

УДК 628.33

**УДАЛЕНИЕ ФОСФОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД
РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКОЙ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИМИ КОАГУЛЯНТАМИ**

канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО
(Полоцкий государственный университет);
А.В. ГАЛУЗО
(УП «Витебскводоканал»)

Исследуется вопрос удаления фосфорных соединений из сточных вод реагентной обработкой железосодержащими коагулянтами. Дана характеристика реагента по видам и типам поставляемой продукции различными поставщиками. На основе анализа полученных результатов рекомендованы дозы реагентов для хлорного железа (III) и сернокислого железа (III) по товарному продукту. Определены точки ввода реагентов по технологической схеме обработки сточных вод в станции аэрации УП «Витебскводоканал». Проработана методика исследований, проведения опытов.

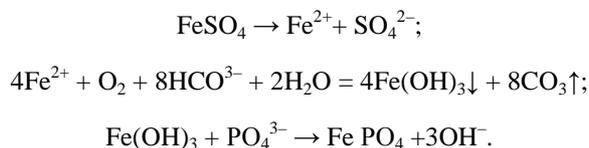
Ключевые слова: *сточные воды, фосфорные соединения, реагентная обработка, железосодержащие коагулянты.*

Введение. Современное состояние канализационных очистных сооружений, цель которых – очистка сточных вод от минеральных, органических веществ и углеродсодержащих соединений, связано также с внедрением различных технологий глубокого удаления биогенных элементов. Биогенные элементы, прежде всего азот и фосфор, представляют собой вещества, постоянно присутствующие в составе различных организмов и играющие большую роль в процессах их жизнедеятельности. Но поступление их повышенных концентраций в водоемы и водостоки нарушают естественные условия существования экосистем. В результате отрицательных воздействий азота и фосфора постепенно в водоеме начинают преобладать анаэробные процессы, которые сопровождаются образованием ядовитых веществ (фенолы, сероводород и метан). В итоге уничтожается большая часть аэробной флоры и фауны [2].

Для удаления азотных соединений в процессе очистки городских сточных вод в основном используется метод биологической нитрификации – денитрификации [1; 3; 7]. Сочетание этих процессов приводит к снижению общего азота, как правило, до требуемых нормативных значений.

Для извлечения общего фосфора из сточных вод могут быть использованы физические, физико-химические, биологические методы, а также их комбинации. Причем для глубокого удаления фосфора (менее 1 мг/л) желательнее использовать реагентную коагуляцию сточных вод с применением растворимой соли алюминия или железа, реже – известь, можно также использовать отходы производств с содержанием этих веществ [2; 5; 6].

При обработке сточных вод сернокислым железом удаление соединений фосфора происходит вследствие выпадения в осадок нерастворимых фосфатов, а также сорбции сложных фосфатов и органических соединений фосфора на хлопья гидроксида Fe(OH)₃, образующихся в результате гидролиза солей железа. Для растворимых ортофосфатов реакции непосредственного взаимодействия сернокислого железа в области величины pH 7,5...8,5 могут быть следующими:



Объект исследования – станция аэрации УП «Витебскводоканал» и реальная сточная вода, отбор которой производится в различных точках по технологической схеме ее обработки. На станцию аэрации УП «Витебскводоканал» поступает смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, причем их количество и состав постоянно изменяются в соответствии с экономической ситуацией в республике. Анализ состава сточных вод показывает, что доля сточных вод хозяйственно-бытового назначения составляет порядка 65...70%, доля промышленных стоков – 30...35%.

В настоящее время объем поступления смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод порядка 75...90 тыс. м³/сут. По данным 2013–2015 годов, средние показатели сточных вод составляют: величина pH ≥ 7,5; взвешенные вещества – 385 мг/дм³; ХПК – 780 и БПК₅ – 250 мгО₂/дм³; азот

по Кьельдалю – 60; фосфор общий – 4...6 мг/дм³. Остаточные концентрации по фосфору общему должны составлять по разрешению на спецводопользование 2 мг/л, по требованиям ХЕЛКОМа – 0,5 мг/л.

Станция реагентной доочистки сточных вод с технологическими линиями приготовления и дозирования реагентов в сухом и жидком виде работает в автоматическом режиме. Для работы станции можно использовать как готовую продукцию в жидком виде, закачивая в ёмкость для хранения, расположенную рядом со зданием станции, так и готовить из сухого товарного продукта раствор реагента. Оборудование для дозирования позволяет в необходимом объёме дозировать раствор реагента и в постоянном режиме, и в заданном – с изменением его расхода по времени.

Цель работы – определить эффективность воздействия различных типов железосодержащих коагулянтов в лабораторных условиях на удаление фосфора для различных точек их ввода по технологической схеме обработки сточных вод.

В качестве реагентов были использованы виды и сорта железосодержащих коагулянтов разных поставщиков (табл. 1). По товарному продукту использовались реагенты различных типов.

Таблица 1 – Массовая доля основного вещества (%) в исследуемых железосодержащих реагентах

Производитель (поставщик)	Реагенты (условные обозначения)	Массовая доля основного вещества, %
ЗАО «ЭКОС-1» Россия, г. Москва	Железный купорос, Fe (SO ₄) ТУ ВУ 14-156-35-2012. Гранулированный, второй сорт	52,8
ОАО «Речицкий метизный завод» Беларусь, г. Речица	Железо сернокислое, Fe ₂ (SO ₄) ₃ ТУ ВУ 400024166.020-2013. Гранулированный, второй сорт	не менее 60
ЧТУП «ВЕГЛО-СТАЛ» Польша	Железо сернокислое, Fe ₂ (SO ₄) ₃ , Марка PIX113. Водный раствор	11,8
ЧТУП «ВЕГЛО-СТАЛ» Польша	Железо хлорное, FeCl ₃ , Марка PIX111. Водный раствор	13,4

Лабораторные исследования по реагентной обработке сточных вод выполнялись по методике, обеспечивающей условия моделирования производственных процессов очистки воды: смешение рабочих растворов реагентов и сточной воды, продолжительность проведения гидролиза соли и отстаивание.

Лабораторная установка представляла собой автоматическую установку для перемешивания воды с реагентом в четырех мерных сосуда емкостью 0,5 л.

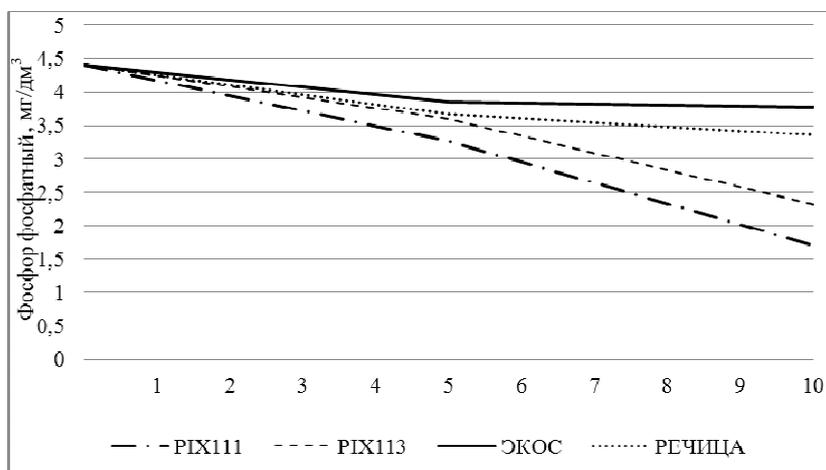
Последовательность выполнения работы:

- 1) для проведения каждого опыта по технологической схеме обработки стоков на очистных сооружениях в предполагаемых точках ввода реагентов производился отбор около 10 л реальной сточной воды;
- 2) в пробе исходной воды определялись величина рН и содержание фосфора фосфатов;
- 3) исследуемую воду заливали в мерные цилиндры до метки 500 мл. Затем в каждый цилиндр пипеткой добавлялось различное количество 1%-ного раствора железосодержащего коагулянта по активному веществу;
- 4) после этого воду в цилиндрах перемешивали со скоростью 60 об/мин в течение 20...30 с, затем, снизив это время до 10...15 с, продолжали перемешивание 10...15 мин;
- 5) цилиндры оставляли в покое на 30...120 мин (в зависимости от предполагаемой точки ввода реагента) и осуществляли наблюдение за образованием и осаждением хлопьев (t_n): время оседания (t_0), время окончания оседания (t_k), вид хлопьев;
- 6) после окончания оседания хлопьев из каждого цилиндра отбирали пробу воды из средней его части, не взмучивая осадок;
- 7) в пробе отобранной (обработанной) воды также определяли величину рН и содержание фосфора фосфатов.

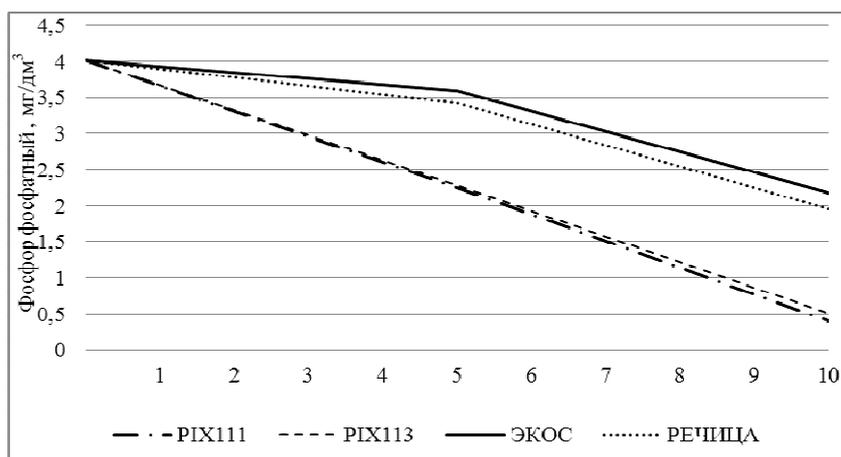
Первой точкой дозирования реагента определена точка перед первичными отстойниками, поэтому была отобрана проба сточной воды после песколовок с учётом отстаивания в течение 1,5 ч для максимального приближения к реальным условиям. Вторая точка – перед контактными резервуарами, проба сточной воды отбиралась после вторичных отстойников. Время отстаивания принималось 0,5 ч.

Средняя исходная концентрация фосфора фосфатного перед первичными отстойниками составляла 4...6 мг/дм³, до контактных резервуаров – 4 мг/дм³.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе был приготовлен 1%-ный раствор железосодержащих реагентов с их введением в цилиндры со сточной водой (1 л) в одинаковом количестве до 10 мл. Результаты исследований по двум точкам отбора проб представлены на рисунке 1.



а



б

а – перед первичными отстойниками;
б – перед контактными сооружениями

Рисунок 1. – Применение 1 %-ного раствора железосодержащих реагентов

Результаты опытов позволили сделать следующие *выводы*:

- при введении растворов гранулированных реагентов второго сорта в сточную воду как после песколовок (перед первичными отстойниками), так и перед контактными резервуарами не обеспечивается необходимая остаточная концентрация фосфора;

- ввод реагентов, представленных в жидком виде, перед контактными резервуарами позволяет получить остаточные концентрации фосфора не только в соответствии со спецводопользованием (≤ 2), но и по требованиям ХЕЛКОМа ($\leq 0,5$ мг/л);

- эффективность удаления фосфора 1%-ным раствором реагентов РІХ111 и РІХ113 практически одинакова.

В ходе исследований проводилось *тестирование образцов железосодержащих коагулянтов* в сухом виде, в результате чего выявлено следующее:

- рассматриваемые реагенты являются ядовитыми веществами, следовательно, при их использовании необходимо применять индивидуальные средства защиты кожи, слизистых и дыхательных путей, даже при работе в испытательной лаборатории;

- рабочий раствор продукции из сухого вещества имеет неоднородный состав, что недопустимо для применяемого оборудования на станции реагентной очистки, так как фильтрование раствора не предусмотрено проектом;

- в процессе приготовления раствора образуется осадок, следовательно, возникает вопрос утилизации осадка, который требует обязательного решения;

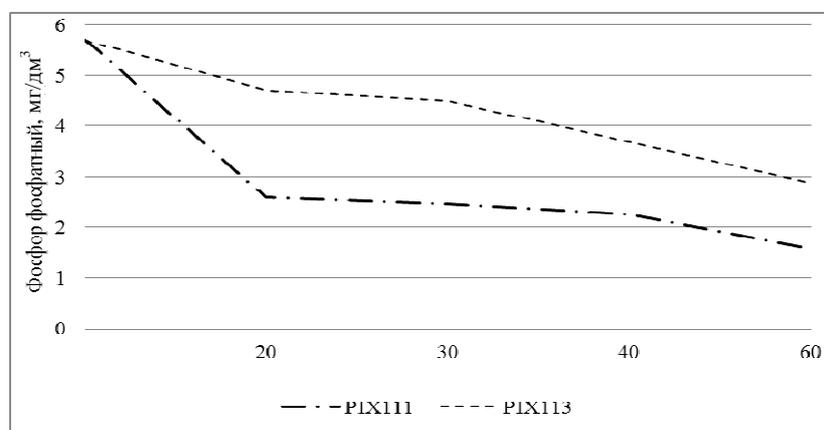
- необходимо введение дополнительного персонала для постоянного приготовления рабочего раствора;

- необходимы дополнительные складские помещения для хранения реагента.

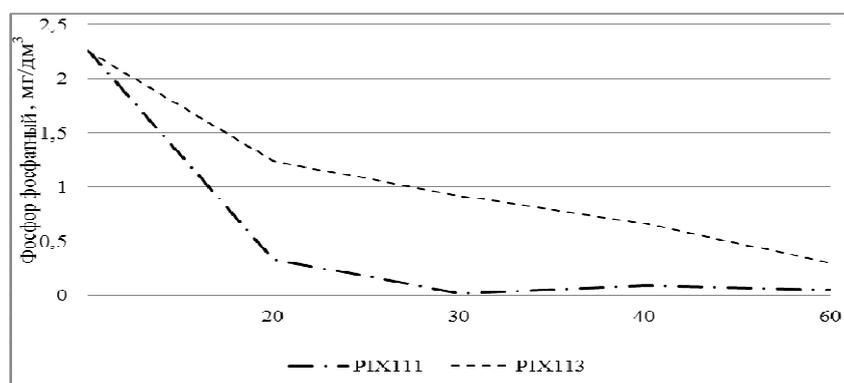
Использование товарного продукта в жидком виде значительно упрощает и делает более безопасной эксплуатацию реагентной станции, так как представляет собой готовый рабочий раствор, который можно хранить в ёмкости, расположенной рядом со зданием станции. В данном случае обслуживающему персоналу необходимо только задать программу для автоматического дозирования.

Учитывая сказанное, изучена различная продукция водных растворов реагентов с определением их рациональных доз.

Полученные результаты представлены на рисунке 2 и свидетельствуют о высокой степени удаления фосфора фосфатного данными реагентами, особенно при их использовании перед контактными резервуарами с обеспечением необходимых остаточных концентраций этого вещества.



а



б

а – внесение раствора реагента до первичных отстойников;

б – то же до контактных резервуаров

Рисунок 2. – Снижение фосфора фосфатного при использовании реагентов в жидком виде в диапазоне 0...60 мг/м³ сточных вод

В таблице 2 представлены расчетные значения по потребности реагентов (готовой продукции) в сутки при их использовании на станции реагентной очистки при достижении разных остаточных концентраций общего фосфора. Заметим, что результаты получены лабораторным путём и могут отличаться от потребности применения реагента в производственных условиях.

Таблица 2 – Потребность реагентов (готовой продукции) в сутки при достижении разных остаточных концентраций общего фосфора

Производитель (поставщик)	Реагенты (условные обозначения)	Потребность реагента (готовой продукции) в сутки при расходе сточных вод 80 000 м ³ по снижению концентраций общего фосфора с начальных до остаточных значений, мг/дм ³			
		с 4,0 до 3,5	с 3,5 до 2,0	с 2,0 до 1,5	с 1,5 до 0,5
ЧТУП «ВЕГЛО-СТАЛ» производства КЕМИПОЛ	Водный раствор хлорного железа (III) PIX111/ FeCl ₃	0,41 м ³ 0,6 т	1,2 м ³ 1,7 т	1,6 м ³ 2,3 т	4,3 м ³ 5,9 т
ЧТУП «ВЕГЛО-СТАЛ» производства КЕМИПОЛ	Водный раствор сернокислого железа (III) PIX113/ Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,5 м ³ 0,7 т	1,5 м ³ 2,3 т	2,0 м ³ 3,0 т	5,3 м ³ 8,0 т

Заключение. В результате проведенных исследований получены дозы реагентов, которые можно рекомендовать к применению при удалении фосфорных соединений из сточных вод:

- для хлорного железа (III) PIX 111...20 мл/м³;
- для сернокислого железа (III) PIX 113...50 мл/м³ по товарному продукту.

Определена эффективность воздействия различных типов железосодержащих коагулянтов в лабораторных условиях на удаление фосфора для различных точек их ввода по технологической схеме обработки сточных вод. Также можно сделать вывод о том, что окончательный выбор поставщика хлорного железа необходимо определять с учетом предлагаемой стоимости реагента и способа его доставки на станцию аэрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод в сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М. : Акварос, 2003.
2. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2011.
3. Мишуков, Б.Г. Удаление азота и фосфора в очистных сооружениях канализации / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьёва // Вода и экология. Проблемы и решения. – СПб. : Водопроект-Гидрокоммунводоканал, 2004. – Приложение к журналу.
4. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : ТКП 17.06-08-2012(02120). – Минск : РУП ЦНИИКИВР, 2012.
5. Ющенко, В.Д. Реагентная обработка сточных вод сернокислым алюминием для удаления фосфорных соединений / В.Д. Ющенко, А.В. Галузо // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. – Брест, 2016.
6. Ющенко, В.Д. Характеристика и выбор реагентов для удаления соединений фосфора из сточных вод / В.Д. Ющенко, А.В. Галузо // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16. – С. 121–125.
7. Хенце, М. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы : пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. – М. : Мир, 2009.

Поступила 04.08.2016

THE REMOVING OF PHOSPHORUS COMPOUNDS FROM WASTEWATER CHEMICAL TREATMENT OF IRON-COAGULANTS

V. YUSHCHENKO, A. GALUZO

The question of the removal of phosphorus compounds from wastewater chemical treatment of iron-coagulants is investigated. The characteristic of the reagent kinds and types of products supplied by different vendors is presented. Based on the analysis of the results obtained for the reagents recommended dose of ferric (III) sulfate and iron (III) for salable product are recommended. The point of entry of reagents flowsheet wastewater treatment aeration station UE "Vitebskvodokanal" are determined. Methods of research and the experiments are elaborated.

Keywords: waste water, phosphorus compounds, chemical treatment of iron-coagulant dose of reagents, the insertion point.