

и г. Жабинки, а так же «водохранилище Визжар» – плохим экологическим статусом, для улучшения их состояния необходимы меры по реабилитации. Пруд «Мухина яма» г. Жабинки обладает удовлетворительным экологическим состоянием, однако для поддержания и улучшения его статуса необходимо проводить профилактические меры.

Список цитированных источников

1. Кириченко, Л. А. Эколого-гидрохимическое состояние водоемов урботерриторий юго-запада Беларуси в зимний период / Л. А. Кириченко [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология – С. 80–82.

2. Кириченко, Л. А. Проблемы мониторинга малых водных объектов урбанизированных территорий / Л. А. Кириченко // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; под ред. Р. А. Другомилова. – Горки : РПЦ «Печатник», 2019. – С. 67–68.

3. Кириченко, Л. А. Состояние экологического статуса водоемов бассейна р. Западный Буг / Л. А. Кириченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 115: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология – С. 78–81.

4. Ecological condition of water bodies of the south-west of Belarus in spring 2020. Larysa Kirichenko, Aliaksandr Volchak, Anna Golovach. E3S Web Conf. 212 01007 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021201007

5. Кириченко, Л. А. Об экологическом состоянии водоемов урботерриторий юго-запада Беларуси в весенний период 2020 г. / Л. А. Кириченко, А. А. Волчек // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках : материалы международной научно-практической очно-заочной конференции, посвященной 100-летию Белорусского государственного университета, 60-летию кафедры физической географии и образовательных технологий, 100-летию со дня рождения профессора О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорусский государственный университет ; под общ. ред. П. С. Лопуха ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 412–422.

6. Кириченко, Л. А. Оценка экологического состояния водоемов рекреационной зоны г. Бреста / Л. А. Кириченко, А. А. Волчек // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – С. 379–382.

7 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов: ГОСТ 17.1.2.04–77. – 24 с.

УДК 628.35

Морозова А. И., Зубрицкая И. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Андреюк С. В., Акулич Т. И.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАГЕНТНОГО УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Введение. В настоящее время одним из главных направлений в области очистки сточных вод является удаление биогенных элементов – соединений азота и фосфора, приводящих к эвтрофикации водных объектов [1].

Удаление азота и фосфора биологическим методом взаимосвязаны. В силу достаточно жестких требований по содержанию фосфора в очищенной воде приоритеты перемещаются в сторону удаления фосфора, который в свою очередь в большей степени является усугубляющим фактором процесса эвтрофикации [2].

В результате очистки сточных вод биологическим методом эффективность по фосфору составляет 78–80 %. При этом процесс биологической очистки очень чувствительный и нестабильный. 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 различных видов реагентов пробным коагулированием 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 рН и температуры.

Исследование процесса реагентного удаления фосфора сточных 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 сооружений канализации г. Бреста [3].

При проведении исследований использовалась методика определения фосфатов 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 сульфата алюминия Al₂(SO₄)₃·18H₂O в качестве реагентов для химического удаления фосфора описывается следующей реакцией:



Требуемое количество сульфата 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. Квасцы содержат 8,1 % Al. Масса Al₂(SO₄)₃·18H₂O, требуемая на грамм P = 0,87/0,081 = 10,74 грамма.

Для хлорида железа (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ уравнение реакции имеет вид:



Молярное соотношение $\text{Fe}:\text{P} = 1:1$, весовое отношение $\text{Fe}:\text{P} = 56:31 = 1,8:1$. Хлорид железа содержит 20,67 % растворимого Fe. Масса $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, требуемая на грамм P = $1,8/0,2067 = 8,7$ грамма.

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:

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

где $X_{\text{P, Prec}}$ – 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) $D_{\text{реаг}}$, мг/дм³, рассчитывается:

$$D_{\text{реаг.}} = \frac{X_{\text{Me}} \cdot \text{MM}_{\text{реаг.}}}{\text{MM}_{\text{Me}}}, \text{ мг / дм}^3, \quad (4)$$

где $\text{MM}_{\text{реаг.}}$ – молекулярная масса реагента, мг/моль, для сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 666 мг/моль, для хлорида железа (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 270,5 мг/моль, для сульфата железа (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 562 мг/моль, для оксихлорида алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ – 174,5 мг/моль;

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

Математическое моделирование процессов дефосфотации. Изучение механизмов сложных процессов и свойств многокомпонентных систем, а также их оптимизация в современной математической теории позволяют смоделировать процессы очистки сточных вод на основе влияющих и определяющих факторов. Для химического удаления фосфора к данным факторам можно отнести стехиометрическую дозу реагента; β -фактор; значение pH среды; температуру среды; метод осаждения; реализацию процессов разделения фосфорного осадка и водной среды.

Планированием многофакторного эксперимента осуществляется выбор числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

В рамках экспериментальных исследований в качестве модели процесса дефосфотации использовали выражение для определения оптимальных значений параметров технологического процесса коагуляции фосфатов сточных вод:

$$\mathcal{E} = f(C_{\text{реаг. (Me)}} : C_{\text{исх. (P)}}, \text{pH}, t), \quad (5)$$

где \mathcal{E} – эффект снижения концентрации фосфора, %;

$C_{\text{реаг. (Me)}} : C_{\text{исх. (P)}}$ – отношение концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора (β -фактор);

pH – водородный показатель;

t – температура сточной воды, °C.

Оценка эффективности применения реагентов для дефосфотации воды методом пробного коагулирования. Экспериментальные исследования по подбору оптимальной дозы реагента с учетом значения pH и температуры обрабатываемой воды, а также оптимального соотношения: реагент по металлу / фосфор, проводили на основе опыта использования реагентного удаления фосфора на Брестских канализационных очистных сооружениях.

Таблица 1 – Результаты пробного коагулирования

№ п/п	β -фактор	Доза Аква Аурат 30, мг/дм ³	Остаточная концентрация фосфатов, мг/дм ³	Эффект очистки, %
1	1	8,7	3,8	62
2	1,5	13,05	2,56	74,4
3	2,5	21,75	1,85	81,5
4	3,5	30,45	0,65	93,5

В таблице 1 представлены результаты пробного коагулирования при обработке сточных вод 1 %-м раствором коагулянта Аква Аурат 30 (Al₂O₃ 30 %) при начальной концентрации фосфатов 10 мг/дм³.

Положительную динамику очистки получили также в результате пробного коагулирования с использованием реагента сульфата железа (III) Fe₂(SO₄)₃·7H₂O (доза 1 %-го раствора варьировалась от 18 до 63 мг/дм³). Графики зависимостей представлены на рисунках 1, 2.

Заключение. По результатам экспериментальных и расчетных данных пробным коагулированием установлена зависимость эффекта очистки сточных вод от дозы коагулянта при использовании различных видов реагентов для химической дефосфотации сточных вод с учетом практического применения реагентного метода дефосфатирования на действующих очистных сооружениях г. Бреста.

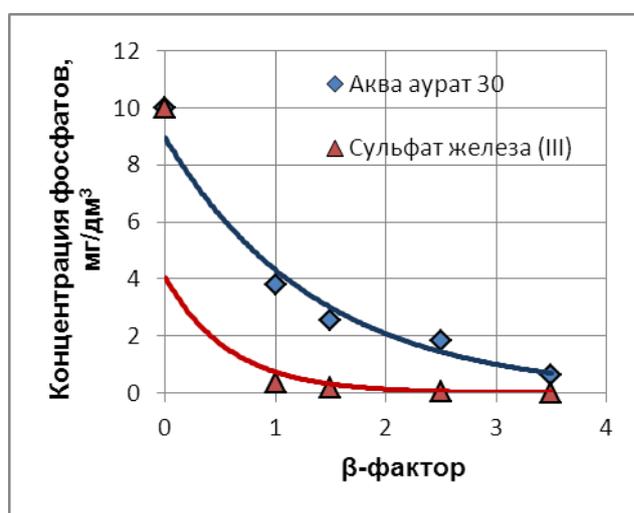
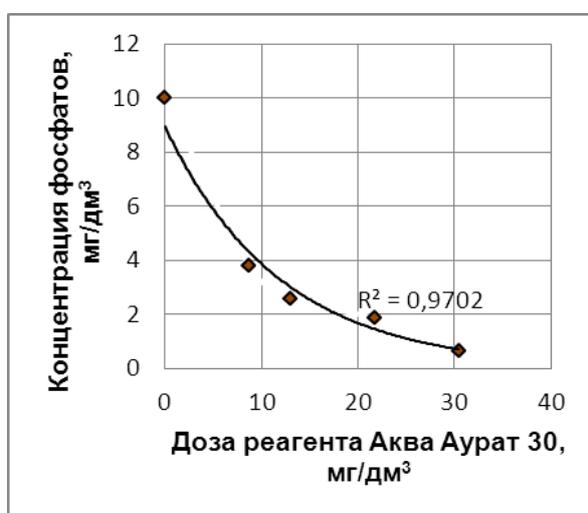


Рисунок 2 – Зависимость остаточной концентрации фосфатов от β -фактора

Получены зависимости эффекта очистки сточных вод от дозы коагулянта при начальной концентрации фосфатов 10 мг/дм³; установлено:

– с увеличением дозы коагулянта достигается эффект очистки от 62 до 94 % (для реагента Аква АураТ 30), до 99,8 % (для сульфата железа (III));

– на оптимальные значения дозы реагента влияют значения рН в диапазоне от 4 до 11, значения температуры от 10 до 40 °С, β-фактор.

Согласно разработанной методике последующие экспериментальные исследования планируется направить на получение уравнений регрессии в виде многочлена второй степени от трех переменных, определяющим зависимость остаточной концентрации фосфатов при химической дефосфотации сточных вод от соотношения Me:P, с учетом изменения значений рН, температуры сточных вод, а также выбора точки ввода реагента на технологической схеме очистки.

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. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. Экологические нормы и правила Республики Беларусь: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017: Утв. пост. Мин. природн. рес. и охр. окр. среды РБ от 18 июля 2017 г. № 5-Г.

3. 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.

УДК 697.941

Огиевич Н. В.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

СРАВНЕНИЕ СХЕМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА

Для нормального функционирования кондиционирования необходимо поддерживать определенный воздухообмен в помещении, а также обеспечивать оптимальные параметры воздуха, то есть подавать определенное количество воздуха и одновременно удалять. Различают два способа воздухораспределения: смешивание и вытеснение [1]. При вентиляции вытеснением воздух подается на нижний уровень помещения и течет в рабочую зону с малой скоростью. Этот воздух должен быть несколько холоднее, чем воздух помещения, чтобы работал принцип вытеснения. Основное преимущество – это попадание воздуха в область дыхания незагрязненным. При вентиляции смешиванием подаваемый воздух поступает в рабочую зону уже смешанным с воздухом помещения.

Рассматриваем помещение объемом 469,6 м³ и площадью 117,4 м² со свободной планировкой, рассчитанное на 40 человек, находящееся в городе Жлобине. С целью поддержания заданного микроклимата в рабочем помещении (весь этаж) в программе Autodesk Revit была запроектирована система кондиционирования (рис. 1), в состав которой входят: воздухопроводы, воздухораспределители приточные и вытяжные, приточно-вытяжная установка. На рисунке 2 показаны модели приточно-вытяжной системы.