

Список цитированных источников

1. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полешук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.
2. Цап, К. В. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках / К. В. Цап, А. И Морозова // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 22–23 апреля 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека и [др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 249 с.
3. Денисов, А. А. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод / А. А. Денисов. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1989. – 43 с.
4. Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации / Минжилкомхоз РСФСР, Минводхоз СССР. – М. : Стройиздат, 1987. – 16 с.
5. Новикова, О. К. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие / О. К. Новикова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 206 с.
6. Харьковина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харьковина. – Волгоград : Панорама, 2015. – 433 с.
7. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: Экологические нормы и правила РБ: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017: утв. пост. Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т.
8. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод : сборник статей региональной научно-технической конференции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол. : С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

УДК 628.35

Каперейко Д. В., Морозова А. И.

Научные руководители: ст. преподаватель Акулич Т. И.;

к. т. н. Андрюк С. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач при очистке сточных вод является удаление биогенных элементов. Повышенное содержание азота и фосфора в воде водных объектов приводит к их эвтрофикации. При этом фосфор оказывает преобладающее воздействие на цветение водных объектов.

В результате очистки сточных вод биологическим методом эффективность по фосфору составляет 78–80 % [1]. При этом процесс биологической очистки очень чувствительный и нестабильный, его сложно организовать при совмещении с процессами нитрификации и денитрификации [2, 3]. Применение химического удаления фосфора позволяет снижать его содержание на 95 % (до 0,5 мг/дм³).

Целью выполненных научных исследований стало установление зависимости эффекта дефосфотации сточных вод от дозы реагента при использовании минеральных реагентов с учетом изменения условий среды. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) изучить теоретические основы реагентного удаления фосфора;
- 2) изучить кинетику процесса химической дефосфотации сточных вод путем проведения исследований по подбору оптимальной дозы реагентов в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора (соотношения Me:P);
- 3) провести исследование процесса дефосфотации при различных значениях pH и температуры.

Исследование процесса реагентного удаления фосфоросточных вод проводилось на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены с учетом данных по эксплуатации действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста [4].

При проведении исследований использовались методики определения фосфатов, температуры и pH сточных вод, технологические и математические методы с учетом действующих ТНПА.

Сущность реагентного метода дефосфатирования. Применяемые реагенты, их дозы

Сущность метода *химического удаления фосфора* из сточных вод заключается в добавлении реагентов, образовании и осаждении нерастворенных соединений фосфора и вывода их с осадком.

В качестве реагентов могут применяться:

- соединения кальция (оксид кальция CaO и гидроксид кальция Ca(OH)₂);
- соединения алюминия (сульфат алюминия Al₂(SO₄)₃·18H₂O, оксихлорид алюминия Al₂(OH)₅Cl и др.);
- соединения железа (хлорид железа (III) FeCl₃·6H₂O, сульфат железа (II) FeSO₄·7H₂O и др.);
- природные материалы (глины, известняк, цеолит, доломит и др.);
- отходы производства (доменный шлак, осадок водопроводных очистных сооружений).

Применение **солей алюминия** в качестве реагентов для химического удаления фосфора описывается следующей реакцией:



Требуемое количество алюминия на грамм фосфора может также быть получено из молярного отношения Al:P следующим образом: молярное соотношение Al к P – 1:1, весовое отношение Al:P = 27:31 = 0,87:1.

Применение **солей железа** в качестве реагентов для химического удаления фосфора описывается следующей реакцией:



Молярное соотношение Fe:P=1:1, весовое отношение Fe:P = 56:31 = 1,8:1.

Однако на практике для достижения более высокого эффекта дефосфотации приходится использовать большую дозу реагента, чем полученную по стехиометрическим соотношениям. При расчете это отображается коэффициентом β -фактор, входящем в формулу дозы реагента.

Доза реагента (по металлу) X_{Me} , мг/дм³, рассчитывается из выражения:

$$X_{Me} = \beta \cdot \frac{X_{P, Prec} \cdot AM_{Me}}{AM_P}, \text{ мг / дм}^3, \quad (3)$$

где $X_{P, Prec}$ – количество фосфора, которое необходимо удалить за счет химического осаждения, мг/дм³;

AM_{Me} – атомная масса металла, входящего в состав реагента, мг/моль, для Al – 27 мг/моль, для Fe – 56 мг/моль;

AM_P – атомная масса фосфора, мг/моль, принимается 31 мг/моль;

β -фактор – коэффициент, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, над расчетным стехиометрическим количеством.

Доза реагента (по чистому реагенту) $D_{реарг}$, мг/дм³, рассчитывается:

$$D_{реарг} = \frac{X_{Me} \cdot MM_{реарг}}{MM_{Me}}, \text{ мг / дм}^3, \quad (4)$$

где $MM_{реарг}$ – молекулярная масса реагента, мг/моль, для сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ – 666 мг/моль, для хлорида железа (III) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – 270,5 мг/моль, для сульфата железа (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ – 562 мг/моль, для оксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ – 174,5 мг/моль;

MM_{Me} – молекулярная масса металла, входящего в состав реагента, мг/моль.

На процесс химического удаления фосфора влияет ряд факторов, определяющими являются стехиометрическая доза реагента; β -фактор; значение рН-среды; температура среды; метод осаждения; реализация процессов разделения фосфорного осадка и водной среды [5].

Исследование эффективности применения минеральных реагентов для дефосфотации воды при различных условиях протекания процесса

В рамках экспериментальных исследований процесса дефосфотации сточных вод осуществлялся подбор оптимальной дозы реагента с учетом значения рН и температуры обрабатываемой воды, а также β -фактора, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфоранад расчетным стехиометрическим количеством.

При проведении исследований в качестве имитата загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой фосфатов в количестве 10 мг/дм³. Обработка воды осуществлялась реагентом Аква Аурат 30 (Al_2O_3 30 %) в виде 1 %-го раствора.

В таблице 1 представлены результаты влияния дозы вводимого реагента на остаточную концентрацию фосфатов при разных значениях рН при температуре сточной воды 10 °С.

Таблица 1 – Влияние рН и дозы вводимого реагента эффект удаления фосфатов при температуре 10 °С

Водородный показатель рН	Остаточная концентрация фосфатов (C_p) и эффект удаления (\mathcal{E}_p) при β -факторе					
	1		1,5		2,0	
	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %
6,5	3,20	68	2,11	78,9	1,22	87,8
7,5	3,12	68,8	1,98	80,2	1,46	85,4
8,5	3,00	70	2,00	80	1,55	84,5

Также опытным путем устанавливалось влияние дозы вводимого реагента на остаточную концентрацию фосфатов при разных значениях температуры при рН сточной воды 6,5. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние температуры и дозы вводимого реагента эффект удаления фосфатов при рН 6,5

Температура, °С	Остаточная концентрация фосфатов (C_p) и эффект удаления (\mathcal{E}_p) при β -факторе					
	1		1,5		2,0	
	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %
10	3,20	68	2,11	78,9	1,22	87,8
15	2,94	70,6	1,85	81,5	0,98	90,2
20	2,46	75,4	1,74	82,6	0,85	91,5

Графики зависимостей представлены на рисунках 1, 2.

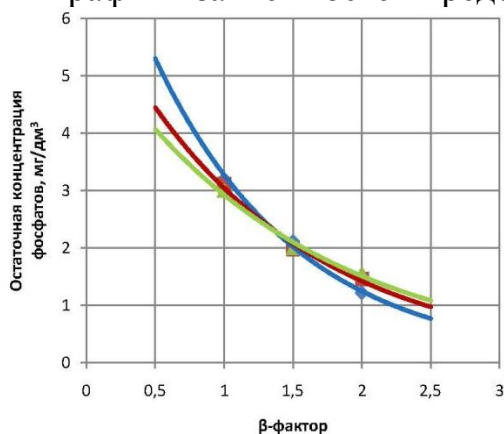


Рисунок 1 – Зависимость остаточной концентрации фосфатов от β -фактора при различном параметре рН и температуре воды 10 °С

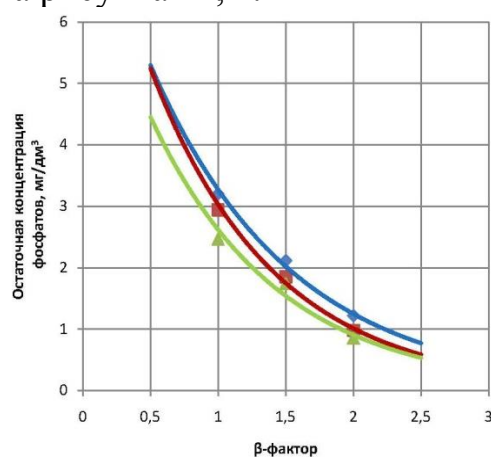


Рисунок 2 – Зависимость остаточной концентрации фосфатов от β -фактора при различной температуре воды и параметре рН 6,5

Заключение

По результатам экспериментальных и расчетных данных установлены зависимости остаточной концентрации фосфатов от дозы алюминийсодержащего реагента при различных параметрах среды.

При проведении исследований по обработке модельного раствора с концентрацией фосфатов 10 мг/дм³ реагентом Аква Аурат 30 установлено:

– с увеличением дозы коагулянта (увеличение значения β -фактора) достигается эффект очистки от 68 до 91,5 %;

– максимальный эффект удаления фосфатов находится при рН в пределах 6,5–7,5;

– эффективность дефосфатации с ростом температуры увеличивается, максимальный эффект имеет место при температуре 20 °С.

Для установления оптимальных значений параметров реагентной дефосфатации необходимо разработать математическую модель данного процесса, которая позволит подобрать оптимальную дозу коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора (β -фактор) при различных значениях водородного показателя рН и температуры обрабатываемой среды.

Список цитированных источников

1. Мешенгиссер, Ю. М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод / Ю. М. Мешенгиссер. – М. : ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. – 211 с.

2. Цап, К. В. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках / К. В. Цап, А. И. Морозова // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 22–23 апреля 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека и [др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 249 с.

3. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полешук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.

4. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод : сборник статей рег. научно-технической конференции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол.: С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

5. Морозова, А. И. Математическое описание процесса реагентного удаления фосфора на действующих очистных сооружениях / А. И. Морозова, И. В. Зубрицкая // Сборник тезисов научной студенческой конференции «Неделя науки – 2021» / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. : Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 68–69.

УДК 628.161.2, УДК 628.147.2

Хведченя А. А., Мацкович О. А.

Научные руководители: к. т. н. Андreyuk С. В.;

ст. преподаватель Наумчик Г. О.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

Введение

Во многих регионах РБ содержание железа в воде для большинства источников водоснабжения превышает допустимое рекомендациями СанПиН 2.1.4.1074-01. Ограничение на содержание железа в питьевой воде имеет ПДК, равным