения реагентных методов удаления фосфора из сточных вод.

Основные результаты. Одним из направлений решения экологической проблемы, связанной с эвтрофикацией природных водных объектов, является снижение концентрации фосфора как лимитирующего элемента в пищевом балансе при массовом размножении водорослей.

Нормативы сбросов сточных вод в водные объекты, которые являются источником фосфора, ужесточены. Так, остаточные концентрации общего фосфора, установленные для очистных сооружений мощностью более 10 тыс. эквивалентов населения (ЭН), составляют 3,0 мг/дм³, а для очистных сооружений мощностью более 100 тыс. ЭН составляют 2,0 мг/дм³[1].

Биологическая очистка сточных вод с глубоким удалением биогенных веществ обеспечивает снижение содержания фосфорных соединений до 75–80 %. При этом биологическое удаление фосфора из сточных вод нестабильно и зависит от состава сточной воды и ее температуры. В случаях,

когда биологического удаления фосфора недостаточно для обеспечения природоохранных требований к степени очистки сточных вод, предусматривают осаждение фосфора реагентами [2].

Концентрация соединений фосфора, удаляемых химическим методом, X_{Pe} , мг/дм³, определяется по балансовому уравнению

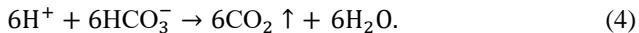
$$X_{Pe} = C_{P,en} - C_{P,ex} - X_{P,BM} - X_{P,Bio}, \quad (1)$$

где $C_{P,en}$ – концентрация фосфора в сточных водах, поступающих на биологическую очистку, мг/дм³; $C_{P,ex}$ – концентрация фосфора в сточных водах на выходе из вторичных отстойников, мг/дм³; $X_{P,BM}$ – концентрация фосфора для ассимиляции гетеротрофными микроорганизмами активного ила, мг/дм³; принимают 1 % от БПК₅; $X_{P,Bio}$ – концентрация фосфора, удаляемого биологическим методом, мг/дм³; принимают:

- при наличии анаэробной технологической емкости после первичного отстойника – от 0,010 до 0,015 БПК₅ сточных вод, поступающих на биологическую очистку;

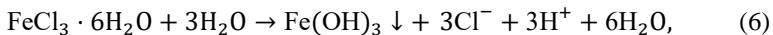
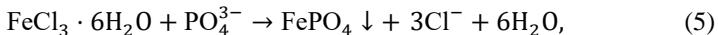
- в установках с предварительной и каскадной денитрификацией без устройства отдельной анаэробной технологической емкости – до 0,005 БПК₅.

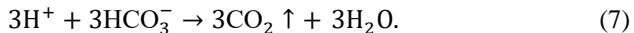
Реагентная обработка основана на снижении содержания растворимых соединений фосфора в результате химических реакций реагента с фосфатами с образованием нерастворимых соединений, а также в результате сорбции соединений фосфора хлопьями гидроксидов металлов. В качестве реагентов могут быть использованы известь, соли железа и алюминия, а также другие минеральные коагулянты. При использовании в качестве реагента сульфата алюминия происходят химические реакции



При дозировании указанного реагента pH рабочего раствора поддерживают в пределах от 5,0 до 7,5.

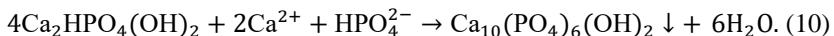
Чаще всего применяются реагенты в виде солей двухвалентного железа: сульфата ($FeSO_4$), хлорида ($FeCl_2$); солей трехвалентного железа: сульфата ($Fe_2(SO_4)_3$), хлорида ($FeCl_3$); комплексной соли ($FeCl_3SO_4$). При дозировании $FeCl_3$ происходят химические реакции





При приготовлении рабочего раствора FeSO_4 pH поддерживают в пределах от 3,5 до 6,5. При использовании двухвалентных солей железа предусматривают аэрацию рабочего раствора реагента, дозирование в аэрируемые технологические емкости или дозирование совместно с известью.

Осаждение фосфора ионами кальция производят при дозировании раствора извести с образованием малорастворимых соединений в результате реакций



При приготовлении рабочего раствора извести pH поддерживают в пределах от 10 до 12 [3]. Осаждение фосфора при дозировании раствора извести происходит при повышении pH сточных вод и образовании малорастворимых соединений фосфора при взаимодействии фосфатов с катионами железа, алюминия и кальция, содержащимися в сточной воде.

Существуют методы прямого, предварительного, параллельного и последующего осаждения соединений фосфора реагентами. Прямое осаждение фосфора применяют при физико-химической очистке сточных вод без проведения биологической очистки. Дозы реагентов устанавливают с учетом осаждения других загрязняющих веществ (кроме соединений фосфора). В качестве реагентов применяют железо (II) совместно с известью.

Предварительное осаждение фосфора производят при дозировании реагентов в поток сточных вод, поступающих в первичный отстойник или песковую. Продолжительность пребывания сточных вод в первичном отстойнике принимают 1,5–2,0 ч при гидравлической нагрузке не более $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. При дозировании реагентов pH сточных вод поддерживают от 6 до 9.

При предварительном осаждении уменьшение концентрации общего фосфора принимается до 70 %, органических веществ по БПК₅ после первичных отстойников – от 50 до 60 %. Дополнительный объем осадка первичного отстойника, образующегося при предварительном осаждении, составляет от 20 до 50 %. При проведении предварительного осаждения учитывают снижение концентрации взвешенных веществ и БПК₅ в сточных водах, поступающих на биологическую очистку.

Параллельное осаждение фосфора осуществляют при дозировании реагентов в поток сточных вод, поступающих в аэротенки, или непосредственно в иловую смесь аэротенка. Продолжительность пребывания сточных вод

в аэротенке при параллельном осаждении фосфора принимают не менее 4 ч, для очищенных сточных вод, отводимых после вторичных отстойников, – не менее 3 ч при гидравлической нагрузке, не превышающей $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Дополнительный объем осадков, образующихся во вторичных отстойниках, при параллельном осаждении фосфора принимают не более 40 %.

Последующее осаждение фосфора осуществляют при дозировании реагентов в поток сточных вод, отводимых после вторичных отстойников. Продолжительность пребывания сточных вод в смесителе и камере флокуляции принимают 0,5 ч, в отстойнике для выделения осадков – 2,0–2,5 ч при гидравлической нагрузке $0,7\text{--}1,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Дополнительный объем осадков, образующихся при последующем осаждении, принимают от 20 до 50 %.

Параметры химического осаждения фосфора для различных способов обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Способы химического осаждения фосфора

Характеристика способов осаждения фосфора	Значение характеристик Способ химического осаждения фосфора			
	Предварительное осаждение	Параллельное осаждение	Последующее осаждение	Флокуляция с фильтрованием
Остаточная концентрация фосфора в сточных водах, мг Р/дм ³	2,0	1,0	1,0	0,5
Рекомендуемое значение коэффициента β_F	1,2	1,2	1,2–2,5	2,5*
Место дозирования	Перед первичным отстойником или в аэрируемой песколовке	Перед, или после, или в аэротенке	После вторичного отстойника	Перед фильтром**
Сооружение для задержки и удаления осадков химического осаждения фосфора	Первичный отстойник	Вторичный отстойник	Дополнительный отстойник или флотатор	Фильтр

* Значение коэффициента, превышающее указанное в таблице, применяют при последующем осаждении фосфора, выполняемом в две ступени.

** При одноступенчатом дозировании реагент подается перед фильтром, при двухсту- пенчатом дозировании реагент подается перед фильтром, а также производится предварительное либо параллельное осаждение

Коэффициент, учитывающий условия дозирования, β_F определяют по формуле [4]

$$\beta_F = \frac{X_{Me} / M_{Me}}{X_{P, Fall} / M_P}, \quad (11)$$

где X_{Me} – доза коагулянта в пересчете на металл, мг/дм³; M_{Me} – молярная масса металла, мг/моль; $X_{P,Fall}$ – снижение концентрации фосфора в сточных водах в результате химического осаждения, мг/дм³; M_P – молярная масса фосфора, мг/моль.

Осаждение соединений фосфора флокуляцией с фильтрованием применяют в случае, когда концентрация фосфора в очищенных сточных водах должна быть в пределах от 0,3 до 0,5 мг/дм³. С этой целью производят параллельное или последующее осаждение и дополнительную последующую обработку сточных вод флокуляцией с фильтрованием.

Дополнительную обработку сточных вод флокуляцией с фильтрованием производят при дозировании солей трехвалентного железа и полиэлектролитных флокулянтов. При обработке сточных вод предусматривают их интенсивное перемешивание с реагентами в течение от 0,1 до 1,0 с, далее – выдерживание в течение от 10 до 30 мин для образования флоккул. Для фильтрования используют двухслойные фильтры с зернистой загрузкой.

Выводы. Проведен анализ применения реагентных методов удаления фосфора из сточных вод. Химическое осаждение фосфора применяется в случаях, когда биологическое удаление фосфора не обеспечивает природоохранные требования к степени очистки сточных вод. При этом существуют значительные ограничения по использованию химического осаждения, связанные с высокой стоимостью реагентов. Направления разработок связаны с минимизацией расхода реагентов при удалении фосфора из сточных вод. Глубокое удаление фосфора из городских сточных вод является важной задачей при проектировании сооружений, а также при оптимизации режима эксплуатации существующих очистных сооружений.

Список литературы

1 О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732141> (дата обращения: 6.02.2025).

2 СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 31.10.2019. – Минск : ЭНЕРГОПРЕСС, 2020. – 79 с.

3 П1-2029 к ТКП 45-4.01-321-2018 (33020). Проектирование очистных сооружений сточных вод. – Минск : Минстройархитектуры, 2019. – 123 с.

4 Arbeitsblatt DWA-A 202 Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser. – Hennef, 2011. – 33 s.