

Для сравнения вариантов примем схему 2 как наиболее экономичную. В результате проведения сравнительного анализа стоимости строительства по каждой из схем составлена таблица 3.

Таблица 3 – Значения показателей по сравниваемым вариантам

Трубы с низким давлением (схема 1)		Стоимость м.п. без НДС	Итого, бел. руб.	Трубы со средним давлением (схема 2)		Стоимость м.п. без НДС	Итого, бел. руб.
Диаметры труб, мм	Общая длина, м			Диаметры труб, мм	Общая длина, м		
57x3,0	33	4	132	20x1,1	421	0,89	374,69
60x3,0	242	4,3	1040,6	25x1,4	268	1,12	300,16
70x3,0	176	6,2	1091,2	32x1,8	357	1,4	499,8
76x3,0	46	7,5	345	Стоимость РД (2 регулятора на дом), бел.руб.		2400*9	21600
83x3,0	341	8,8	3000,8			∑	22774,65
89x3,0	60	10	600				
108x4,0	64	14	896				
Стоимость ШРП, бел. руб		25000*1	25000				
		∑	32105,6				

### Вывод

Наиболее экономичной является схема 2 вследствие меньших затрат на материалы. Трубопроводы малых диаметры газопроводов дают возможность применять полиэтиленовые трубы, которые сокращают продолжительность монтажных работ и более надежны из-за минимального количества сварных соединений.

### Список цитированных источников

1. Сальникова, С. Р. Методические указания для курсового проектирования по дисциплине «Газоснабжение» на тему «Газоснабжение района города» / С. Р. Сальникова. – Брест, 2015 – 68 с.
2. Сальникова, С. Р. Лекционный курс по теплоснабжению / С. Р. Сальникова. – Брест, 2021.
3. Комина, Г. П. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов: учебное пособие по дисциплине «Газоснабжение» для студентов специальности 270109 – теплогазоснабжение и вентиляция / Г. П. Комина, А. О. Прошутинский; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 148 с.

**УДК 628.356**

**Климец Е. С., Видиш Т. Д.**

**Научный руководитель: к. т. н., доцент Житенёв Б. Н.,**

**к. т. н., доцент Сенчук Д. Д.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БРИКЕТИРОВАННОГО ТОРФА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

Поскольку развитие промышленности не стоит на месте, количество выбросов загрязнений в окружающую среду постоянно растет. Гальванические покрытия применяются практически во всех отраслях промышленности: машиностроении, приборостроении, производстве печатных плат и т. д. Несмотря на

существенные различия в технологии обработки поверхности различных изделий, все они создают в процессе эксплуатации сточные воды сложного состава, которые, при недостаточной степени очистки, являются источниками загрязнения водной среды. Основным токсичным загрязнителем сточных вод гальванического производства являются тяжелые металлы, такие как хром, цинк, никель, медь, железо и др.

Сброс таких вод в коммунальную систему водоотведения приводит к неизбежному транзиту в водотоки – приемники сточных вод, поскольку на сооружениях биологической очистки эффект удаления составляет от 20 до 65 % в зависимости от природы катиона. Для очистки таких вод применяются реагентные, электрохимические и ионообменные методы [1].

В настоящее время ведутся активные исследования по методам очистки сточных вод от ионов металлов с применением новых композиционных сорбентов, совершенствованию ионообменной очистке, осаждению, например, в виде сульфидов или оксалатов. При этом одним из перспективных направлений является применение технологий сорбционной очистки сточных вод с использованием торфа. Наличие в Республике Беларусь значительных запасов торфа создает реальные предпосылки для выпуска дешевых, экологически безопасных сорбентов на основе модифицированного брикетированного торфа [2]. Настоящая работа посвящена исследованию сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, на примере ионов железа.

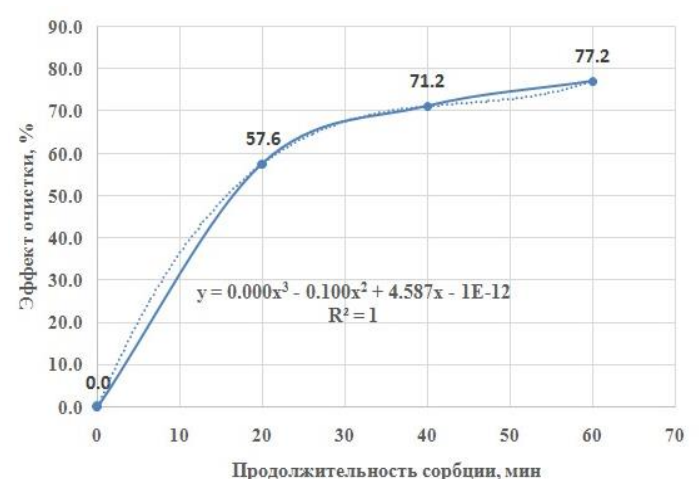
В качестве сорбента использовался торфобрикет торфобрикетного завода “Гатча-Осовское”, расположенного в Жабинковском районе Брестской области. Брикет механическим способом измельчали, затем просеивали через набор сит. В результате были получены образцы крупностью <1 мм, 1–2 мм, 2–3 мм, 3–4 мм, 4–5 мм. В качестве ионов тяжелых металлов использовался ион железа (III), концентрация в исходном имитаторе сточных вод составляла 10 мг/дм<sup>3</sup>. В стакан помещали 100 мл раствора и добавляли 10 г гранул торфа. Затем суспензию перемешивали с помощью механических мешалок в течении 20, 40, 60 минут.

Затем растворы фильтровали через бумажный фильтр и определяли остаточное содержание ионов железа (III). Исследования проводили на спектрофотометре калибровочным методом. Для этого готовили 7 стандартных растворов, содержащих 0–0,1–0,2–0,3–0,4–0,6–0,8–1 мг/дм<sup>3</sup> железа соответственно [3]. В каждый раствор вводили одинаковое количество соляной кислоты, персульфата аммония и роданида калия, что необходимо для стабилизации кроваво-красной окраски комплексного соединения. Оптическую плотность градуировочных и исследуемых растворов определяли при длине волны 500 нм в кювете с толщиной просвечивающего слоя 10 мл. После чего строился калибровочный график зависимости оптической плотности от концентрации железа в миллиграммах на дм<sup>3</sup>. Измерив оптическую плотность исследуемого раствора, по калибровочному графику находили соответствующую ей величину железа.

Эффект очистки воды от ионов железа рассчитывался по формуле:

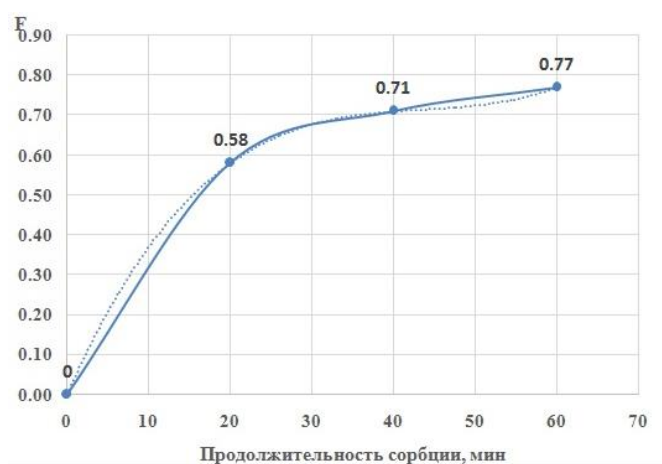
$$\mathcal{E} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100, \% . \quad (1)$$

$C_1, C_2$  – соответственно массовая концентрация ионов железа до и после опыта.



**Рисунок 1 – Зависимость эффекта сорбции от продолжительности контакта, мин.**

Из рисунка 1 видно, что наиболее эффективно процесс сорбции ионов железа брикетированным торфом протекает в течении 20 минут контакта, затем он замедляется. В течение 60 минут удаляется до 77–80 % ионов железа и практически наступает сорбционное равновесие. Степень достижения равновесия  $F$  показывает, какая часть общего количества вещества сорбируется к данному моменту времени и для брикетированного торфа она составила около  $F = 0.8$  при продолжительности контакта 60 минут (рис. 2) [1].



**Рисунок 2 – Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы железа**

Кратность извлечения – отношение исходной концентрации к равновесной составила для ионов железа 4,4.

Адсорбционная емкость (рис. 3) брикетированного торфа рассчитывалась по уравнению:

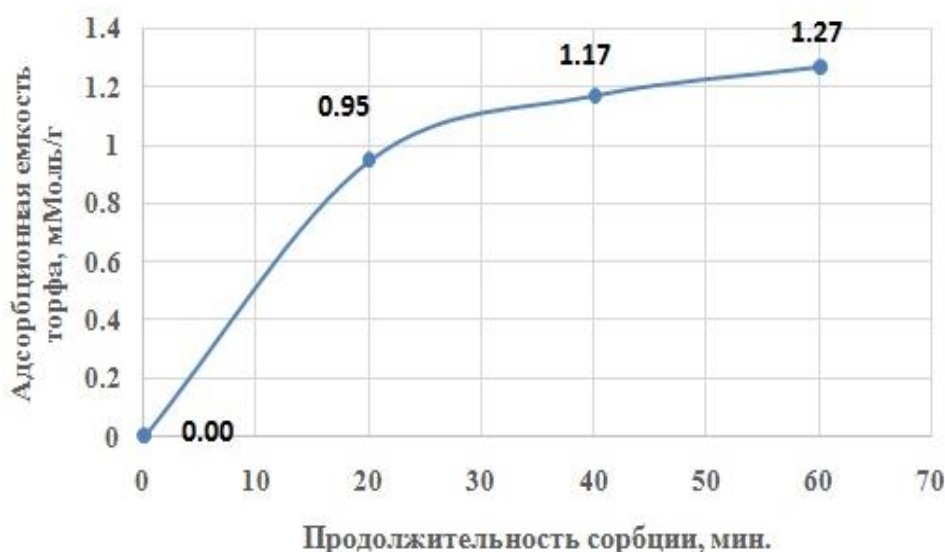
$$A = (C_1 - C_{равн}) \cdot \frac{V}{m}, \quad (2)$$

где  $V$  – Объем раствора,  $дм^3$ ;

$m$  – масса навески брикетированного торфа, г;

$C_1$  – исходная концентрация ионов железа в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{равн}}$  – равновесная концентрация ионов железа в растворе после сорбции, моль/дм<sup>3</sup>.



**Рисунок 3 – Кинетическая кривая сорбции ионов железа брикетированным торфом**

Проведенные исследования процессов сорбции брикетированным торфом ионов железа  $Fe^{+3}$  позволили установить, что эффективность сорбции снижается с увеличением крупности зерен брикетированного торфа; процесс сорбции протекает наиболее интенсивно в течении первых 20-30 минут; степень достижения равновесия для  $Fe^{+3}$  составила  $F = 0,8$  при продолжительности 60 мин. **Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов  $Fe^{+3}$ .**

Для извлечения ионов железа предлагается использовать технологию, разработанную на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов профессором кафедры Житенёвым Б. Н. и ассистентом Сенчук Д. Д., которая включает следующие операции:

1. Грануляция торфобрикетов:
  - Измельчение в молотковой дробилке
  - Рассеивание на фракции во вращающихся барабанных ситах.
2. Подготовка фильтрующих кассет:
  - Загрузка гранул в кассеты (фильтрующие мешки, помещенные в сетчатые цилиндры).
  - Замачивание кассет.
3. Загрузка кассет в фильтры.
4. Фильтр цикл до достижения в фильтрате ПДК, установленной для извлекаемого иона.
5. Извлечение кассет из фильтров, транспортировка на площадки для подсушивания.
6. Сжигание торфа (способ сжигания должен исключать улетучивание извлеченных загрязнений).
7. Утилизация золы с извлечением металлов.

#### **Список цитированных источников**

1. Житенёв, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук // Вестник Брестского государственного технического университета. – БрГТУ. – 2019, № 2 (104): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 61–65.
2. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – Вып. 11. – С. 1534–1545.
3. Строкач, П. П. Практикум по технологии очистки природных вод / П. П. Строкач, Л. А. Кульский – М. : Высш. шк., 1980. – С.98–99.

УДК 628.356

*Ковалевич К. А., Багновец В. Ю.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Житенёв Б. Н. ,  
к. т. н., доцент Рыбак Е. С.*

### **УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ОСАДКАМИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ**

Сброс недостаточно очищенных сточных вод от биогенных элементов в основном фосфора и азота в водоемы сопровождается усилением роста водорослей (цветением), гибелью их в результате естественных процессов старения, разложением с потреблением кислорода и минерализацией с высвобождением биогенных элементов. В совокупности этот процесс получил название эвтрофикация. В последние годы изучением этого негативного явления занимаются ученые разных стран. Так в работе [1] приводятся результаты исследований, связанных с проблемой эвтрофикации озера, в которое фосфаты поступают преимущественно в результате смывов с сельхозполей и накапливаются в донных отложениях (ДО), при этом процессы сорбции/десорбции протекают одновременно. Установлено, что значительная часть соединений фосфора представлена частицами различной крупности, при этом с увеличением размеров частиц снижаются сорбционная емкость ДО, скорость сорбции, а также значения равновесных концентраций, при этом скорость десорбции возрастает. Приводятся константы скоростей процессов. В [2] сообщается о расширении территорий сельхозугодий, на которых применяются в том числе фосфорные удобрения, в связи с этим проводился мониторинг речной воды, в которую со смывами поступали фосфаты. Установлено, что последние присутствуют как в растворенной форме, так и в виде частиц, причем в первом варианте фосфаты в большей степени стимулируют процессы эвтрофикации. На базе анализа полученных данных определен предел поступления в речную воду фосфатов, при его превышении риск эвтрофикации становится весьма значительным. Наряду с эвтрофикацией недостаточно очищенные сточные воды могут загрязнять и подземные воды, так в исследованиях [3] отмечается: очистные сооружения находились в зоне карстовых структур и СВ фильтровались в грунтовые воды (ГВ). Эти ГВ отбирались из артезианских скважин (обследованы 23 частные скважины), кроме того обследовались родники, образованные этими ГВ, и карстовые полости. Установлено, что ГВ содержали энтеробактерии, а также другие виды организмов, в их состав входили ионы натрия, хлориды, биогенные элементы, фосфаты, нитраты и др. Происхождение большинства компонентов имело ан-