

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И  
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Сборник научных статей  
Международной научно-практической конференции  
26-27 октября 2023**

Брест 2023

УДК 626:502.1(08)  
ББК 38.77:20.18я431  
В62

*Рецензенты:*

Тур В.В. – доктор технических наук, профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет» (Брест, Беларусь);

Левкевич В.Е. – д.т.н., профессор, Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь)

*Редакционная коллегия:*

Председатель: Волчек А.А. – д.г.н., профессор, профессор кафедры природообустройства БрГТУ (Брест, Беларусь).

Зам. председателя: Мешик О.П. – к.т.н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии БрГТУ (Брест, Беларусь).

Андреюк С.В. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ (Брест, Беларусь).

*Члены редакционной коллегии:*

Акулова О.А. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики БрГТУ (Брест, Беларусь).

Борсук Н.Н. – к.ф.н., доцент, доцент кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций БрГТУ (Брест, Беларусь).

Волкова Г.А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ (Брест, Беларусь).

Матюх С.А. – старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики БрГТУ (Брест, Беларусь).

Новосельцев В.Г. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ (Брест, Беларусь).

Тур Э.А. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии БрГТУ (Брест, Беларусь).

Усс Н.В. – ведущий специалист по сопровождению учебного процесса БрГТУ (Брест, Беларусь).

Шпока Д.А. – ведущий специалист по организации учебного процесса БрГТУ (Брест, Беларусь).

**В62 Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды:** сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26-27 октября 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А.А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А.А. Волчек, О.П. Мешик, С.В. Андреюк. – Брест: БрГТУ, 2023. – 159 с.

**ISBN 978-985--493-607-9**

В сборнике представлены статьи, подготовленные участниками Международной научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды», которая состоялась 26-27 октября 2023 г. на факультете инженерных систем и экологии БрГТУ.

УДК 626:502.1(08)  
ББК 38.77:20.18я431

ISBN 978-985-493-607-9

© Издательство БрГТУ, 2023

## **СЕКЦИЯ 1**

# **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОДОПОДГОТОВКИ И ВОДООЧИСТКИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

*С. В. Андреюк<sup>1</sup>, Б. Н. Житенев<sup>2</sup>, Т. И. Акулич<sup>3</sup>, Д. В. Каперейко<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, БрГТУ, Брест, Беларусь, svandreyuk@g.bstu.by

<sup>2</sup>Профессор, БрГТУ, Брест, Беларусь, vvit@bstu.by

<sup>3</sup>Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, tigol1976@mail.ru

<sup>4</sup>Студент, БрГТУ, Брест, Беларусь, darkapereyko@mail.ru

### Аннотация

Изучение механизмов сложных процессов и свойств многокомпонентных систем, а также их оптимизация в современной математической теории позволяют смоделировать процессы водоподготовки и водоочистки на основе влияющих и определяющих факторов. Планированием многофакторного эксперимента осуществляется выбор числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Проведен анализ публикаций и достижений по теме исследования. В статье содержатся условия выбора методики планирования многофакторного эксперимента на примере обесцвечивания поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием и дефосфотации сточных вод реагентным методом. По результатам трехфакторного рототабельного эксперимента получены уравнения регрессии второго порядка, которые являются экспериментально-статистическими моделями процессов водоподготовки и водоочистки в системах водоснабжения и водоотведения.

**Ключевые слова:** водоподготовка, водоочистка, моделирование, многофакторный эксперимент, коагулирование, дефосфотация.

## MODELING OF WATER PREPARATION AND WATER PURIFICATION PROCESSES IN WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS

*S. V. Andreyuk<sup>1</sup>, B. N. Zhitenev<sup>2</sup>, T. I. Akulich<sup>3</sup>, D. V. Kapereiko<sup>4</sup>*

### Abstract

The study of the mechanisms of complex processes and the properties of multi-component systems, as well as their optimization in modern mathematical theory, makes it possible to model the processes of water treatment and purification based on influencing and determining factors. The planning of a multifactorial experiment selects the number of experiments and the conditions for their implementation, neces-

sary to solve the problem with the required accuracy. The analysis of publications and achievements on the research topic was carried out. The article contains the conditions for choosing a methodology for planning a multifactorial experiment on the example of decolorization of surface waters by coagulation with preliminary ozonation and wastewater dephosphotation by the reagent method. Based on the results of a three-factor experiment, second-order regression equations were obtained, which are experimental-statistical models of water treatment and water purification processes in water supply and sanitation systems.

**Keywords:** water treatment, wastewater treatment, modeling, multifactorial experiment, coagulation, dephosphotation.

**Введение.** Решение большинства задач в химии и химической технологии подготовки воды природных источников связано с проведением сложных и дорогостоящих экспериментов. Отсюда понятно значение методов оптимального планирования эксперимента, позволяющих использовать математический аппарат не только на стадии обработки результатов измерений, но также и при подготовке и проведении опытов. Изучение механизмов сложных процессов и свойств многокомпонентных систем, а также их оптимизация в современной математической теории позволяют смоделировать процессы водоподготовки на основе влияющих и определяющих факторов.

Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований. Планированием многофакторного эксперимента называется процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Независимые, переменные величины, влияющие на процесс, принято называть факторами. Так в процессах очистки воды факторами могут быть: доза коагулянта, продолжительность процесса, скорость фильтрации, температура и т.п. Основное требование к факторам – управляемость. Под управляемостью понимается установление нужного значения фактора (уровня) и поддержание его в течение всего опыта. Кроме требования к управляемости выбранных факторов, есть еще несколько требований: для любой пары факторов должно выполняться условие совместимости; факторы должны быть независимыми, быть однозначными, непосредственно воздействовать на параметр оптимизации.

Протекание процесса количественно характеризуется одной или несколькими величинами, например, эффект очистки воды, остаточное содержание примеси (например, нитратов, органических соединений, обуславливающих цветность и окисляемость воды) и т.п. Такие величины называют функциями отклика. Математические методы оптимального планирования экспериментов позволяют получить математическую модель процесса даже при отсутствии данных о его механизме. Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов, принято называть экспериментально-статистическими. При использовании статистических методов планирования

эксперимента математическое описание представляется в виде полинома:  $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ , где  $Y$  – функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса), а  $X_1, X_2, X_3$  – влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса. При этом ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию: о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика; позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов; может служить основой для оптимизации процесса, его имитации.

В работах [1-5] приведены исследования по технологическому моделированию процессов водоподготовки в системах водоснабжения: представлен опыт оптимизации действующих сооружений на установке технологического моделирования процессов фильтрации; технологическое моделирование с целью очистки воды от соединений железа; математическое моделирование электро-мембранных процессов переработки природных вод; планирование многофакторного эксперимента на примере ионообменной очистки воды. Задача математического моделирования процессов очистки сточных вод рассматривается в работах [6-7].

На кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ целью выполненных экспериментальных исследований стало изучение влияющих факторов и условий моделирования процессов водоподготовки и водоочистки с получением экспериментально-статистических моделей для прогнозирования эффективности удаления загрязняющих примесей:

- при обесцвечивании поверхностных вод коагулированием;
- при ионообменной очистке подземных вод от нитратов;
- при реагентной дефосфотации сточных вод.

Процесс нахождения математической модели включал в себя: планирование эксперимента, проведение эксперимента на объекте исследований; проверка воспроизводимости эксперимента; получение математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии; проверка адекватности математического описания. Для нахождения области оптимума был произведен экспериментальный поиск и затем в оптимальной области осуществлен ротатабельный план второго порядка, при котором факторы варьировались на пяти уровнях. Проверка воспроизводимости опытов осуществлялась с помощью критерия Кохрена. Значимость коэффициентов регрессии определялась с учетом значения критерия Стьюдента. Адекватность зависимостей подтверждена по критерию Фишера при 5%-ном уровне значимости.

### **Обесцвечивание поверхностных вод для технического водоснабжения.**

Поверхностные воды являются более мягкими и слабоминерализованными по сравнению с подземными. Это выгодно отличает их при употреблении для технических целей, в которых накладываются ограничения на жесткость и солесодержание. Большое значение при получении обессоленной и умягченной воды имеет выбор предварительной очистки от органических примесей. Для этого,

как правило, используются реагентные методы. Одновременно эффективность коагулирования высокоцветных вод повышается с предварительной их обработкой окислителями.

В этой связи представляло интерес исследовать поверхностную воду р. Мухавец, которая является типичным представителем водотоков Юго-Западного региона Беларуси с целью изучения влияния дозы озона, коагулянта и флокулянта на эффективность удаления органических соединений, обуславливающих цветность и окисляемость воды. Был использован метод ротатбельного центрального композиционного планирования, основные характеристики плана которого приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Основные характеристики плана эксперимента по изучению удаления органических соединений, обуславливающих цветность и окисляемость воды

Факторы	Доза коагулянта $x_1$ , мг/дм <sup>3</sup>	Доза флокулянта, $x_2$ , , мг/дм <sup>3</sup>	Доза озона, $x_3$ , мг/дм <sup>3</sup>
Основной уровень	20	1	10
Интервал варьирования	10	0,5	5
Верхний уровень	30	1,5	15
Нижний уровень	20	0,5	5

В качестве коагулянта использовался  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$  химически чистый. По результатам спектрофотометрических исследований оценивался эффект снижения цветности воды. После реализации полного факторного эксперимента, опытов в звездных точках и центре плана была получена экспериментально – статистическая модель процесса в виде уравнения регрессии второго порядка (в кодированных переменных), описывающего совместное влияние массовой концентрации озона, коагулянта и флокулянта на эффект обесцвечивания:

$$Y = 97,33 + 2,94 X_1 + 0,90 X_2 + 3,37 X_3 + 1,25 X_1 X_2 + 1,44 X_1 X_3 - 6,43 X_1^2 - 3,17 X_2^2 - 5,42 X_3^2 \quad (1)$$

где  $Y$  – эффект обесцвечивания (снижения цветности воды), %;

$X_1$  – массовая концентрация коагулянта, мг/дм<sup>3</sup>;

$X_2$  – массовая концентрация флокулянта, мг/дм<sup>3</sup>;

$X_3$  – массовая концентрация озона, мг/дм<sup>3</sup>.

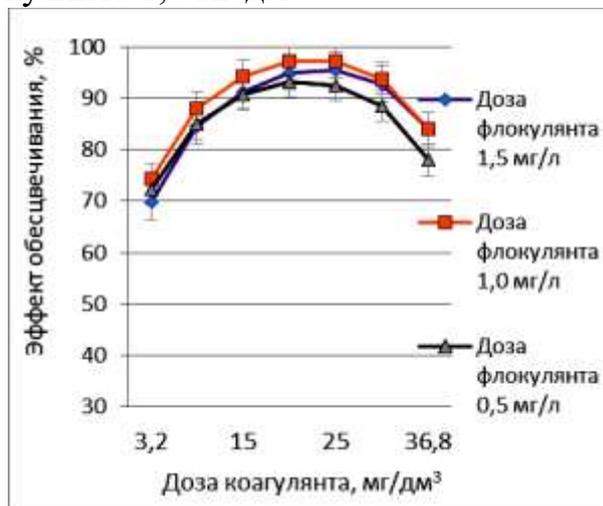
Установлено, что все указанные факторы оказывают определенное влияние на процесс обесцвечивания воды:

1) значительное влияние на процесс обесцвечивания воды р. Мухавец озонированием оказывает доза коагулянта; наибольший эффект, около 98 %, наблюдался при дозе коагулянта 20 мг/дм<sup>3</sup>, дозе флокулянта 1,0 мг/л и массовой концентрации озона 10 мг/дм<sup>3</sup> (рисунок 1);

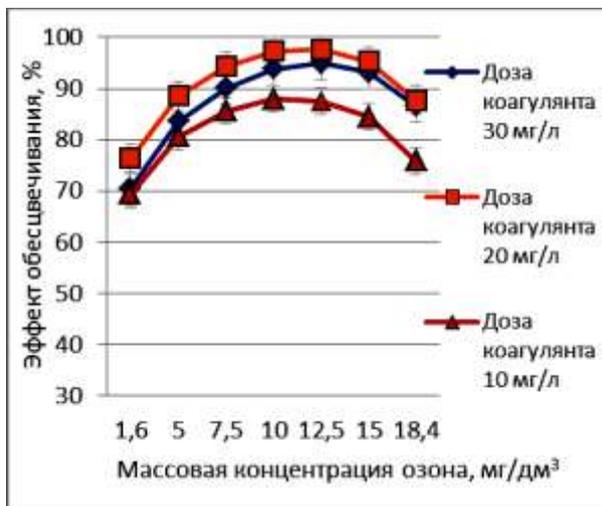
2) меньшее влияние оказывает доза флокулянта; увеличение дозы флокулянта с 0,16 до 1 мг/дм<sup>3</sup> повышало эффект обесцвечивания лишь на 10% при массовой концентрации озона 10 мг/дм<sup>3</sup> и значении дозы коагулянта 20 мг/дм<sup>3</sup>;

при этом сила влияния дозы флокулянта снижалась при более высоких значениях дозы коагулянта;

3) массовая концентрация озона оказывает наиболее сильное влияние на обесцвечивание воды р. Мухавец озонированием (рисунок 2); так, увеличение её с 1,6 до 12,5 мг/дм<sup>3</sup> сопровождалось повышением эффекта обесцвечивания с 70 до 98 % при дозе коагулянта соответственно от 10 до 30 мг/дм<sup>3</sup> и дозе флокулянта 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.



**Рисунок 1** – Влияние дозы коагулянта на эффект обесцвечивания при массовой концентрации озона 10 мг/дм<sup>3</sup>



**Рисунок 2** – Влияние массовой концентрации озона на эффект обесцвечивания при дозе флокулянта 1,0 мг/дм<sup>3</sup>

При помощи экспериментально-статистической модели процесса были получены оптимальные значения параметров, при которых достигался наибольший эффект обесцвечивания: доза коагулянта – 22,72 мг/дм<sup>3</sup>, доза флокулянта – 1,03 мг/дм<sup>3</sup>, массовая концентрация озона – 11,66 мг/дм<sup>3</sup>.

**Реагентная дефосфотация сточных вод.** В настоящее время одним из важнейших направлений в области очистки сточных вод является удаление биогенных элементов (соединений азота и фосфора), наличие которых в воде приводит к эвтрофикации водных объектов. Так как требования к содержанию фосфора в очищенной воде значительно ужесточились, приоритет сместился в сторону снижения концентраций фосфорсодержащих загрязняющих веществ. Эффективность снижения концентрации фосфора биологическим методом очистки сточных вод составляет 78-80 процентов. Одновременно процессы биологической очистки считаются высокочувствительными и нестабильными. На выходе из очистных сооружений можно снизить концентрацию фосфора с помощью химических методов удаления на 95 процентов (до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>).

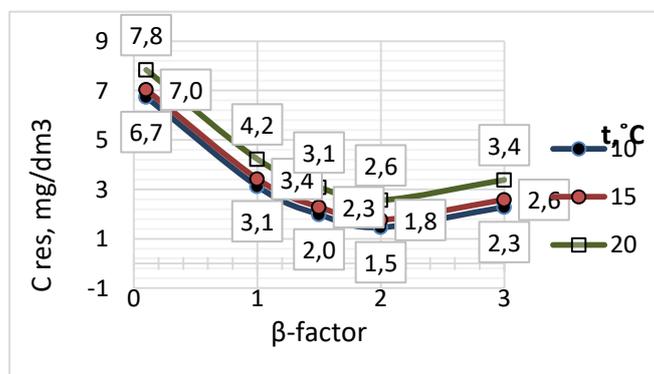
С использованием 1%-го раствора коагулянта полиоксихлорида алюминия «Аква-Аурат 30» (массовая доля Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 30%) проведено исследование коагуляции при очистке сточных вод с исходной концентрацией фосфатов 10 мг/дм<sup>3</sup>. Положительная динамика очистки получена и в результате пробной коагуляции сульфатом железа(III) Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·7H<sub>2</sub>O (дозировка 1% раствора варьировалась от 18 до 63 мг/дм<sup>3</sup>).

При моделировании процесса очистки от соединений фосфора с целью определения оптимальных значений технологических параметров стадии коагуляции учитывалась зависимость остаточной концентрации фосфатов в сточных водах,  $C_{res}$ , мг/дм<sup>3</sup>, от трех факторов: 1)  $\beta$ -фактора (принимая во внимание избыток реагента, необходимого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, сверх расчетного стехиометрического количества); 2) значения водородного показателя среды pH; 3) температуры обрабатываемой воды,  $t$ , °С.

Уравнение регрессии по результатам обработки экспериментальных данных  $C_{res} = f(pH, \beta, t)$  было составлено в виде квадратичного полинома от трех переменных. Экспериментальную воспроизводимость проверяли с помощью теста Кохрена ( $G_{расч} = 0,298$ ;  $G_{табл} = 0,616$ ). Значимость коэффициентов регрессии определяли для 5 степеней свободы при доверительной вероятности  $P = 0,95$  с учетом критерия Стьюдента ( $t = 2,57$ ). Достоверность зависимостей при 5% уровне значимости подтверждена с помощью критерия Фишера ( $F_{расч} = 3,54$ ,  $F_{табл} = 5,05$ ).

Полученное экспериментально-статистическое уравнение (2) в физических переменных позволяет отразить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации фосфатов  $C_{res}$  от  $\beta$ -фактора (отношения концентрации реагента по металлу к начальной концентрации фосфора) и факторов внешней среды (рисунок 3):

$$C_{res} = 1,24\beta^2 - 5,38\beta + 0,43(pH)^2 - 6,45(pH) + 0,01 t^2 - 0,19 t + 32,35. \quad (2)$$



**Рисунок 3** – Влияние  $\beta$ -фактора на процесс дефосфотации при различных значениях температуры  $t$ , °С, и водородном показателе pH = 6,5

Установлено, что все указанные факторы оказывают определенное влияние на процесс дефосфотации:

1) все коэффициенты регрессии уравнения являются значимыми;

2) полученная математическая модель процесса реагентной обработки сточных вод позволяет подобрать оптимальную дозу коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора при различных значениях pH и температуре обрабатываемой воды;

3) установлены оптимальные значения параметров дефосфотации (для исходной концентрации фосфатов 10 мг/дм<sup>3</sup>), при которых достигается наименьшая остаточная концентрация фосфатов в очищенной воде: pH=7,5;  $\beta$ =2,17;  $t$ =9,5°С.

**Заключение.** Для оптимизации процессов водоподготовки и водоочистки в системах водоснабжения и водоотведения были использованы методы математического моделирования на основе влияющих и определяющих факторов. На основе выполненных экспериментальных исследований были получены экспериментально-статистические модели для прогнозирования эффективности удаления из воды загрязняющих примесей в любом заданном режиме ведения процесса. Разработаны экспериментально-статистические модели:

– процесса обесцвечивания воды коагулированием с предварительным озонированием в виде уравнения регрессии, описывающего совместное влияние массовой концентрации озона, доз коагулянта и флокулянта на эффект снижения цветности воды; получены оптимальные значения параметров, при которых достигается наибольший эффект обесцвечивания;

– процесса дефосфотации сточных вод в виде уравнения регрессии, которое определяет зависимость остаточной концентрации фосфатов сточных вод от условий дозирования реагента.

### Список цитированных источников

1. Ланге, Л.Р. Технологическое моделирование процесса водоподготовки // Труды II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием; под общей редакцией А.Ю. Столбоушкина, Е.А. Алешиной, О.В. Матехиной, Е.А. Благиных. – Новокузнецк : Сибирский государственный индустриальный университет, 2019. – С. 312–314.
2. Барская И.В., Лукашевич О.Д. Технологическое моделирование процесса очистки воды от соединений железа // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008.–№ 3 (20). – С. 175–180.
3. Житенев Б.Н., Андреюк С.В. Экспериментальные исследования удаления органических примесей природных вод коагулированием и каталитическим окислением в целях технического водоснабжения // Вестник БрГТУ. – 2012. – № 2 : Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 32–36.
4. Житенев, Б.Н. Планирование многофакторного эксперимента на примере ионообменной очистки воды от нитратов / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк // Вестник Брест.гос. техн. ун-та. – 2019. – № 2 : Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 38–43. // 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. 321–323.
5. Андреюк, С. В. Моделирование процессов подготовки воды для технического и питьевого водоснабжения / С. В. Андреюк, М. А. Таратенкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2 (34). – С. 46–57. – DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-46-57.
6. Петухова, Е.О. Дефосфотация сточных вод / Е.О. Петухова, О.И. Ручкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 2 (26). – С. 123–141.
7. Андреюк, С. В. Технологическое моделирование процесса реагентного удаления фосфора из сточных вод / С. В. Андреюк, Т. И. Акулич, Е. С. Гогина, Д. В. Каперейко // Вестник Брест.гос. техн. ун-та. – 2022. – № 3 (129). – С. 2–4. – DOI: 10.36773/1818-1112-2022-129-3-2-4.

## КОНТАКТНО-СТАБИЛИЗАЦИОННЫЕ АЭРОТЕНКИ С МУЛЬТИСТРУЙНЫМИ АЭРАТОРАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

*С. Г. Белов<sup>1</sup>, Е. И. Дмухайло<sup>2</sup>, М. А. Таратенкова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Доцент, БрГТУ, Брест, Беларусь, vvit@bstu.by

<sup>2</sup> Брест, Беларусь, vvit@bstu.by

<sup>3</sup> Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, vvit@bstu.by

### **Аннотация**

В статье рассматривается одно из направлений совершенствования технологии биологической очистки сточных вод – применение контактно-стабилизационных аэротенков. Отмечается, что данный тип аэротенков обладает определёнными преимуществами по сравнению с традиционной технологией использования активного ила. Особое внимание уделяется конструкции и расчёту системы мультиструйной аэрации, позволяющей повысить эффективность контактно-стабилизационных аэротенков.

**Ключевые слова:** биологическая очистка, аэротенки, активный ил, контактно-стабилизационный процесс, струйная аэрация, энергоэффективность.

## CONTACT-STABILIZATION AERATION TANKS WITH MULTI-JET AERATORS FOR URBAN WASTEWATER TREATMENT

*S. G. Belov<sup>1</sup>, E. I. Dmukhailo<sup>2</sup>, M. A. Taratenkova<sup>3</sup>*

### **Abstract**

Аннотация The article discusses one of the directions for improving the technology of biological wastewater treatment - the use of contact-stabilization aeration tanks. It is noted that this type of aeration tank has certain advantages compared to traditional technology for using activated sludge. Particular attention is paid to the design and calculation of the multi-jet aeration system, which makes it possible to increase the efficiency of contact-stabilization aeration tanks.

**Keywords:** biological treatment, aeration tanks, activated sludge, contact-stabilization process, jet aeration, energy efficiency.

**Введение.** Для очистки сточных вод в средних и крупных городах Республики Беларусь применяются искусственные методы биохимической очистки активным илом (актилом) в аэротенках.

При обычной схеме обработки сточных вод, состоящей из решеток, песколовков, первичных отстойников, аэротенков, вторичных отстойников, хлора-

торных, контактных резервуаров и сооружений обработки осадка (метантенки, аэробные стабилизаторы), стоимость аэротенков со всем оборудованием для аэрации составляет 20-30 % общей стоимостью очистных сооружений.

Интенсификация работы аэротенков позволяет значительно сократить строительные и эксплуатационные расходы и, следовательно, снизить себестоимость очистки сточных вод. Одним из методов интенсификации работы аэротенков является контактно-стабилизационный процесс.

Технологической основой контактно-стабилизационного метода является разделение процесса окисления загрязнений сточных вод на две стадии: сорбирование загрязнений на хлопьях актила в течение кратковременного контакта в условиях интенсивного перемешивания, аэрирования и окисление сорбированных загрязнений на хлопьях актила после отделения их из воды, из которой изъятые загрязнения. Первая стадия происходит в бассейне контакта актила со сточной жидкостью от 0,5 до 2 часов. Вторая стадия осуществляется в бассейне стабилизации, где актил окисляет загрязнения в процессе их усвоения (ассимиляции) и стабилизируется. Суммарное приведенное время пребывания сточных вод в аэротенке 4-6 часов. Иловая смесь из бассейна контакта поступает во вторичный отстойник, осевший актил целиком перекачивается в бассейн стабилизации, откуда после обработки поступает вновь в бассейн контакта. Избыточный актил удаляется из бассейна стабилизации на уплотнение и дальнейшую обработку.

В контактно-стабилизационных аэротенках (КСА) более полно используется сорбционные свойства актила, поэтому этот метод называется также биосорбционным.

Для более полного смешения стабилизированного актила с загрязнениями необходимо увеличение затрат энергии на перемешивание среды. Для аэрации и интенсивного перемешивания смеси актила и сточной жидкости в аэротенке применяются мультиструйные аэраторы (МСА) с удлиненной вертикальной трубчатой бездиффузорной камерой смешения типа «аэрационный стояк», которые обеспечивают резкое ускорение процессов сорбции и окисления за счет усиления интенсивности массообмена в системе вода – хлопья актила – загрязнения – кислород.

Увеличение скорости массообмена выражается в том, что вокруг хлопьев актила чаще сменяется жидкость, насыщенная кислородом и содержащая органические загрязнения. Хлопья актила размельчаются в рабочем колесе циркуляционного насоса и аэрационных трубах МСА, увеличивая тем самым суммарную площадь их поверхности и, следовательно, площадь контакта микроорганизмов актила с жидкостью, насыщенной питательными веществами и кислородом. Размельчение хлопьев актила не является неблагоприятным фактором, так как актил, попадая в состояние покоя в отстойнике, очень быстро укрупняется и хорошо оседает. Применение МСА позволяет исключить из схемы воздухоподводящую станцию и распределительные системы к пневмоаэраторам. Контактно-стабилизационный аэротенк с МСА представляет собой прямо-

угольный в плане ж/б резервуар, разделенный перегородкой на бассейны контакта и стабилизации (рис 1).



**Рисунок 1** – Технологическая схема контактно-стабилизационного аэротенка

**Результаты и обсуждение.** Кафедрой ВВиОВР БрГТУ разработана новая конструкция мультиструйного аэратора (МСА) для оснащения КСА, основным элементом которой являются вертикальные трубы-аэраторы. Этот аэратор совмещает в себе достоинства механических и пневматических аэраторов.

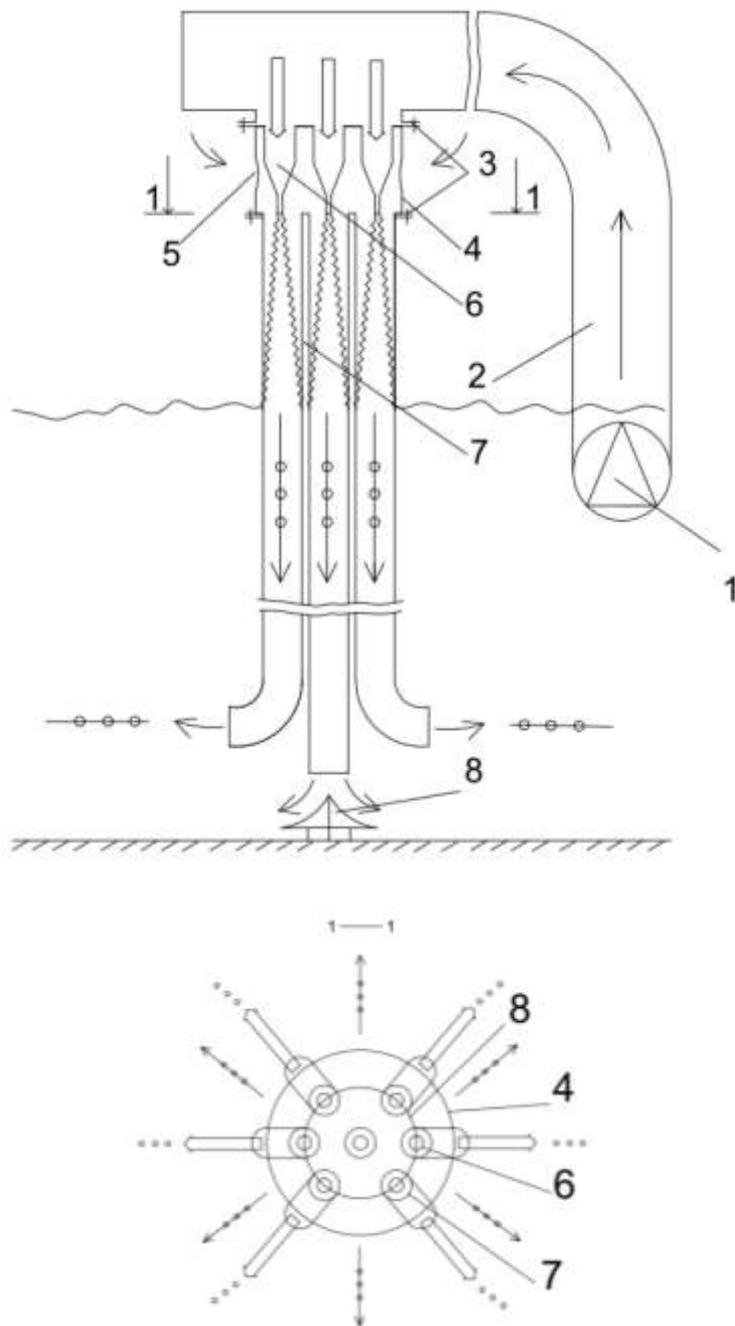
МСА в комплекте с погружными насосами способна сочетать различные функции насыщения кислородом и перемешивание сточных вод в резервуарных усреднителях или иловой смеси в аэротенках не требуя устройства воздухоподводящих станций для аэрации.

Требуемая величина технологических глубин составляет 0,5-6,0 м. Окислительная способность или производительность по кислороду единицы МСА может изменяться в пределах 1,0-50 кг  $O_2$ /ч, объем подсасываемого воздуха 10-300 л/с. Установленная мощность не должна превышать 80 Вт/м<sup>3</sup> аэротенка. При ее значениях менее 25-40 Вт/м<sup>3</sup> в аэротенках с МСА следует размещать мешалки.

На рисунке 2 изображен продольный и поперечный разрезы МСА.

МСА работает следующим образом: при подаче иловой смеси из КСА погружным насосом 1 под давлением в верхнее плечо трубопровода 2 из вертикально расположенных цилиндрикоконических насадков 6 истекают с высокой скоростью (10-20 м/с) струи иловой смеси. При этом энергия давления превращается в скоростной напор струи. При входе струи в вертикальные аэрационные трубы давление на начальном участке аэрационной трубы падает ниже атмосферного и через отверстие воздухозаборника 4 воздух засасывается в струи иловой смеси, дробясь на мелкие пузырьки за счет турбулентной пульсации волнового пограничного слоя струи. Газожидкостная смесь транспортируется

по аэрационным трубам 7 ко дну КСА, растекаясь в радиальном направлении, обеспечивая насыщение иловой смеси кислородом и ее перемешивание, при обеспечении незаиляющих донных скоростей в КСА. Дефлектор 8, расположенный в нижней части центральной аэрационной трубы обеспечивает дополнительное перемешивание под МСА.



**Рисунок 2** – Мультиструйный аэратор (МСА) кафедры ВВиОВР БрГТУ  
 1- погружной насос; 2 - трубопровод подачи смеси; 3 - соединительные фланцы;  
 4 - воздухозаборник; 5 - отверстия для подсоса воздуха; 6 - цилиндрические  
 насадки; 7 - аэрационные трубы; 8 – дефлектор.

Предлагаемый МСА позволяет увеличить зону газонасыщения кислородом при удовлетворительном перемешивании в аэрируемом объеме КСА.

Исходя из требований обеспечения необходимой окислительной способности или производительности по кислороду  $q_0$ , общее число МСА определяется как:

$$n = \frac{W}{q_0} \quad (1)$$

$$W = \frac{Z \cdot (L_0 - L_t) \cdot Q}{K_k \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{C}{C_t} \left[ \frac{10.3}{10.3 + 0.5 \cdot H_p} \right] \right) \right\}} \quad (2)$$

где  $Z$  – удельный расход кислорода, мг на 1 мг снятой БПК<sub>полн</sub>, равной 0,9-1,0 в зависимости от степени очистки;

$L_0, L_t$  – БПК<sub>полн</sub>, соответственно поступающих и очищенных сточных вод, мг  $O_2/дм^3$ ;

$Q$  – расход сточных вод,  $м^3/ч$ ;

$K_k$  – коэффициент качества воды, равный 0,6-0,85 в зависимости от вида сточных вод;

$C$  – средняя концентрация растворенного кислорода в аэротенке, равна 2 мг/дм<sup>3</sup>;

$C_t$  – растворимость кислорода в аэротенке при данной температуре, мг/дм<sup>3</sup>;

$H_p$  – глубина погружения газожидкостной струи аэратора под уровень жидкости в аэротенке, м.

Коэффициент эжекции  $K_{\text{э}}$  аэрационных труб МСА определяется из выражения:

$$K_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{г}}}{Q_{\text{ж}}} = 1.75 \cdot 10^{-6} (Re \cdot \sqrt{Fr})^{0.75} \frac{L_c^{0.75}}{R_0} \left( \frac{H_p}{H_v} \right)^{0.83} \cdot m \quad (3)$$

Где

$Q_{\text{г}}, Q_{\text{ж}}$  – объемные расходы газа и жидкости,  $м^3/с$ ;

$Re, Fr$  – критерии Рейнольдса и Фруда:

$$Re = \frac{V_0 R_0}{\nu} \quad (4)$$

$$Fr = \frac{V_0^2}{g R_0} \quad (5)$$

$L_c$  – высота истечения струи, м;

$R_0$  – гидравлический радиус насадка, м;

$g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$ ;

$V_0$  – скорость истечения жидкости через насадок,  $м/с$ ;

$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости,  $м^2/с$ ;

$H_p$  – глубина погружения выходного отверстия аэрационной трубы под уровень жидкости, м;

$m$  – количество аэрационных труб МСА, штук;

$H_v$  – скоростной напор струи на выходе из насадка, м.

$$H_v = \frac{V_0^2}{2g} \quad (6)$$

$Q_{\text{ж}}$  – расход жидкости, л/с:

$$Q_{ж} = \mu \omega_n \sqrt{2gH_H} \cdot t \quad (7)$$

$\mu$  – коэффициент расхода насадка;

$\omega_n$  – площадь поперечного сечения насадка, м<sup>2</sup>;

$H_H$  – напор жидкости перед насадком, м.

Производительность по кислороду:

$$q_0 = K_э \cdot 0.265 \cdot Q_{жс} \cdot K_u \quad (8)$$

0,265 – количество кислорода в кг, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях атмосферного давления и температуре 20<sup>0</sup> С;

$K_u$  – коэффициент использования кислорода воздуха:

$$K_u = 0.1 \cdot \sqrt{H_H} \quad (9)$$

Окончательное выражение для определения производительности по кислороду МСА:

$$q_0 = 2.65 \cdot 10^{-2} \cdot K_э \cdot Q_{жс}, \text{ кг/ч} \quad (10)$$

Эффективность аэрации  $\mathcal{E}$  в кгО<sub>2</sub>/кВт·ч определяется из выражения:

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{жс}}{N} \quad (11)$$

$$N = \frac{Q_{жс} \cdot H_H}{102 \cdot 1000}, \text{ кВт} \quad (12)$$

$H_H$  – избыточное давление в метрах водяного столба перед насадками МСА.

**Заключение.** Аэрация в КСА посредством МСА, работающая в режиме самовсасывания, использует обычное насосное оборудование, что повышает надежность и долговечность системы при эффективности использования 1,5-2,5 кг О<sub>2</sub> на 1кВт·ч, что является хорошим показателем. Кроме этого, обеспечивается хорошее перемешивание и отсутствие застойных зон. Особенно актуальным является применение систем МСА в режиме периодической аэрации в бассейне контакта КСА, что позволяет увеличить дозу активного ила и увеличить объемы вторичных отстойников.

### Список цитированных источников

1. Колобанов С.К. Проектирование очистных сооружений и канализации /С.К. Колобанов, А.В. Ершов, М.Е. Кигель// Киев «Будевильник»– 1977. – С. 224.
2. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев // Машиностроение– 1988. – С.256.
3. Воронов В.Ю. Струйная аэрация / В.Ю.Воронов,В.В. Казанов, В.Ю.Толстой М. // Научное издание– 2007. – С.216.
4. Попович Т.С. Системы аэрации сточных вод / Т.С. Попович,Б.Н. Репин // Н. Строиздат. Охрана окружающей среды.–1986. – С. 136
5. Дмухайло Е.И.. ас. СССР № 148826.2

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО БРИКЕТИРОВАННОГО ТОРФА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Б.Н. Житенёв<sup>1</sup>, А.Д. Гуринович<sup>2</sup>, Д.Д. Сенчук<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Профессор, БрГТУ, Брест, Беларусь, gitenev@tut.by

<sup>2</sup> Профессор, Минск, Беларусь; a.giurinowicz@pd.edu.pl

<sup>3</sup> Ассистент, БрГТУ, Брест, Беларусь, senchuk.d.d@mail.ru

### **Аннотация**

В настоящее время остро стоит проблема очистки производственных сточных вод от таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь и др. В статье приведены результаты исследования кинетики сорбции брикетированным торфом ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ ; Установлена возможность использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ .

**Ключевые слова:** брикетированный торф, ионы кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ , сточные воды, диффузионная и химическая кинетика.

## APPLICATION OF GRINDED BRIQUETTED PEAT FOR WASTEWATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS

*B.N.Zhitenov<sup>1</sup>, A.D.Gurinovich<sup>2</sup>, D.D.Senchuk<sup>3</sup>*

### **Abstract**

At present, the problem of industrial wastewater treatment from such toxic metals as cadmium, lead, copper, etc. is acute. The possibility of using briquetted peat as an effective sorbent for wastewater treatment from cadmium ions  $Cd^{+2}$ , lead  $Pb^{+2}$ , copper  $Cu^{+2}$  has been established.

**Keywords:** briquetted peat, cadmium ions  $Cd^{+2}$ , lead  $Pb^{+2}$ , copper  $Cu^{+2}$ , waste water, diffusion and chemical kinetics.

**Введение.** Одними из опаснейших стойких загрязнений водных объектов являются ионы тяжелых металлов: кадмий, свинец, медь, железо, марганец, никель и цинк. Наиболее токсичными являются кадмий и свинец. Большая часть промышленного использования кадмия приходится на защитные покрытия, которые предохраняют металлы от коррозии. Такое покрытие имеет большое преимущество перед цинковыми, никелевыми или оловянными, потому что при деформации оно не отслаивается. Сплавы кадмия с незначительными добавками меди, никеля и серебра применяют для изготовления подшипников автомо-

бильных, авиационных и судовых двигателей. Никель-кадмиевые аккумуляторы применяются в мобильных телефонах и прочих электронных устройствах. Используется этот металл также в производстве пластика, красок, металлических покрытий. Многие почвы, которые регулярно удобряют, также могут содержать такой токсичный металл в большом количестве. Кадмий, а также его соединения характеризуются как канцерогенные вещества [1]. Ряд исследований подтверждает загрязнение водных объектов кадмием. В работе [2] отмечается, что в Чили в значительных количествах производится добыча медной руды, при этом дренажные шахтные воды различным образом поступают в прибрежную акваторию, присутствующие в них металлы скапливаются в донных отложениях (ДО), загрязняют пляжи и др. Пробы ДО отбирались в двух точках, в них определялись кадмий, медь, железо, марганец, никель, свинец и цинк, содержание металлов составило для этих точек 7,2-985 и 23-746 мкг/г сухой массы. Установлено, что содержание металлов отрицательно сказывается на состоянии обитателей бентоса, поскольку происходит их аккумуляция биомассой. В [3] проведено измерение комплексообразования цинка и кадмия с природными органическими лигандами в субантарктических водах к востоку от Новой Зеландии. Показано, что общая концентрация растворенных Zn и Cd находится в пикомолярном диапазоне и концентрация лигандов для обоих металлов составляет 1-2,5 нмоль/кг. Выявлено, что накопление цинка в фитопланктоне намного ниже, чем кадмия, что, вероятно, связано с возможностью его утилизации или предпочтением поглощения других металлов. В [4] приведена характеристика экосистемы, обследовался залив, расположенный в урбанизированной зоне с большим количеством промышленных производств, эти работы были связаны с массовой гибелью рыбы и моллюсков. Установлено, что эти явления происходили одновременно с формированием в заливе крупных скоплений водорослей, среди которых были выделены 4 вида, способных синтезировать токсиканты, которые затем поступали в воду. В ходе исследований было установлено, что в месте скоплений в донные отложения (ДО) содержали кадмий, медь, цинк, свинец и ртуть в повышенных концентрациях, в частности, содержание кадмия и свинца более, чем в 6 раз превышало показатели для окружающих участков, а ткани моллюсков содержали кадмий в концентрациях в 8 раз больших, чем экзemplяры, отобранные на удалении. Авторы [5] при обследовании участка речной системы протяженностью 180 км (до эстуария в месте впадения в Атлантический океан отмечают, что уровень загрязненности испытывает сезонные колебания в связи с колебаниями расхода речной воды. В воде определялись металлы 7 видов, биогенные элементы и др. пробы воды отбирались в 43 точках. Начало контролируемого участка находилось в урбанизированной зоне, содержание свинца здесь достигало 520 пмоль, серебра 330 пмоль, нитратов 21 мкмоль, ортофосфатов 4,3 мкмоль. Медь, никель, цинк, кадмий и железо распределены в воде на протяженности участка достаточно равномерно, медь содержится до 40 нмоль, никель, цинк до 59-63 нмоль, кадмий до 350 пмоль, растворенный органический углерод на протяженности участка до эстуария содержится от 210 до 360 мкмоль. В [6] для характеристики

загрязнения поверхностных водотоков тяжелыми металлами были выбраны кадмий, медь, никель, ртуть, хром, цинк, свинец, а также мышьяк. Анализ хронологии хода годовых концентраций металлов в воде не выявил каких-либо закономерностей: они колеблются беспорядочно, не прослеживается параллелизма в годовых изменениях концентраций различных металлов. Внутри года не установлены закономерности в изменении концентраций тяжелых металлов в отдельных пробах. Предложен комплексный коэффициент загрязнения воды тяжелыми металлами. Обследовалась река с небольшим дебитом, в ее донных отложениях (ДО) определялось содержание различных металлов, в определении применялся метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой. При обработке проб ДО использовались 2 метода экстракции: Э1 и Э2. Э1 проводилась в кислой среде при температуре 180°C в условиях воздействия микроволнового излучения, при Э2 использовался 0,5 молярный раствор HCl. Пробы ДО отбирались в 15 точках; кадмий содержался в них в концентрациях от 0,17 до 1,34 мкг/г; хром от 28,9 до 90 мкг/г; медь от 23,2 до 76,7 мкг/г; никель от 41,8 до 61,6 мкг/г и свинец от 18 до 53 мкг/г. При Э1 обеспечивалась несколько большая степень экстракции, река, имевшая длину 12 км, протекала по участкам с различной нагруженностью промышленными предприятиями, с чем связаны существенные колебания концентраций металлов в донных отложениях [7].

В работе [8] сообщается, что входящий в состав мха вид *Fontinalis dalecarlica* (1) отличается повышенной способностью к биоаккумуляции тяжелых металлов, в связи с чем применяется при мониторинге природных водных сред, обитает на заболоченных местностях, на линиях раздела река/берег, озеро/берег и т. д. В лабораторных условиях исследовался процесс аккумуляции кадмия биомассой, эксперимент проводился с использованием аквариума 35 л, подача воды 0,6 л/мин, скорость потока 0,2 м/с. Дозы кадмия в опытах составляли 0,5; 1,0 и 5,0 мкг/л. Установлено, что кадмий сорбировался с большой скоростью в течение 5 сут, затем скорость уменьшалась и через 30 сут. сорбция прекращалась. Сорбционная емкость биомассы для названных доз кадмия 336, 496 и 2390 нмоль/г сухой биомассы, после перенесения в воду, не содержащую кадмия, десорбция практически не наблюдалась. В [9] отмечается, что в настоящее время вода природных источников наряду с другими загрязнителями содержит также ионы тяжелых металлов. В лабораторных условиях исследовалась возможность оценки их содержания путем измерения количеств, аккумуляированных биомассой зеленых водорослей. В опытах использовался природный (так называемый "дикий") вид (В1) и специально селективированный (В2); модельным загрязнителем являлся кадмий в концентрациях от  $5 \cdot 10^{-10}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  моль. Установлено, что в естественных условиях кадмий образует комплексы с лигандами, что влияет на процессы сорбции/десорбции, сорбционная емкость по кадмию для В1 в 2-3 раза выше, чем для В2, присутствие в растворе молибдена, марганца, меди, кобальта, цинка, никеля и свинца ингибирует процессы сорбции кадмия В1 и В2; магний и железо на эти процессы не влияют. Данные работ [1 - 9]

свидетельствуют о том, что загрязнение водных объектов тяжелыми металлами, в частности кадмием, свинцом, медью и железом носят глобальный характер.

**Методы очистки.** Для извлечения из водных растворов кадмия, меди, никеля, цинка [10] использовался композиционный сорбент. Приготовление которого проводилось по методике, сутью которой являлось образование в порах катионита DowexMarathonC в Na-форме (аналог универсального катионита КУ-2х8) сорбционно активной фазы гидроксида железа. Тем самым достигалось создание высокоразвитой поверхности сорбента. В качестве исходных для сорбции служили 0,01 н. растворы  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ . По возрастанию сорбируемости в растворах с рН 5,4-5,7 металлы расположены в ряд: Cd, Zn, Ni, Cu.

В [11] отмечается, что методы сорбции тяжелых металлов на ионообменных смолах широко используются в технологиях водоподготовки. В [12] констатируется, что кадмий находит применение в различных изделиях, например, он используется в производстве аккумуляторов и в различных технологиях, при этом образуются хлорсодержащие системы, в состав которых входит также кадмий, в приводимом примере это  $\text{CdCl}_4^{2-}$ , данные комплексы отличаются высокой стойкостью. Предлагается экстрагировать из этих систем кадмий с использованием гидрофобных никотинамидов, в данном случае это N,N-дигексилпиридин-3-карбоксамид (I). В приводимом примере содержание (I) составляло 1-50 ммоль и HCl 0,1-2,5 моль, в оптимальном варианте содержание  $\text{Cd}^{2+}$  в органической фазе достигало 640 мг/моль. В работе [13] предлагается метод осаждения кадмия, железа, урана, меди, хрома, никеля, цинка, кобальта, который состоит в том, что в воду дозируют органическое соединение никотинамидадениндинуклеотид в качестве донора электронов, при его участии сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфаты до сульфидов, далее в последовательности реакций происходит образование нерастворимых сульфидов металлов, например, это CdS. Сообщается об успешном применении метода. В лабораторных условиях [14] исследовалась возможность удаления из донных отложений (ДО) тяжелых металлов методом электролиза. Реальные ДО содержали медь, цинк, свинец и кадмий в концентрациях 634, 1192, 478 и 16,6 мг/кг сухой массы. В оптимальном варианте эффективность удаления по этим компонентам составила 88, 98, 94 и 99% соответственно. В ходе экспериментов [15] исследовалась возможность сорбционного удаления ТМ (свинец 3,8-4,9 мг/л, кадмий 5,0-5,3 мг/л, цинк 47,5-49,1 мг/л, железо до 600 мг/л и кальций до 448 мг/л) из дренажных шахтных вод с использованием природных цеолитов (ЦЛ), обладавших ионообменными свойствами, этот выбор обусловлен, в том числе, устойчивостью ЦЛ в кислых средах, их разрушение наблюдается только при рН ниже 2. В лабораторных экспериментах при рН 2,24 и дозе ЦЛ 20 г/л (гранулят 1-2,5 мм) свинец удалялся полностью, с наименьшей эффективностью удалялось железо, присутствие ионов кальция ингибировало процессы сорбции ТМ. В [16] приведены результаты лабораторных экспериментов по удалению из СВ ионов кадмия путем перевода их в фор-

му оксалата кадмия в ходе воздействия на модельные СВ щавелевой кислотой. Сообщается, что оксалат кадмия обладает чрезвычайно низкой растворимостью, в экспериментах содержание  $Cd^{2+}$  в СВ составляло 5-6 г/л, при дозе щавелевой кислоты, в 2 раза превышающей концентрацию насыщения, кадмий удалялся с эффективностью более 99% при pH не ниже 4,5. В работе [17] сообщается, что при производстве сахара с использованием в качестве сырья сахарной свеклы на стадии варки пульпы выделялись СВ, содержавшие галактуроновую кислоту 20%, соединения, включавшие карбоновые группы 0,466 мг/л, также тяжелые металлы. Для первичной обработки этих СВ применялся дешевый сорбент, изготовленный из отходов от производства сахара, основной целью являлось удаление тяжелых металлов. Установлено, что при сорбции тяжелых металлов их сродство к сорбенту уменьшалось в следующем порядке:  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , для приведенного порядка металлов сорбционная емкость сорбента изменялась от 0,202 до 0,356 ммоль/г. СВ с сорбентами находились в реакторе 1 л, включенном в контур циркуляции с мембраной для микрофльтрации, тяжелые металлы удалялись с эффективностью не ниже 90%, кадмий и свинец на 100% в течение 10 ч.

Для удаления тяжелых металлов чаще всего применяются сорбенты, коммерческие марки которых имеют весьма высокую стоимость. В лабораторных экспериментах в качестве альтернативных сорбентов применялась зола от сжигания древесины (ЗД) и известь. Модельными ТМ являлись Cd, Cu, Pb и Zn в концентрациях от 25 до 1500 мг/л. Установлено, что ЗД как сорбент более эффективна, чем известь, с ее применением наиболее эффективно удаляется свинец (сорбционная емкость 101 мг Pb/г ЗД), затем следуют медь (6,92 мг/г), кадмий (5,03 мг/г) и цинк (4,12 мг/г). При дозе ЗД 20 г/л и содержании ТМ 100 мг/л эффективность их удаления составляла от 92 до 100% [18].

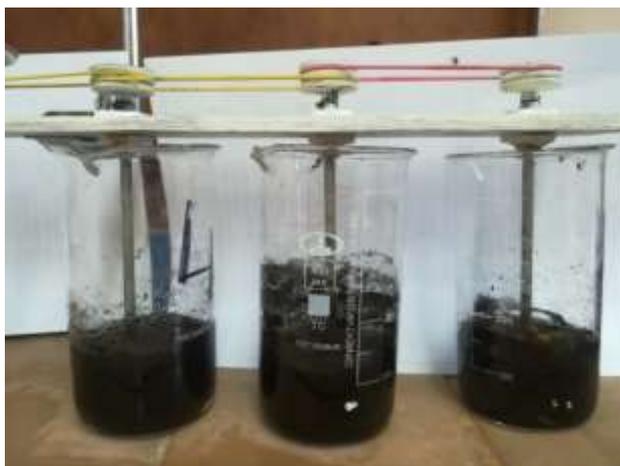
В исследованиях [19] указывается, что при обработке осадков и СВ, содержащих тяжелые металлы, достаточно широко используются методы биосорбции, при которых удаление тяжелых металлов осуществляется аккумуляцией биомассой растений, при этом известны виды растений, способных к так называемой гипераккумуляции. Проблемой при этом является накопление биомассы, загрязненной тяжелыми металлами, в лабораторных экспериментах исследовалась возможность сжигания массы растений с переводом металлов в золу. Использовались растения 4 видов, определен вид, обладающий наибольшей эффективностью, при этом зола от его сжигания содержала цинк 9326 мг/кг сухой массы, свинец 18 мг/кг, кадмий 224 мг/кг и т. д.

Таким образом, исследования по удалению из сточных вод таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь и др. ведутся по разработке новых композиционных сорбентов, совершенствованию ионообменной очистке, осаждению, например, в виде сульфидов или оксалатов, сорбцией золой от сжигания древесины, биосорбцией растениями [10 -19].

Обзор литературных данных позволяет сделать вывод о том, что разработка усовершенствованных технологий сорбционной очистки сточных вод с использованием торфа является весьма перспективным направлением. В литературе

отсутствуют достаточно полные данные об использовании брикетированного торфа в качестве сорбента таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь. В Республике Беларусь имеются значительные запасы торфа, масштабные производства торфобрикетов это создает реальные предпосылки для выпуска дешевых, экологически безопасных сорбентов на основе модифицированного брикетированного торфа. Настоящая работа посвящена исследованию сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди.

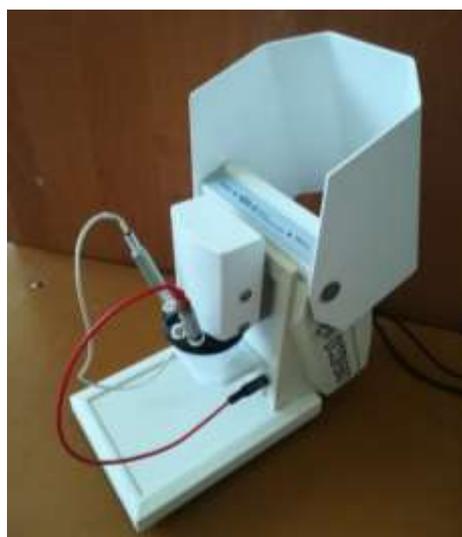
**Материалы и методы исследований.** В процессе исследований использовались физико-химические, технологические, математические методы. Эксперименты производились с использованием торфобрикетов производства торфобрикетного завода "Гатча-Осовское", расположенного в Жабинковском районе Брестской области. Брикет механическим способом гранулировали, затем отсеивали через набор сит калибром 1,00 – 2,00 – 3,25 – 3,75 – 4,50 – 5,50 мм. В результате были получены образцы крупностью < 1 мм, 1,00 – 2,00 мм, 2,00 – 3,25 мм, 3,25 – 3,75 мм, 3,75 – 4,50 мм, 4,50 – 5,50 мм. Исследовалась сорбция ионов кадмия  $\text{Cd}^{+2}$ , свинца  $\text{Pb}^{+2}$ , меди  $\text{Cu}^{+2}$ . В стакан помещали 100 мл раствора и добавляли 10 г гранул торфа. Затем суспензию перемешивали с помощью механических мешалок (рисунок1) в течении 3, 5, 10, 20, 40, 60 минут. Растворы фильтровали через бумажный фильтр (Рисунок2) и определяли остаточное содержание ионов кадмия  $\text{Cd}^{+2}$ , свинца  $\text{Pb}^{+2}$ , меди  $\text{Cu}^{+2}$ . Анализ пробы модельного раствора на содержание Cd, Pb, Cu выполняли с помощью анализатора вольтамперометрического АВА-3 (Рисунок 3). Нарисунке 4 приведен пример анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных на индикаторном электроде при анализе пробы модельного раствора на содержание Cd, Pb, Cu.



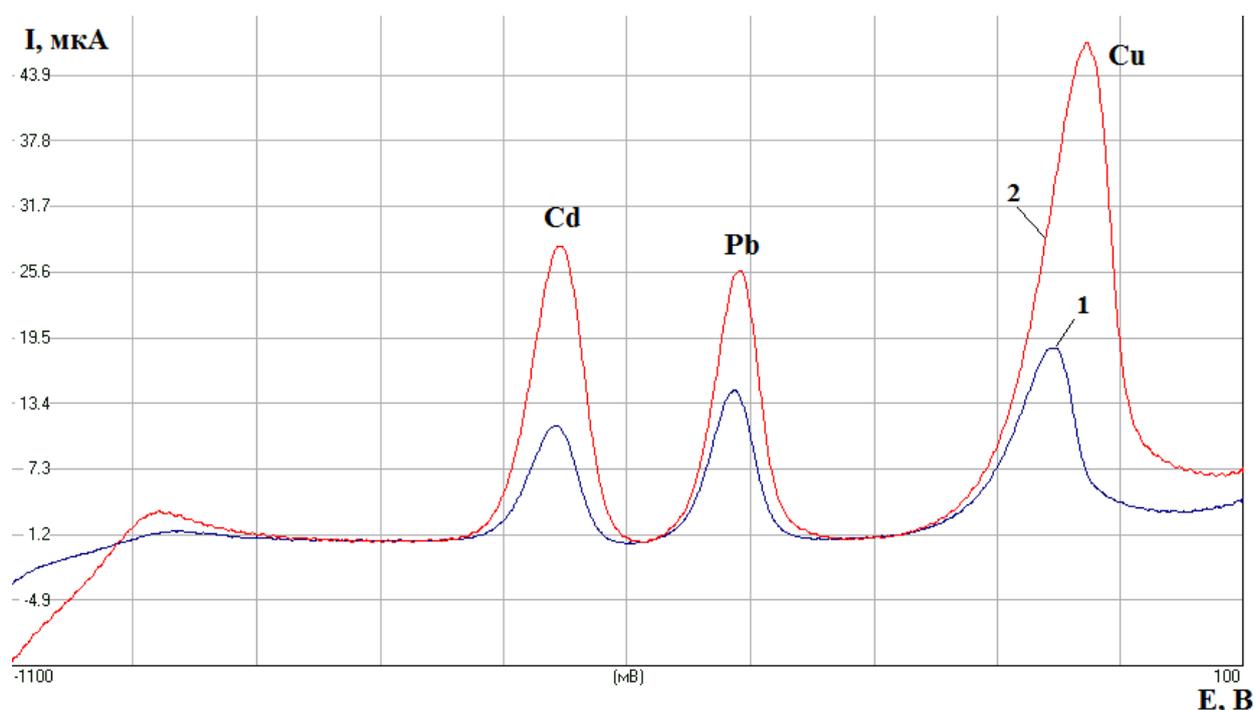
**Рисунок 1** – Механическое перемешивание.



**Рисунок 2** – Фильтрационное отделение сорбента.



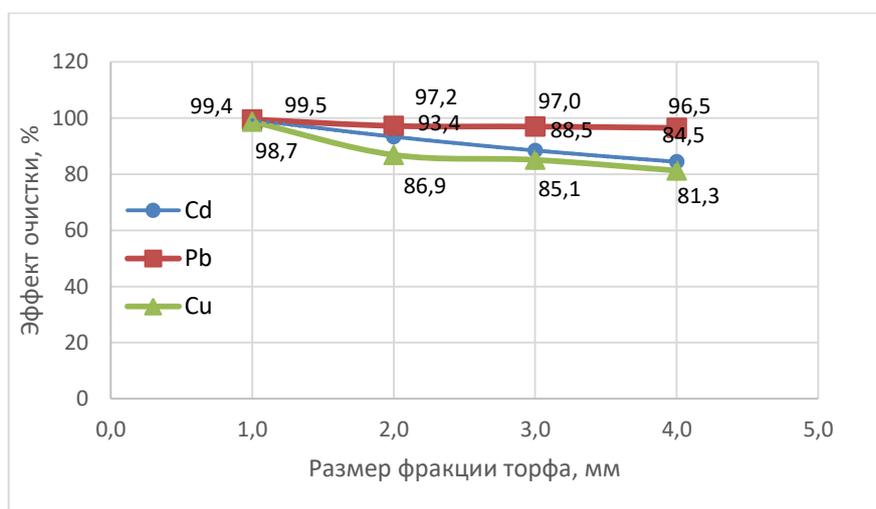
**Рисунок 3** – Анализатор  
вольтамперометрический АВА-3



**Рисунок4** – Анодные вольтамперные кривые разности:

1- пробы модельного раствора и фоновго электролита (фон хлоридный), 2- пробы модельного раствора с добавкой стандартного раствора, содержащего  $2\text{мг/дм}^3$  Cd, Pb, Cu и фоновго электролита

**Результаты и их обсуждение.** Предварительно изучалась зависимость эффекта очистки от крупности зерен брикетированного торфа. Исследовали эффективность сорбции для гранул средних размеров 1 мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм, при продолжительности контакта 60 минут, результаты приведены на рисунке 5.



**Рисунок 5** – Влияние размеров зерен брикетированного торфа на эффективность сорбции при продолжительности контакта 60 минут

Из рисунка 5 видно, что с увеличением крупности гранул сорбента эффективность сорбции снижается, это является следствием того, уменьшается площадь межфазовой границы между сорбентом и раствором. Дальнейшие исследования выполнялись с гранулами размером около 1 мм.

Эффект очистки воды от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  рассчитывался по формуле:

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

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



**Рисунок 6** – Зависимость эффекта сорбции ионов  $Cd^{+2}$  от продолжительности контакта, мин

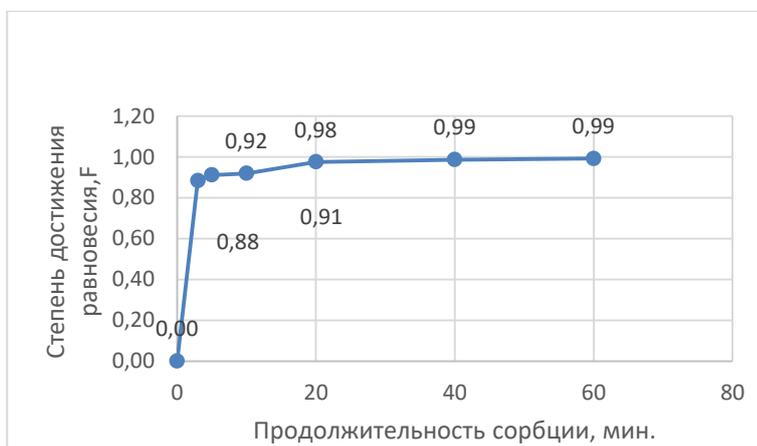


**Рисунок 7 –**  
Зависимость эффекта сорбции ионов  $Pb^{+2}$  от продолжительности контакта

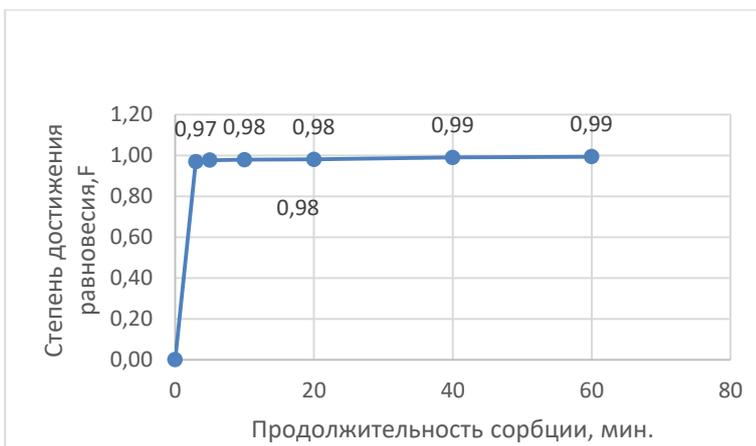


**Рисунок 8 –**  
Зависимость эффекта сорбции ионов  $Cu^{+2}$  от продолжительности контакта

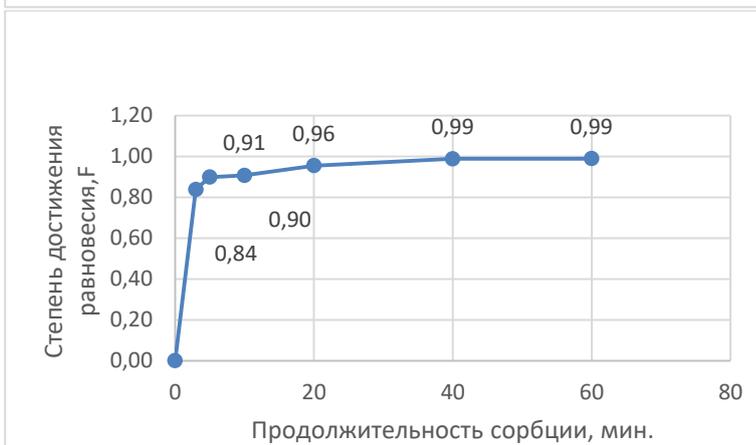
Наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течении 20 минут контакта, затем он замедляется. В течении 20 минут удаляется до 97 – 98 % ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  (Рисунок 6, 7, 8) и практически наступает сорбционное равновесие. Степень достижения равновесия  $F$ , показывает какая часть общего количества вещества сорбируется к данному моменту времени и для брикетированного торфа она составила для кадмия (II) около  $F=0.88$  при продолжительности контакта 3 минуты и  $F=0.99$  при контакте 40 минут (рисунок 9, 10, 11), соответственно для свинца (II) 0,97 и 0,99, а для меди (II) 0,84 и 0,99. Таким образом, наиболее быстро происходит сорбция свинца (II), затем кадмия (II) и наконец меди (II), но при продолжительности контакта 40 минут, для всех исследованных ионов степень достижения равновесия составила  $F=0.99$ .



**Рисунок 9–** Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы кадмия



**Рисунок 10** – Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы свинца



**Рисунок 11** – Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы меди

Кратность извлечения – отношение исходной концентрации к равновесной составила для ионов кадмия  $Cd^{+2}$  - 114, свинца  $Pb^{+2}$  - 162, меди  $Cu^{+2}$  - 93.

Кинетические кривые сорбции представлены на рисунках 12, 13, 14. Адсорбционная емкость брикетированного торфа рассчитывалась по уравнению:

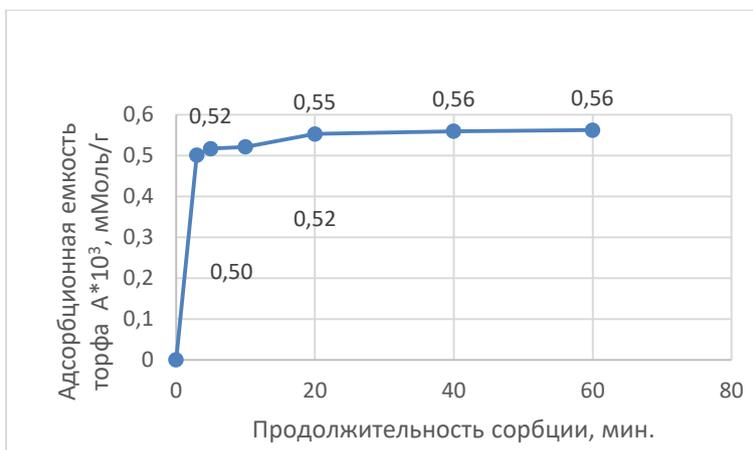
$$A = (C_1 - C_{равн}) * \left(\frac{V}{m}\right) \quad (2)$$

где  $V$  – Объем раствора,  $дм^3$ ;

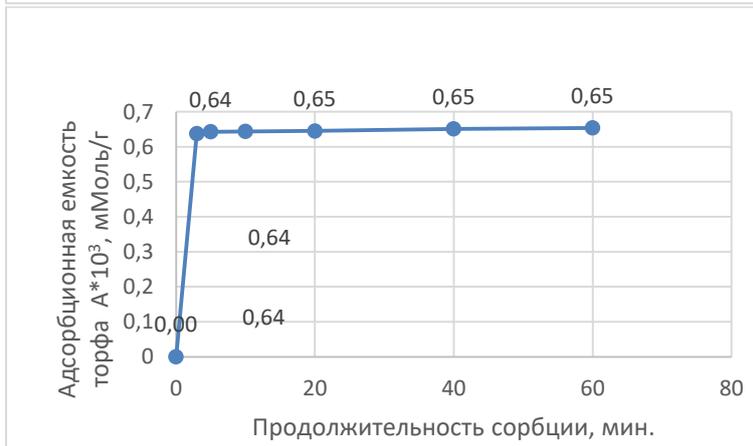
$m$  – масса навески брикетированного торфа, г;

$C_1$  – исходная концентрация ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  в растворе,  $мМоль/дм^3$ ;

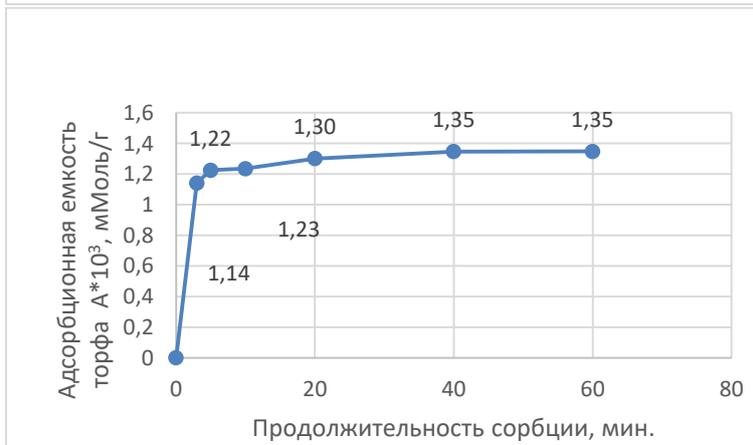
$C_{равн}$  – равновесная концентрация ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  в растворе после сорбции,  $мМоль/дм^3$ .



**Рисунок 12** –  
Кинетическая кривая сорбции ионов кадмия брикетированным торфом



**Рисунок 13** –  
Кинетическая кривая сорбции ионов свинца брикетированным торфом



**Рисунок 14** –  
Кинетическая кривая сорбции ионов меди брикетированным торфом

Для выяснения механизма сорбции ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  брикетированным торфом, результаты экспериментов были обработаны с помощью уравнений диффузионной кинетики. Кинетическая кривая для внешне диффузионных процессов должна быть линейной в координатах  $-\ln(A_e - A_t) - t$  (рисунок 15),

где  $A_e$  и  $A_t$  - количество сорбированного иона металла на единицу массы сорбента в состоянии равновесия и в момент времени  $t$ .

Кривые сорбции для ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  на начальном этапе описываются прямыми, следовательно, диффузия в пленке раствора вносит вклад в общую скорость процесса. При дальнейшем контакте графики сорбции ионов искривляются. Согласно литературным данным [36], это свидетельствует о том, что диффузия в зерне сорбента контролирует общую ско-

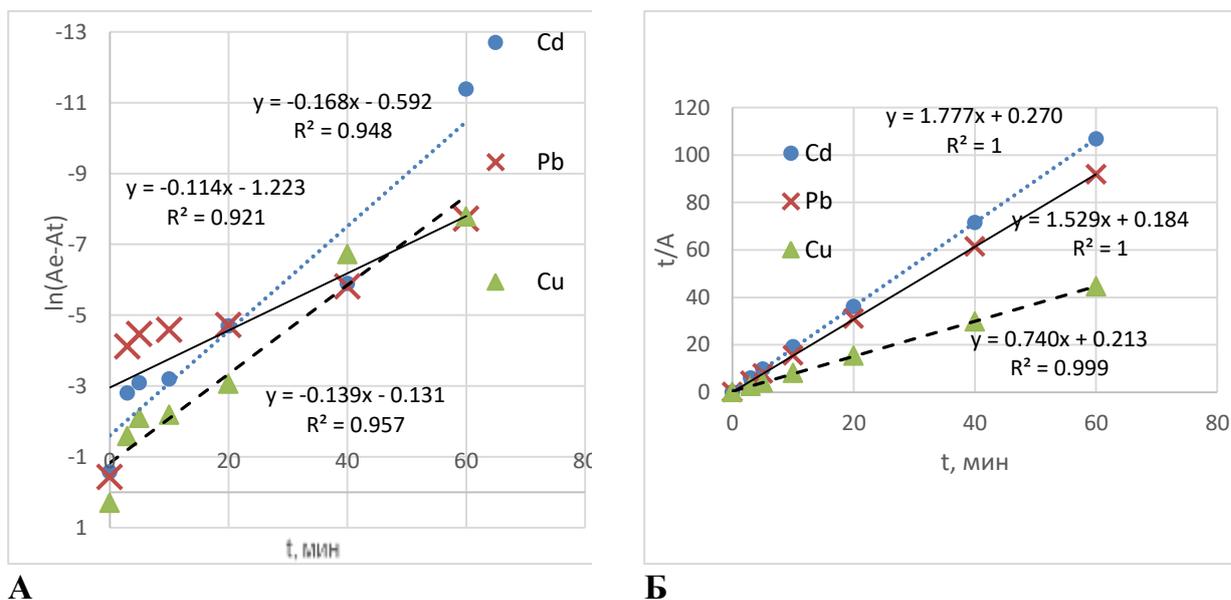
рость процесса. В случае химического взаимодействия торфа с ионами тяжелых металлов (реакция ионного обмена) вклад в кинетику может вносить стадия собственно химической реакции между сорбируемым ионом и функциональными группами поглотителя. Поэтому для выявления вклада химической стадии при описании сорбционного процесса брикетированным торфом использовали модели псевдопервого и псевдвторого порядка [36]. Линейные формы этих моделей представлены в виде уравнений (3) и (4):

$$\ln(A_e - A_t) = \ln A_e - k_1 \cdot t \quad (3)$$

$$\frac{t}{A_t} = \frac{1}{k_2 \cdot A_e^2} + \frac{1}{A_t} \cdot t, \quad (4)$$

где  $k_1$  – константа скорости сорбции в модели псевдопервого порядка;  
 $k_2$  – константа скорости сорбции в модели псевдвторого порядка.

Для установления модели, оптимально описывающей сорбцию железа на брикетированном торфе (рисунок15) сравнивались коэффициенты корреляции псевдопервого и псевдвторого порядка. Установлено, что сорбция ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  наиболее точно описывается моделью псевдвторого порядка (рисунок15 Б)



**Рисунок15** – Кинетические кривые сорбции ионов кадмия, свинца и меди брикетированным торфом в моделях псевдопервого (А) и псевдвторого (Б) порядков:  
 1- ионы  $Cd^{+2}$ , 2- ионы  $Pb^{+2}$ , 3- ионы  $Cu^{+2}$

### Заклучение.

1. Выполнены исследования кинетики сорбции брикетированным торфом ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ ;
2. Исследовано влияние крупности зерен брикетированного торфа на эффективность сорбции, с увеличением размеров эффективность процесса несколько снижается;

3. Процесс сорбции протекает интенсивно. В течении первых 5 минут из раствора извлекается ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  соответственно 91,11; 96,96; 88,39 %;

4. За 20 минут, степень достижения равновесия составила для кадмия  $Cd^{+2}$  и свинца  $Pb^{+2}$   $F=0,98$ , а для меди  $Cu^{+2}$   $F=0,96$ , а при продолжительности процесса 40 минут для всех ионов  $F=0,99$ ;

5. Кратность извлечения – отношение исходной концентрации к равновесной – составила для ионов кадмия  $Cd^{+2}$  - 114, свинца  $Pb^{+2}$  - 162, меди  $Cu^{+2}$  - 93;

6. С помощью уравнений диффузионной и химической кинетики установлено, что процесс сорбции идет в диффузионном режиме, при этом вклад в общую скорость процесса вносит стадия химического взаимодействия ионов металла с функциональными группами торфа;

7. Установлена возможность использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ .

### Список цитированных источников

1. <https://fb.ru/article/272329/kadmiy-vliyanie-na-organizm-cheloveka-otravlenie-tyajelyimi-metallami>, дата доступа 16.04.2020.
2. RamirezMarco, MassoloSerena, FracheRoberto, CorreaJuanA. Содержание металлов в прибрежных акваториях в местах добычи медной руды. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. Mar. Pollut. Bull. 2005. 50, N 1, с. 62-72. Англ.
3. EllwoodMichaelJ. Цинк и кадмий в субантарктических водах к востоку от Новой Зеландии. Zinc and cadmium speciation in subantarctic waters east of New Zealand. Mar. Chem. 2004. 87, N 1-2, с. 37-58. Англ.
4. Garcia-Hernandez Jaqueline, Garcia-Rico Leticia, Jara-Marini Martin E., Barraza-Guardado Ramon, Weaver Amy Hudson. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и организмах в период эвтрофикации. Concentrations of heavy metals in sediment and organisms during a harmful algal bloom (HAB) at KunKaak Bay, Sonora, Mexico. Mar. Pollut. Bull. 2005. 50, N 7, с. 733-739. Англ.
5. BuckNathanielJ., GobleChristopherJ., Sanudo-WilhelmySergioA. Загрязненность речной системы. Dissolved trace element concentrations in the East River-Long Island Sound system: relative importance of autochthonous versus allochthonous sources. Environ. Sci. and Technol. 2005. 39, N 10, с. 3528-3537. Библ. 39. Англ.
6. Видинеева Е. М., Толкачева Г. А., Верещагина Н. Г. О тенденциях загрязнения тяжелыми металлами речных вод Чирчик-Ахангаранского бассейна. Тр. Н.-и. гидрометеорол. ин-та Узгидромета. 2006, N 1, с. 102-109, 168, 175, 182. Рус.; рез. узб., англ.
7. AdamiGianpiero, Capriglia Lorenzo, Barbieri Pierluigi, Cozzi Federico, Lo Cocco Filippo, Acquavita Alessandro, Reisenhofer Edoardo. Загрязненность металлами речных донных отложений. Sediment metal contamination in a Creek flowing from a pristine to an industrial area of Trieste Province (Italy). Ann. chim. 2006. 96, N 9-10, с. 601-612. Библ. 16. Англ.
8. Croisetiere Louis, Hare Landis, Tessier Andre, Duchesne Sophie. Аккумуляция кадмия моховой растительностью. Modeling cadmium exchange by an aquatic moss (Fontinalis dalecarlica). Environ. Sci. and Technol. 2005. 39, N 9, с. 3056-3060. Библ. 29. Англ.

9. KolaHeliana, WilkinsonKevinJ. Оценка поглощения кадмия зелеными водорослями. Cadmium uptake by a green alga can be predicted by equilibrium modelling. *Environ. Sci. and Technol.* 2005. 39, N 9, с. 3040-3047. Библ. 45. Англ.
10. Марков В. Ф., Формазюк Н. И., Маскаева Л. Н., Макурин Ю. Н., Васин А. Н. (Россия, ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ", г. Екатеринбург). Использование композиционного сорбента для извлечения из водных растворов меди, никеля, цинка, кадмия. Экологические проблемы промышленных регионов: Материалы 7 Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 2006. Екатеринбург: АМБ. 2006, с. 224. Рус.
11. SilvaD. L., BrunnerG. Десорбция тяжелых металлов из ионообменной смолы с использованием воды и диоксида углерода. Desorption of heavy metals from ion exchange resin with water and carbon dioxide. *Braz. J. Chem. Eng.* 2006. 23, N 2, с. 213-218. Библ. 9. Англ.
12. Tomaszewska Marta, Jeschke Anna, Borowiak-Resterna Aleksandra, Cierpiszewski Ryszard, Prochaska Krystyna. Экстракция Cd(II) из хлорсодержащих систем с использованием гидрофобных никотинамидов. Studies on the rate of extraction of Cd(II) from chloride systems with hydrophobic nicotinamide derivatives. *Przem. chem.* 2006. 85, N 8-9, с. 668-670. Библ. 10. Пол.; рез.англ.
13. Удаление из воды тяжелых металлов. In situ immobilization of metals within density variant bodies of water. Пат. 7011756 США, МПК<sup>8</sup> С 02 F 1/62, С 02 F 3/28. Harrington Joseph G. N 10/398703; Заявл. 03.10.2001; Оpubл. 14.03.2006; НПК 210/603. Англ.
14. Удаление тяжелых металлов из донных отложений. Electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions. *Environ. Sci. and Technol.* 2005. 39, N 8, с. 2906-2911. Библ. 27. Англ.
15. GavrisGeorgeta, BurticaGeorgeta, IoviAurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. siing. med.* 2005. 50, N 1-2, с. 163-165. Библ. 8. Англ.
16. GavrisGeorgeta, BurticaGeorgeta, IoviAurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. siing. med.* 2005. 50, N 1-2, с. 163-165. Библ. 8. Англ.
17. ReddadZ., GerenteC., AndresY., LeCloirecP. Очистка сточных вод от производства сахара. Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucriere: mise en uvredans un procede de traitement d'eaux usees industrielles. *Dechets: sci. et techn.* 2005, N 39, с. 9-14. Библ. 10. Фр.; рез.англ.
18. Chirenje Tait, Ma Lena Q., Lu Liping. Удаление из сточных вод кадмия, меди, свинца и цинка. Retention of Cd, Cu, Pb and Zn by wool ash, lime and fume dust. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2006. 171, N 1-4, с. 301-314. Библ. 35. Англ.
19. Лиштван И. И., Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П. Очистка сточных вод от металлов-экоотоксикантов торфяными препаратами. *Химия и технол. воды.* 2007. 29, N 1, с. 67-74. Библ. 12. Рус.; рез.укр., англ. В списке Сенчук №1
20. Богуш А. А., Мороз Т. Н., Галкова О. Г., Маскенская О. М. Применение природных материалов для очистки техногенных вод. *Экол. пром. пр-ва.* 2007, N 2, с. 63-69, 6 ил., 6 табл. Библ. 12. Рус.
21. Богуш А. А., Трофимов А. Н. Применение торфо-гуминовых веществ для снижения техногенного влияния отходов на окружающую среду. *Хим. пром-сть.* 2005. 82, N 3, с. 153-158, 4 ил., 4 табл. Библ. 6. Рус.

22. Арканова И. А., Китаев Д. М., Луценко Ю. Д. Новые фильтрующие материалы для очистки природных вод. Материалы 46 Международной научно-технической конференции "Достижения науки - агропромышленному производству", Челябинск, 2007. Ч. 3. Челябинск: Челяб. гос. агроинж. ун-т. 2007, с. 164-169. Рус.
23. UlmanuMihaela, Anger Ildiko, Fernandez Yolanda, Castrillon Leonor, Maranon Elena. Удаление хрома(VI), кадмия и свинца из водных растворов сорбцией торфом. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2008. 194, N 1-4, с. 209-216. Библ. 20. Англ.
24. Косов В. И., Баженова Э. В. Сорбционно-фильтровальная загрузка для очистки воды и способ ее производства. Пат. 2174439 Россия, МПК<sup>7</sup> В 01J 20/28, 20/24, 20/30. Твер. гос. техн. ун-т. N 2000116957/12; Заявл. 26.06.2000; Оpubл. 10.10.2001. Рус. RU
25. Косов В. И., Баженова Э. В. Исследования сорбентов на природной основе для очистки промстоков от цинка. Международная научно-практическая конференция "Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов, Пенза, дек., 1999: Сборные материалов. Пенза: Изд-во Приволж. дома знаний. 1999, с. 130-133. Библ. 5. Рус. RU. ISBN 5-8356-0020-8
26. Косов В. И., Баженова Э. В. \*, Чаусов Ф. Ф. (Тверской ГТУ). Очистка промстоков от ионов цинка с применением гранулированного торфа. *Хим. и нефтегаз. машиностр.* 2001, N 7, с. 38-40, Табл. 2. Библ. 13. Рус. RU. ISSN 0023-1126
27. Янг-Тсе Ханг, Ло Говард Г. Очистка сточных вод производства по переработке картофеля с использованием адсорбции торфом и глиной и биопрепаратов. Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов: Межвузовский сборник научных трудов. Казан. гос. архит.-строит. акад. Казань: Изд-во КГАСА. 1999, с. 129-132. Рус. RU. ISBN 5-7829-0054-7
28. Способ приготовления сорбента для очистки сточных вод. Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Пат. 6429171 США, МПК<sup>7</sup> В 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Заявл. 25.02.2000; Оpubл. 06.08.2002; НПК 502/404. Англ. US
29. Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang. Удаление хрома из водных растворов модифицированным торфом. *Chengshihuanjingyuchengshishengtai=Urban Environ. and Urban Ecol.* 2002. 15, N 3, с. 5-8. Библ. 16. Кит.; рез.англ. CN. ISSN 1002-1264
30. Баженова Э. В. Экспериментальное обоснование способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов торфяными модификациями: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Твер. гос. техн. ун-т, Тверь, 2002, 22 с., ил. Библ. 12. Рус. RU
31. Томсон А., Самсонова А. С., Алещенкова З. М., Николаенков А. И., Мелещенко Б. А., Соколова Т. В., Навоша Ю. Ю., Пехтерева В. С., Чистякова Е. И., Кухарчик В. В. Перспективы использования торфа для решения комплексной проблемы охраны окружающей среды. Физика и химия торфа в решении проблем экологии: Тезисы докладов Международного симпозиума, Минск, 3-7 нояб., 2002. Минск: Тонпик. 2002, с. 158-160. Рус. BY
32. Вялкова Е. И., Большаков А. А. Очистка сточных вод с использованием природных материалов и отходов производства. Актуальные проблемы современного строительства: Сборник научных трудов 32 Всероссийской научно-технической конференции, Пенза, 25-27 марта, 2003. Ч. 1. Строительные материалы и изделия. Пенза: Изд-во ПГАСА. 2003, с. 194-198. Рус. RU. ISBN 5-9282-0125-7

33. MaW.,TobinJ. M.Удаление из сточных вод тяжелых металлов методом биосорбции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass. WaterRes. 2003. 37, N 16, с. 3967-3977. Англ. GB. ISSN 0043-1354
34. НоУ. S., McKayG.Сорбция Cu(2+) из водных растворов торфом. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1-4, с. 77-97. Библ. 62. Англ. NL. ISSN 0049-6979
35. SunQ. Y., LuP.,YangL. Z.Адсорбция свинца и меди из водных растворов модифицированным торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles. Environ. Geochem. and Health. 2004. 26, N 2, с. 311-317. Англ. GB. ISSN 0269-4042
36. Дремичева Е.С. Изучение кинетики сорбции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод/Вестн. Моск. ун-та.сер. 2. Химия. 2017. т. 58. № 4.

УДК 628.3

## ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*Б.Н. Житенёв<sup>1</sup>, Е.С.Рыбак<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Профессор, БрГТУ, Брест, Беларусь, gitenev@tut.by

<sup>2</sup>Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь

### **Аннотация**

Реальностью нашего времени стало наличие в природной среде широкого спектра натуральных и искусственных веществ, оказывающих воздействие на нормальную гормональную активность в организме как животных, так и человека. К таким примесям относятся лекарственные препараты. В статье рассмотрены вопросы присутствия лекарственных препаратов в поверхностных и подземных водах, связанные с этим проблемы и возможные пути их решения.

**Ключевые слова:** поверхностные, подземные воды, лекарственные препараты, очистка воды.

## MEDICINES IN SURFACE AND GROUNDWATER, PROBLEMS AND SOLUTIONS.

*B.N.Zhitenev<sup>1</sup>, E.S. Rybak<sup>2</sup>*

### **Abstract**

The reality of our time has become the presence in the natural environment of a wide range of natural and artificial substances that affect the normal hormonal activi-

ty in the body of both animals and humans. These impurities include pharmaceuticals. The article deals with the presence of drugs in surface and ground waters, the problems associated with this and possible ways to solve them.

**Keyword:** surface, groundwater, medications, waterpurification.

**Введение.** В [1] отмечается, что в ФРГ в настоящее время ежегодно производится более 100 т лекарственных препаратов, многие из них отличаются весьма высокой активностью, некоторые лекарства на очистных сооружениях не удаляются и переходят далее в водоисточники. Сообщается об экспериментах в лабораторном и пилотном масштабах, в ходе которых для подготовки питьевой воды использовались методы биологические, реагентные, окислительные и т. д., наиболее эффективно комбинированное использование осаждения и озонирования. В то же время эффективность удаления наиболее устойчивых препаратов не превышала в среднем 18%.

В [2] отмечается, что сточные воды (СВ) от больниц отличаются определенной спецификой, в частности, они могут содержать патогенную микрофлору, лекарственные препараты и т. д. Сообщается о пилотном эксперименте, в ходе которого СВ от госпиталя подвергались комбинированной обработке, вначале они подвергались обеззараживанию и затем биологической очистке с использованием орошаемого биофильтра (предварительной являлась ступень механической обработки). При обеззараживании в качестве окислительных агентов использовались озон и хлор, при хлорировании доза хлора составляла 4,5 мг/л с временем пребывания 1 ч и 7 мг/л с временем 1,5 ч, во втором случае обеспечивалась практически полная инактивация микрофлоры. Величина БПК<sub>5</sub>СВ составляла от 5000 до 10000 мг/л, при нагрузке на биофильтр 1–5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>сут. эффективность удаления равнялась 85–95%, при нагрузках 10–30 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>сут. уменьшалась до 75–90%.

В [3] сообщается, что в настоящее время в СВ поступает значительное количество лекарственных препаратов (ЛП) и соединений, обладающих гормональной активностью (СГА), при недостаточно глубоком удалении они поступают в водоисточники, их присутствие в питьевой воде негативно влияет на здоровье человека. К СГА относятся в том числе природный стероид 17-бета-эстрадиол, а также синтетические эстрогеноподобные соединения 17-альфа-этинилэстрадиол,нонилфенол и бисфенол А. Установлено, что бисфенол А отличается высокой устойчивостью и в условиях очистных сооружений удаляется неэффективно, в лабораторных экспериментах названные компоненты наиболее эффективно удалялись при комбинации мембранных и биологических методов. ЛП могут быть деструктированы с использованием фотокаталитических процессов, озонированием и др.

В [4] данные исследования связаны с тем, что антибиотики неэффективно удаляются в условиях городских очистных сооружений; исследовалась возможность их окислительной деструкции путем озонирования в присутствии пероксида водорода. Модельные СВ содержали два вида антибиотиков для лече-

ния людей (А1 и А2) и один вид, используемый в ветеринарии (А3), кроме того, в них присутствовали ароматические соединения, определяемые фотометрически на волне 254 нм. Данные антибиотики отличались низкой способностью к биодеструкции, для А3 отношение БПК<sub>5</sub>/ХПК составляло 0,077 и для А1 и А2 от 0 до 0,1. При озонировании с дозой озона 2,96 г/л произошло образование продуктов, отличавшихся большей способностью к биоразложению, которые далее могли быть удалены в процессах биоочистки, при этом отношение БПК<sub>5</sub>/ХПК увеличилось до 0,27 для А1 и А2 и до 0,38 для А3. Сообщается также об эффективном удалении ароматических соединений.

В [5] отмечается увеличение масштабов загрязненности природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых водоисточников фармацевтическими препаратами (ФП), основной причиной является их неэффективное удаление на очистных сооружениях. Многочисленными исследованиями установлено, что ФП нарушают деятельность гормональной системы рыб, установлена их мутагенная активность и др. В рамках Евросоюза разработана программа, в соответствии с которой будут проведены исследования процессов миграции ФП из поверхностных источников в подземные, предусмотрена разработка улучшенных схем водоочистки с эффективным удалением ФП. С другой стороны, предполагается применение схем водоподготовки с использованием методов озонирования, фотокаталитической деструкции, мембранной фильтрации и др. В результате присутствие ФП в питьевой воде должно быть исключено полностью.

В [6] сообщается, что СВ на выходе городских очистных сооружений содержали 5 видов антибиотиков (0,34–0,63 мг/л), 5 бетаблокаторов [0,18–1,7 мг/л], 4 противовоспалительных средства (0,1–1,3 мг/л), 2 регулятора липидного обмена (0,12–0,13 мг/л), антиэпилептический препарат карбамазепин (2,1 мг/л), 4 контрастных средства (КС) для рентгеноскопии (1,1–5,2 мг/л), природный эстроген эстрон (0,015 мг/л) и 2 вида освежителей воздуха (0,1–0,73 мг/л). В пилотном эксперименте эти СВ подвергались озонированию, доза озона 10–15 мг/л, время контакта 18 мин, в результате освежающие средства и эстрон не детектировались, контрастные и остальные препараты содержались в обработанных СВ в незначительных количествах, в частности, КС диатризоат удалялся на 86%. Также установлена неэффективность дополнительного использования УФ-радиации и пероксида водорода.

Диклофенак (I) – широко известный противовоспалительный препарат, который присутствует в сточных водах многих производств, попадает в природные воды и оказывает вредное воздействие на рыб. Исследована кинетика разложения I и природа промежуточных продуктов при его окислении. Совместное применение УФ-облучения/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и озонирования ведет к полному превращению хлора в хлорид; степень минерализации при озонировании 32% и при обработке H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФ 39% после обработки в течение 90 мин [7].

В [8] обсуждаются результаты изучения окисления парацетамола в воде озонированием и фотолизом с пероксидом водорода. Идентифицированы промежуточные и конечные продукты, определены кинетические параметры. Степень минерализации парацетамола 30% и 40% для озонирования и фотолиза соответственно.

В [9] отмечается, что в настоящее время в грунтовых водах (ГВ) во многих случаях присутствуют устойчивые загрязнители, не деструктурирующиеся в биологических процессах. В данных исследованиях модельными загрязнителями являлись сульфосалициловая кислота (ССК) и пропионовая кислота (ПК). В лабораторных условиях исследовалась возможность окислительной деструкции ССК и ПК в ходе озонирования, в качестве катализатора использовался  $MnO_2$ . Установлено, что не все формы  $MnO_2$  обладают каталитической активностью, три типа  $MnO_2$  не обладали этой активностью относительно ПК. При озонировании модельных ГВ, включавших ССК, эффективная деструкция наблюдалась при рН раствора 1,0, при рН 6,8 и 8,5 каталитическая активность оксида металла не наблюдалась.

В [10] сообщается, что 17 $\alpha$ -этинилэстрадиол (ЕЕ2) является синтетическим эстрогеном, применяется в качестве контрацептива, выделяется с уриной, на очистных сооружениях удаляется неэффективно и с их выхода поступает в природные водные системы. ЕЕ2 в 11-27 раз более активен, чем естественный эстроген 17  $\alpha$  -эстрадиол, при использовании в качестве тест-объекта форели радужной активность ЕЕ2 фиксировалась при концентрации в воде менее 0,1 нг/л, содержание в очищенных СВ в типичных случаях 0,5–10 нг/л. В экспериментах обеззараживание питьевой воды производилось озонированием, содержание ЕЕ2 1 и 10 мкмоль, доза  $O_3$  5–24 мкмоль (такие дозы обычно применяются при обеззараживании). Установлено, что в результате содержание ЕЕ2 снижалось более, чем в 200 раз, при этом образовывались побочные соединения, включавшие 5,6,7,8-тетрагидро-2-нафтол и 1-этинил-1-циклогексанол.

В [11] изучена эффективность различных окислительных методов в ходе предобработки сточных вод производства пенициллина, при средних начальных величинах ХПК, общего органического углерода и БПК<sub>5</sub> 1395, 920 и 0 мг/л соответственно. Для окисления использованы в частности процессы щелочного озонирования, совместного воздействия пероксида водорода и УФ-облучения, а также процесс Фентона с одновременным УФ-облучением и без него. Отдельно изучены условия предобработки активного соединения на основе пенициллина - тригидрата амоксициллина, полностью удаляемого из сточных вод после 40 минут окисления реактивом Фентона с УФ-облучением (при рН 3 и молярном соотношении ионов железа (II) и пероксида водорода 1:20] и в процессе щелочного озонирования при рН 11,5.

В [12] отмечается, что данные исследования связаны с тем, что многие виды фарм препаратов на очистных сооружениях удаляются неэффективно, при поступлении в природные водоисточники и далее в питьевую воду они могут отрицательно влиять на состояние здоровья. В ходе пилотных экспериментов выходящие СВ озонировались при концентрации  $O_3$  до 2 и более мг/л, установка включала 2 колонны 0,2/4,8 м, соединенные последовательно, в первую через тонкий диспергатор подавался озон, вторая контактная. В СВ до/после озонирования определялись 4 вида эстрогенов и 11 форм других фармпрепаратов, в том числе сульфонамиды и др., их концентрация составляла от 0,5 до 1,5 мкг/л. Установлено, что эффективность удаления находилась в пределах от 90 до 99%, при этом ряд препаратов окислялся не полностью ([до промежуточных продуктов]).

В ноябре 2006 г. в Берлине состоялся семинар, посвященный проблеме загрязнения природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых водоисточников фармацевтическими препаратами (ФП), а также соединениями, влияние которых на человека аналогично воздействию естественных гормонов. В представленных докладах [13] рассматривались вопросы удаления ФП на очистных сооружениях. Сообщается, что такие ФП, как сульфаметоксазол, карбамазепин, диатризоат на сооружениях не удаляются и переходят в природные источники. При подготовке питьевой воды они могут удаляться методами интенсивного окисления с применением озона, УФ-излучения, мембранными методами и др.

В [14] сообщается, что в декабре 2006 г. в Берлине состоялся семинар, посвященный проблемам защиты природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых водоисточников, в частности рассматривался вопрос содержания в их воде следовых количеств загрязнителей антропогенного характера. Среди них в том числе называются фармацевтические препараты (ФП). В исследованиях в частности в качестве тест-объекта использовалась форель радужная. В продолжительных опытах в воде присутствовал ФП диклофенак в концентрации 5 мкг/л. Установлено, что при этом существенно снижалась репродуктивная функция форели. При подготовке питьевой воды эти загрязнители могут разрушаться посредством облучений УФ-радиацией, озонированием, при комбинации этих и других воздействий и т. д.

В [15] сообщается об обследованиях городских очистных сооружений (г. Берлин), выходящие СВ имели в среднем ХПК 40 мг/л, БПК<sub>5</sub> 3,8 мг/л. Эти СВ содержали также 15 видов фармпрепаратов и эндокринные соединения, среди биологических загрязнителей присутствовали общие и фекальные колиформы др. В лабораторных экспериментах эти СВ озонировались при дозах O<sub>3</sub> от 0,2 до 1,4 мгO<sub>3</sub>/мг растворенного органического углерода. Из фармпрепаратов наибольшей устойчивостью отличались клофибриновая кислота и бензафибрат, содержание общих калиформ несущественно превышало нормативные значения, светопоглощение на волне 254 нм уменьшалось эффективно.

В [16] сообщается, что с выхода очистных сооружений в речную воду поступал ряд фармацевтических препаратов (ФП); среди них идентифицированы 4 бета-блокатора, один ФП антиэпилептик, 4 противовоспалительных ФП и 3 фторхинолона. Обработка этой речной воды до питьевого качества производилась на пилотной установке, схема которой включала ступени коагуляции с солью железа, скорые песчаные фильтры, ступень озонирования, 2 ступени сорбции/фильтрования с гранулированным активированным углем и ступень обеззараживания посредством УФ-радиации. В целом выходящая вода соответствовала стандартам качества для питьевой воды, но недостаточно эффективно удалялись атенолол и ципрофлоксацин.

В Австралии обследовались 3 системы, в которых осуществлялся рецикл СВ, их доочистка производилась на мембранах обратного осмоса, а также на стадиях озонирования и обработки на биофильтрах с загрузкой в виде гранулированного активированного угля. В поступающих СВ были идентифицированы 11 фармпрепаратов, включая анальгетики и противовоспалительные средства не-

стероидного типа. На выходе сооружений установлено присутствие в невысоких концентрациях нескольких видов эстрогенов естественного вида и в форме фармпрепаратов, они поступают в СВ с выделениями. Приводятся данные о формах мониторинга и т. д. [17].

В [18] рассматриваются проблемы очистки СВ от производства фармпрепаратов (ФП). Указывается, что многие ФП, их составляющие, а также метаболиты, возникающие в процессах биодеструкции, в условиях городских сооружений удаляются неэффективно, их глубокая деструкция может быть обеспечена, в частности, в процессах окисления с использованием озона. Однако поскольку СВ на входе очистных сооружений содержат комплекс загрязнителей, затраты озона на деструкцию всей смеси являются неэффективными, в связи с чем предлагается озонировать только СВ, содержащие ФП, на месте их образования. В экспериментах с использованием рекламируемой аппаратуры при концентрации озона 5 мг/л наблюдалась полная деструкция модельного ФП в течение 20 мин.

В [19] сообщается о вводе в эксплуатацию установок для производства нескольких фармацевтических препаратов, в частности это капацетабин (КТ) и микофенолатмотефил (ММ). Поскольку КТ и ММ обладали весьма высокой активностью, принято решение СВ от их производства перед передачей на городские сооружения обрабатывать на локальной установке. Сравнивались три метода: окисление в системе УФ-радиация/ $H_2O_2$ , озонирование и сорбция на активированном угле, в результате принято озонирование как наиболее эффективный способ деструкции КТ и ММ. В опытах КТ удалялся полностью при  $O_3$  в газе 30 мг/л, ММ удалялся менее эффективно через ряд промежуточных продуктов.

В [20] констатируется, что в настоящее время в природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых водоисточниках содержатся значительные количества соединений, обладающих эндокринной активностью: природные и синтетические гормоны, используемые как лекарственные препараты, кроме того, эндокринной активностью обладают многие соединения техногенной природы. Среди последних эстрогеноподобными компонентами являются многие пестициды, алкилфенолы, бисфенол А и др. В связи с высокой эндокринной активностью требуется их удаление при подготовке питьевой воды. В исследованиях использовались природные эстрогены 17бета-эстрадиол, эстрон, эстриол, 17альфа-эстрадиол (контрацептив), а также применяемые в химическом синтезе 4-н-нонилфенол и бисфенол А. Установлено, что полная деструкция данных соединений при озонировании пробы происходила при экспозиции от 5 до 15 мин, в сравнительных опытах в качестве окислителя применялся хлор, установлено, что в этом варианте природные эстрогены деструктировались с меньшей эффективностью.

В [21] сообщается, что карбамазепин (КМ) является лекарственным препаратом (антиэпилептик), широко применяется в странах Европы, через очистные сооружения поступает в природные водоисточники. Обследовались несколько рек и озер в ФРГ и Швейцарии, содержание в воде КМ составляло от 70 до 500

нг/л. Сделан вывод о необходимости его удаления при подготовке питьевой воды. В лабораторных экспериментах исследовалась возможность деструкции КМ путем озонирования при концентрации  $O_3$  0,3 мг/л. Установлено, что при этом происходит образование трех основных промежуточных продуктов, которые доступны для биоразложения и могут удаляться в биологическом процессе.

В [22] акционерное общество Roche поручило компании EnviroChemie разработать для нового производства в Мексике метод, который позволит предотвратить выброс экологически токсичных лекарственных отходов в окружающую среду и сточные воды до поступления в общие очистные сооружения. На первом этапе работ были исследованы в лабораторных условиях три метода - UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-окисление, озоновое окисление и адсорбция с помощью активированного угля, кроме того, была произведена их экономическая и экологическая оценка. Сравнение показало, что озонирование является самым эффективным методом безопасного и полного расщепления биологически активных веществ в сточных водах. Вторым этапом проекта является разработка и реализация компанией EnviroChemie концепции промышленной установки на основе существующих данных. Статья описывает этапы проекта и концепцию установки Envirochem для удаления биологически активных веществ из сточных вод промышленной установки непосредственно в месте их образования.

В [23] сообщается, что в госпитале применялись различные препараты, обладавшие высокой токсичностью, и имелось инфекционное отделение. В лабораторных экспериментах разрабатывался метод обеззараживания/детоксикации СВ в окислительном процессе. Первой ступенью очистки СВ являлась анаэробная, далее испытывались два варианта обработки СВ в процессах интенсивного окисления. В первом варианте проба СВ озонировалась и одновременно облучалась от источника УФ-радиации, во втором в СВ дополнительно дозировался катализатор в виде порошка диоксида титана. Сделан вывод о предпочтительности второго варианта, токсичность, определяемая по параметру ЛД<sub>50</sub>, практически отсутствовала, исходное содержание бактериальной микрофлоры  $1,7 \times 10^6/100$  мл, после обработки микрофлора не зафиксирована, удельные энергозатраты на обработку СВ 7,5 Втч/л.

В [24] данные исследования связаны с тем, что в медицинских учреждениях при рентгеновском диагностировании применяются препараты, повышающие контрастность изображения. Пациент принимает раствор такого препарата, который впоследствии уходит в канализацию и далее на очистные сооружения. В многочисленных работах сообщается, что эти контрастные препараты (КП) детектируются как в поверхностных, так и подземных источниках, сами по себе КП малотоксичны, но при обеззараживании питьевой воды озонированием образуются токсичные побочные продукты. В экспериментах вода, содержащая йодированные КП, подвергалась озонированию. Установлено, что при pH 7 и 9 концентрация йодсодержащих токсикантов не превышала 0,4 мг/л и с увеличением pH до 12 возрастала до 5,9 мг/л (экспозиция везде 32 мин.).

В [25] отмечается, что в настоящее время увеличилось число факторов, отрицательно влияющих на качество воды природных гумусово-гидрокарбонатно-

кальциевых источников, в частности повысился уровень бактериальной и химической загрязненности, в первом случае это распространение таких видов, как легионелла, паразитарных форм простейших и др. Химическими загрязнителями являются соединения техногенной природы, а также медикаменты, сообщается, что в поверхностных водах идентифицировано более 4000 их видов. При мониторинге рекомендуется использовать методы жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Для удаления устойчивых загрязнителей и обеззараживания применяются методы окисления с использованием озона, УФ-радиации в присутствии катализатора и т. д. Приводятся данные о загрязнении рек и озер, указывается, что качество воды в них ухудшается в периоды эвтрофикации.

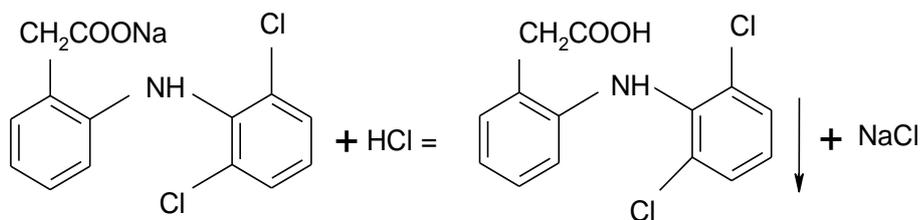
Таким образом, улучшенные окислительные технологии являются, по сути, универсальным методом очистки воды от лекарственных препаратов. Использование той или иной технологии определяется природой препарата и требований к качеству очищенной воды.

**Экспериментальные исследования по очистке воды от лекарственных препаратов окислительными технологиями.** Из анализа литературных данных следует, что в настоящее время широко исследуются пути попадания фармацевтических препаратов, а также средств личной гигиены, производимых в значительных количествах, в подземные и поверхностные водоисточники и пагубное их воздействие на экосистемы, а также опасность перечисленных соединений для питьевого водоснабжения. Активно анализируются возможные аспекты воздействия данных веществ на здоровье человека. Отмечается актуальность и необходимость изучения проблемы рассеивания лекарственных средств в гидросфере планеты и разработке нормативной базы для ее регламентации. Основной причиной попадания лекарственных препаратов в водоемы является их поступление вместе с очищенными и неочищенными сточными водами.

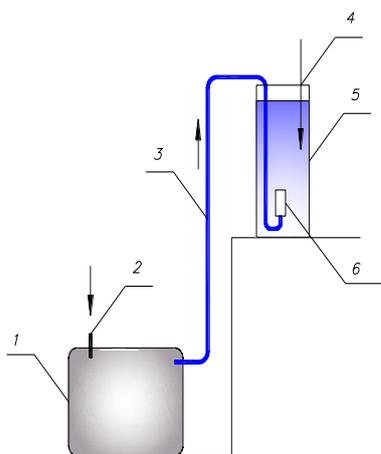
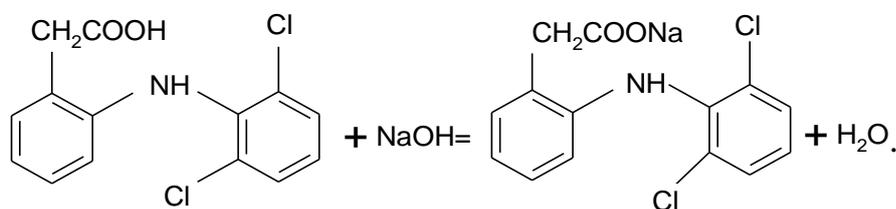
*Очистка воды от лекарств на примере диклофенака кислородом в присутствии катализатора диоксида титана.*

Исходным веществом для проведения экспериментальных исследований являлся медицинский препарат: раствор для инъекций 2,5 % диклофенак натрия, содержащий 75,0 мг диклофенака натрия. Исходное вещество представляло собой прозрачную слегка окрашенную жидкость со слабым запахом спирта бензилового. В состав раствора входили также пропиленгликоль, маннит, спирт бензиловый, натрий пиросульфит, натрий гидроскид и вода. Присутствие столь большого количества различных примесей в исходном веществе могло привести к получению недостоверного результата. С целью исключения ошибки и получения неверного результата были произведены ряд действий с исходным веществом. Из исходного вещества были удалены все примеси (последовательность действий приведена ниже).

Для получения экспериментального образца в исходный раствор была добавлена соляная кислота ( $HCl$ ) с концентрацией  $0,1$  моль/дм<sup>3</sup>.

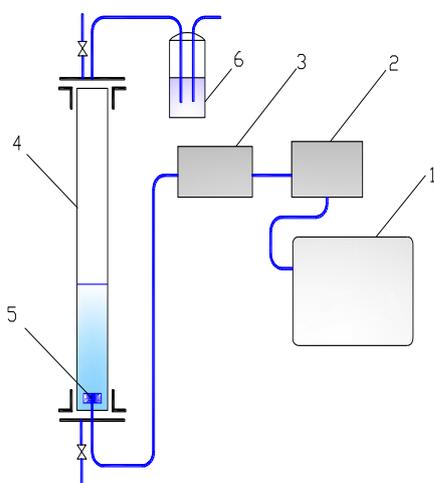


В процессе взаимодействия исходного раствора с соляной кислотой наблюдалось выпадение белого кристаллообразного осадка, данный осадок является кислотой диклофенака (процесс выпадения осадка наблюдался в течение 30 минут). В дальнейшем полученный осадок был промыт дважды дистиллированной водой и высушен. Полученный препарат плохо растворялся в воде, для устранения этого к нему прибавили гидроксид натрия.



**Рисунок 1** – Схема экспериментальной установки по каталитическому окислению диклофенака кислородом

- 1 – концентратор кислорода «Оху 6000»;
- 2 – забор атмосферного воздуха;
- 3 – трубопровод подачи кислорода;
- 4 – ввод катализатора  $\text{TiO}_2$ ;
- 5 – реактор;
- 6 – диспергатор кислорода



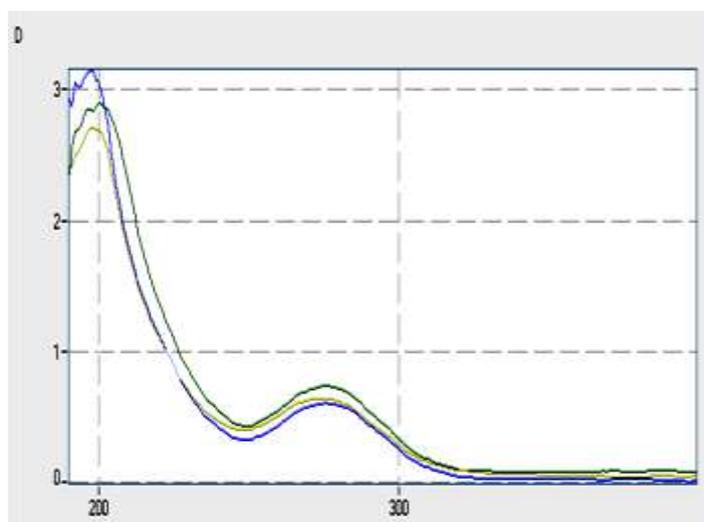
**Рисунок 2** – Схема экспериментальной установки по окислению диклофенака озоном

- 1 – концентратор кислорода;
- 2 – озонатор «Platon 10/2»;
- 3 – озонметр «Медозон 254/5»;
- 4 – реактор;
- 5 – диспергатор озона;
- 6 – деструктор остаточного озона

Исследования проводились на модельном растворе, содержащем различные концентрации диклофенака (ДКФ). Первоначально был приготовлен раствор с массовой концентрацией 1 г/л, из которого впоследствии готовились рабочие растворы с концентрацией 10 мг/л и 20 мг/л.

В качестве катализатора использовался диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ). Подача кислорода в емкость с исходным раствором осуществлялась в течение 10 минут, после фильтрования был снят спектр на спектофотометре СФ-2000. Исследования каталитического окисления ДКФ пероксидом водорода в присутствии катализатора диоксида марганца проводились в статических условиях при времени обработки 10 минут.

Спектры исходного раствора диклофенака и растворов, обработанных кислородом и пероксидом водорода в присутствии катализаторов, приведены на рисунке 3.

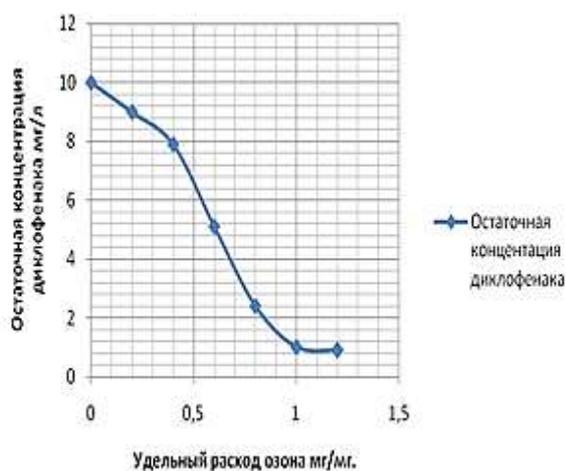


- - спектр исходного раствора с концентрацией диклофенака 20 мг/л;
- - спектр раствора, подверженного окислению кислородом в присутствии диоксида титана;
- - спектр раствора, подверженного окислению пероксидом водорода в присутствии диоксида марганца

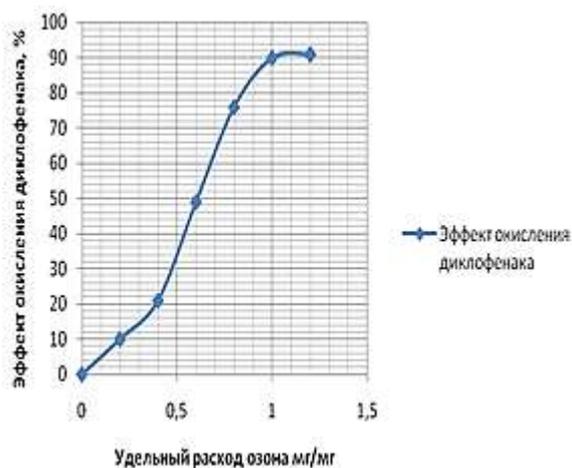
**Рисунок 3**—Спектры поглощения исследуемых растворов

Максимум светопоглощения наблюдался для ДКФ при длине волны около 195 нм. Обработка кислородом и пероксидом водорода приводит к незначительному уменьшению концентрации диклофенака, при этом пероксид водорода более эффективен. Таким образом, каталитическое окисление диклофенака при обработке кислородом в присутствии диоксида титана и при обработке пероксидом водорода в присутствии диоксида марганца недостаточно эффективно. Для более полного окисления ДКФ были проведены эксперименты по обработке его озоном на установке, схема которой приведена на рисунке 2. В опытах использовался раствор с концентрацией 10 мг/л ДКФ. В контактную колонку заливался фиксированный объем исследуемой воды (1 л) и обрабатывался озоном. Количества озона, подаваемого в контактную колонку, составляли от 3 до 14 мг на 10 мг ДКФ. Время контакта озона с раствором принималось равным 10 минут. Были использованы различные дозы озона при постоянной исходной концентрации диклофенака в воде 10 мг/л. В первую минуту взаимодействия раствор принимал ярко выраженную окраску желтого цвета, по мере дальней-

шего введения озона, более 3 мг/л, окраска исчезала. Результаты обработки раствора диклофенака различными дозами озона представлены на рисунках 3.4 и 3.5. Глубина деструкции диклофенака определяется удельной дозой озона, при увеличении которой до 1 мг/мг остаточное содержание ДКФ снижается с 10 до 1 мг/л, т. е. эффект окисления составляет около 90 %. Дальнейшее введение озона приводит к возникновению «грозового запаха», свидетельствующего о наличии свободного, не вступившего в реакцию окислителя. Таким образом, прямое озонирование является наиболее эффективным методом очистки воды от диклофенака.



**Рисунок 4** – Остаточное содержание диклофенака в зависимости от удельного расхода озона



**Рисунок 5** – Эффект окисления диклофенака в зависимости от удельного расхода озона

### Заключение.

1. Основными путями попадания лекарственных препаратов в водные объекты являются:

- сточные воды фармацевтических предприятий;
- сточные воды учреждений здравоохранения (больницы, поликлиники, специализированные диспансеры и т. п.);
- физиологические выделения людей.

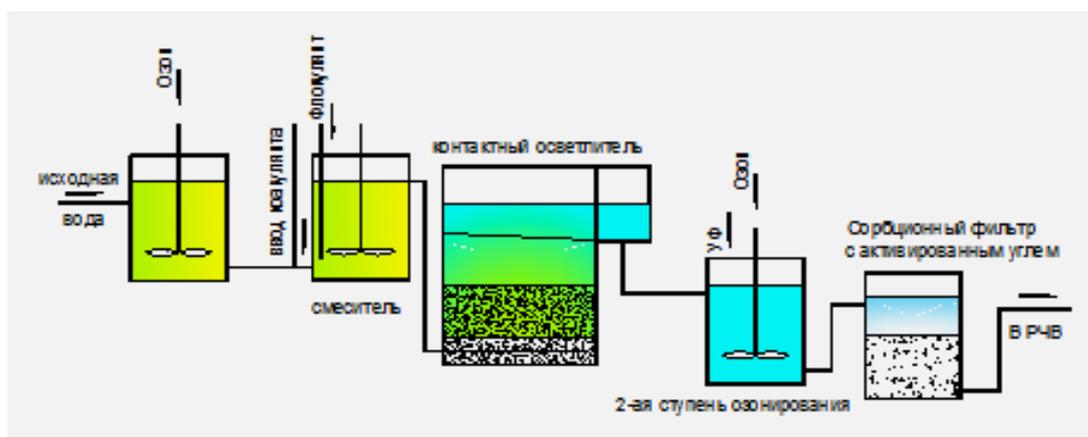
Оценить вклад каждой из этих групп возможно лишь при детальном изучении местных условий: наличия предприятий, выпускающих лекарственные препараты; применяемые на них технологии; численность населения; обеспеченность учреждениями здравоохранения; уровень заболеваемости и т. п. Поскольку первые две группы источников загрязнения являются точечными, т. е. расположенными компактно, то наиболее эффективным методом предотвращения распространения лекарственных препаратов является очистка их сточных вод на локальных очистных сооружениях. При этом основным наиболее общим критерием очистки является степень биологической деструкции загрязнений обработанных сточных вод, что может быть оценено как отношение биохимического потребления кислорода в течение пяти суток (БПК<sub>5</sub>) к химическому потреблению кислорода (ХПК). В идеале, следует стремиться к тому, чтобы это отношение приближалось к единице. Это являлось бы основанием считать, что

содержащиеся в сточной воде примеси будут успешно удалены на очистных сооружениях с биологической очисткой.

2. Обработку сточных вод, содержащих лекарственные препараты по той или иной технологии, следует осуществлять с учетом их состава. Так, на предприятиях, выпускающих лекарственные препараты, сточные воды, образующиеся в процессе производства, надлежит выделить в отдельную линию, это значительно сократит их объем и упростит технологию обезвреживания.

Поскольку лекарственные препараты являются в основном органическими веществами, то для их обезвреживания наиболее эффективны окислительные технологии: УФ,  $O_3$ ,  $УФ/TiO_2$ ,  $O_3/Fe^{2+}$ ,  $O_3/H_2O_2$ ,  $O_3/УФ$ ,  $УФ/H_2O_2$ ,  $H_2O_2/Fe^{2+}$ ,  $H_2O_2/Fe^{2+}/O_3$ ,  $УФ/H_2O_2/O_3$ ,  $H_2O_2/Fe^{2+}/УФ$  и  $O_3/УФ/H_2O_2/Fe^{2+}$ .

Обосновать выбор того или другого метода обработки можно лишь для конкретных условий, с учетом химической структуры лекарства, его стойкости к биодegradации, объема сточных вод и др. Второй аспект проблемы лекарственных препаратов – следовые количества их в водных объектах, используемых в качестве источников питьевого водоснабжения. В этом случае наиболее целесообразно выполнить ретехнологизацию действующих сооружений, оснастив их первичным озонированием (при необходимости), вторичным озонированием с УФ (или без УФ) и сорбцией на активированных углях (рис. 6).



**Рисунок 6**– Схема ретехнологизации станции реагентного обесцвечивания воды на контактных осветлителях для удаления микрозагрязнений: лекарств, пестицидов

3. Отдельно следует рассмотреть вопрос об обработке сточных вод учреждений здравоохранения. В этом случае невозможно разделить бытовые сточные воды и воды, содержащие лекарства. Если не выполнить предварительную обработку на локальных сооружениях, то неизбежен транзит лекарственных препаратов в систему водоотведения, а затем в водоем-приемник очищенных сточных вод. В литературе приводятся данные об эффективности двухступенчатой обработки: на первой ступени вода подвергается анаэробному сбраживанию в многокамерных септиках, затем вода подвергается биологической очистке на биофильтрах. Осадок из септика сорбирует значительную часть микропримесей.

### Список цитированных источников

1. Ternes, Thomas A. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment / Ternes Thomas A., Meisenheimer Martin, McDowell Derec, Sacher Frank, Brauch Heinz-Jurgen, Haist-Gulde Brigitte, Preuss Gudrun, Wilme Uwe, Zulei-Seibert Ninette // *Environ. Sci. and Technol.* – 2002. – Vol. 36, № 17. – P. 3855–3863.
2. Wang, Da-shan. Ziranhexueban / Da-shan Wang // *J. Xinyang Norm. Univ. Natur. Sci. Ed.* – 2003. – Vol. 16, № 3. – P. 369–372.
3. Klopp, Ralf. Xenobiotika - Vorkommen, Bewertung, Entfernung / Ralf Klopp // *KA - Abwasser, Abfall.* – 2003. – Vol. 50, № 12. – P. 1520–1522.
4. Стрикаленко, Т. В. Некоторые проблемы токсикологии сточных вод // 4 Международный конгресс по управлению отходами (ВэйстТЭК-2005), Москва, 31 мая-3 июня, 2005: сборник докладов. – М.: СИБИКО Инт, 2005. – С. 647–648.
5. Balcioglu, I. Akmehmet. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes / Balcioglu I. Akmehmet, Otker M. // *Chemosphere.* – 2003. – 50, № 1. – P. 85–95.
6. Dep Kampf gegen PPCP // *WWT: Wasserwirt. Wassertechn.* – 2004. – № 1–2. – P. 28–29.
7. Ternes, Th. A. Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? / Th. A. Ternes, J. Stuber, N. Herrmann, D. McDowell, A. Ried, M. Kampmann, B. Teiser // *Water Res.* – 2003. – Vol. 37, № 8. – P. 1976–1982.
8. Andreozzi, R. Paracetamol oxidation from aqueous solutions by means of ozonation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV system / R. Andreozzi, V. Caprio, R. Marotta, D. Vogna // *Water Res.* – 2003. – Vol. 37, № 5. – P. 993–1004.
9. Tong, S.-P. Characteristics of MnO<sub>2</sub> catalytic ozonation of sulfosalicylic acid and propionic acid in water / S.-P. Tong, W.-P. Liu, W.-H. Leng, Q.-Q. Zhang // *Chemosphere.* – 2003. – Vol. 50, № 10. – P. 1359–1364.
10. Huber, Marc M. Removal of estrogenic activity and formation of oxidation products during ozonation of 17-ethinylestradiol / Huber Marc M., Ternes Thomas A., Von GuntenUrs // *Environ. Sci. and Technol.* – 2004. – Vol. 38, № 19. – P. 5177–5186.
11. Arslan-AlatonIdil. Pre-treatment of penicillin formulation effluent by advanced oxidation processes / Arslan-AlatonIdil, DogruelSerdar // *J. Hazardous Mater.* – 2004. – Vol. 112, № 1–2. – P. 105–113.
12. Huber, Marc M. Oxidation of pharmaceuticals during ozonation of municipal wastewater effluents: A pilot study / Huber Marc M., GobelAnke, Joss Adrian, Hermann Nadine, Loffler Dirk, Mcardell Christa S., RiedAchim, SiegristHansruedi, Ternes Thomas A., GuntenUrs Von // *Environ. Sci. and Technol.* – 2005. – Vol. 39, № 11. – P. 4290–4299.
13. Thaler, Sabine. Anthropogene Spurenstoffe im Wasser // *KA - Abwasser, Abfall.* – 2007. – Vol. 54, № 3. – P. 231–238.
14. Geissen, Sven-Uwe. Anthropogene Spurenstoffe im Wasser // *WWT: Wasserwirt. Wassertechn.* – 2007.–№ 3. – P. 55–59.
15. Bahr, Carsten. Ozonung von gereinigtem Abwasser zur Spurenstoffentfernung und Desinfektion / Bahr Carsten, Ernst Mathias, Heinzmann Bernd, Jekel Martin, Luck Francis, Ried Achim // *KA - Abwasser, Abfall.* – 2007. – Vol. 54, № 9. – P. 902–908.

16. Vieno, Niina M. Occurrence of pharmaceuticals in river water and their elimination in a pilot-scale drinking water treatment plant. Environ/ VienoNiina M., HarkkiHeli, TuhkanenTuula, Kronberg Leif // Sci. and Technol. – 2007. – Vol. 41, № 14. – P. 5077–5084.
17. Al-Rifai, Jawad H. Occurrence of pharmaceutically active and non-steroidal estrogenic compounds in three different wastewater recycling schemes in Australia / Al-Rifai Jawad H., Gabelish Candace L. Schafer Andrea I. // Chemosphere. – 2007. – Vol. 69, № 5. – P. 803–815.
18. Billenkamp, Elmar. Oxidation durch Ozon / Elmar Billenkamp, Jurg Straub, Martin Studer // Pharma + Food. – 2008. – Vol. 11, № 3. – P. 68–70.
19. Billenkamp, Elmar. Elimination von Arzneimitteln / Elmar Billenkamp, Jurg Straub, Martin Studer, Jochen Turk // WWT: Wasserwirt. Wassertechn. – 2008. – № 9. – P. 29–31.
20. Deborde Marie. Kinetics of aqueous ozone-induced oxidation of some endocrine disruptors / Marie Deborde, Sylvie Rabouan, Jean-Pierre Duguet, Bernard Legube // Environ. Sci. and Technol. – 2005. – Vol. 39, № 16. – P. 6086–6092.
21. McDowell, Derek C. Ozonation of carbamazepine in drinking water: identification and kinetic study of major oxidation products / McDowell Derek C., Huber Marc M., Wagner Manfred, Von GuntenUrs, Ternes Thomas A. // Environ. Sci. and Technol. – 2005. – Vol. 39, № 20. – P. 8014–8022.
22. Билленкамп, Э. Эффективное расщепление медикаментов посредством озонирования / Э. Билленкамп, Ю. Штауб, М. Штудер, Й. Тюрк // Водоочистка. Водоподгот. Водоснабж. – 2008. – № 3. – С. 54–56.
23. Machado, E. L. Secondary hospital wastewater detoxification and disinfection by advanced oxidation process / Machado E. L., Albrecht C., Kist L. T., Schneider R. de. C. S., Schmidt R., Hoeltz J. M., Dalberto D., Alcayaga E. A. L. // Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-1): The 1 European Conference, Chania, Sept. 7–9, 2006: Book of Abstracts. – Chania: Techn. Univ. Crete, 2006. – P. 227.
24. Seitz, W. Formation of oxidation by-products during ozonation of iodinated X-ray contrast media / Seitz W., Jiang J.-Q., Weber W. H., Maier D., Maier M., Lloyd B. J. // Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-1): The 1 European Conference, Chania, Sept. 7-9, 2006: Book of Abstracts. Chania: Techn. Univ. Crete, 2006. – P. 121.
25. Mizier, Marie-Odile. Eau potable Surveiller, alerter, traiter pour garantir la qualite //Eau, ind., nuisances. – 2006. – № 293. – P. 37–39.
26. Солдатенков, А. Т. Основы органической химии лекарственных веществ / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, И. В. Шендрик. – Москва: «Химия», 2001. – 192 с.
27. Гуринович, А. Д. Очистка природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод от фармацевтических препаратов методом окисления / А. Д. Гуринович, Б. Н. Житенев, Н. В. Воронович // Вестник БрГТУ. – 2012. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 20–25.

**МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СКРЫТЫХ УТЕЧЕК  
НА ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ  
СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МИНСКА**

*Э. И. Михневич<sup>1</sup>, Е. И. Ермакович<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь,  
ed\_mik\_bia@tut.by

<sup>2</sup>Инженер-технолог УП «Минскводоканал», Минск, Республика Беларусь,  
ermakovich.evgen@mail.ru

**Аннотация**

Описан опыт применения акустического, корреляционно-акустического и телеробототехнического методов диагностики трубопроводов, которые являются основой мониторинга эксплуатируемых УП «Минскводоканал» водопроводных сетей на поиск скрытых утечек и позволяют с достаточной точностью определять потери воды на исследуемых участках сети.

**Ключевые слова:** водопроводные сети, методы диагностики, акустические приборы, телевизионные роботы.

**METHODS FOR DIAGNOSIS OF HIDDEN LEAKS IN THE WATER  
NETWORK OF THE WATER SUPPLY SYSTEM MINSK**

*E. I. Mikhnevich<sup>1</sup>, E. I. Ermakovich<sup>2</sup>*

**Abstract**

The experience of using acoustic, correlation-acoustic and telerobotic methods of pipeline diagnostics is described, which are the basis for monitoring water supply networks operated by the Minskvodokanal Unitary Enterprise to search for hidden leaks and allow one to determine with sufficient accuracy water losses in the studied sections of the network.

**Keywords:** water supply networks, diagnostic methods, acoustic devices, television robots.

**Введение.** Основной целью служб, эксплуатирующих водопроводные сети, является повышение качества и надежности водоснабжения потребителей. Для достижения поставленной цели очень важным является снижение количества повреждений на водопроводной сети города и уменьшение затрат на ремонтные работы. В связи с этим возрастает роль диагностики и профилактики водопроводной сети. Основой такой диагностики, направленной на выявление аварийного участка на ранней стадии, является мониторинг водопроводной сети. Целью комплекса работ, проводимых с помощью систем мониторинга водопроводной сети, является обнаружение скрытых утечек - потерь воды, не проявля-

ющихся выходом на поверхность или подтоплением различных подземных коммуникаций и сооружений, что определяет трудность их нахождения, при этом приводящих к значительным потерям воды.

**Методы диагностики.** В настоящее время существует целый ряд различных методов поиска утечек воды: гидравлические (визуальный контроль уровня воды в гидрантах при закрытии участка сети; анализ манометрической съёмки); акустический и корреляционно-акустический; телеробототехнический и др.[1,2,3].

Существенным недостатком гидравлических методов является необходимость отключения участков сети трубопровода, что делает эти методы не оперативными и трудоёмкими в исполнении.

Более точными, позволяющими установить не только факт наличия, но и место утечки, являются акустические методы [1,2]. При этом задачи нахождения утечек из водопроводов решаются путем локализации места наибольшей интенсивности акустического «шума», появляющегося при резком изменении давления жидкости в месте повреждения трубопровода. Чем больше разница давлений внутри трубопровода и вне его, тем больше интенсивность звуковых колебаний. Метод акустического нахождения мест повреждений трубопровода разделяется на 2 способа: акустический и корреляционно-акустический.

При акустическом способе находится место наибольшей величины колебаний на поверхности земли, связанных с утечкой. Колебания грунта преобразуются датчиками сейсмического типа в электрический ток, который затем усиливается, фильтруется от посторонних шумов и его значение отображается на дисплее. Кроме этого, усиленный электрический ток преобразуется в звуковые колебания в головных наушниках.

При корреляционно-акустическом методе устанавливаются 2 датчика сейсмического типа с обеих сторон поврежденного трубопровода с помощью магнитов. Колебания стенок трубы преобразуются в электрический ток, усиливаются, фильтруются от промышленных помех и излучаются передающими устройствами, процессор вычисляет расстояние от датчика до места повреждения.

При первом способе необходимо точно знать местоположение трубопровода и обладать прибором с максимальной чувствительностью к колебаниям грунта. При втором - длину участка трубопровода, диаметр, материал стенок трубы и иметь прибор, обладающий максимальной чувствительностью и помехозащищенностью к внешним шумам. Основным недостатком акустического метода является обнаружение всех шумов, что иногда не позволяет отличить шум утечки от постороннего шума. Вместе с тем, более точный и более эффективный корреляционный метод в определённых случаях (полиэтиленовые трубы, резиновые уплотнения раструбов труб) не указывает повреждения. И, наконец, при работе с малыми уровнями утечек или с большими длинами участков трубопроводов величина уровня шума может

быть меньше порога чувствительности и акустического и корреляционного приборов.

Таким образом, в настоящее время не существует универсального метода поиска утечки, позволяющего определить потерю воды на трубопроводе из любого материала, поэтому только комплексное использование нескольких методов позволяет точно и быстро определять место утечки. Именно такой подход при оперативной работе по поиску утечек воды осуществляется в УП «Минскводоканал», где для этих целей применяют, главным образом, акустические приборы и телевизионные роботы. Эти методы являются основой мониторинга водопроводных сетей на предмет поиска скрытых утечек и позволяют с достаточной точностью определять потери воды на широком участке сети без его отключения. В производстве «Минскводопровод» мониторинг осуществляется, главным образом, с помощью системы поиска утечек Phocus.Sms и Phocus 3 и при необходимости корректируется системами: Enigma, Eureka3 и Micron3. Принцип работы этих систем основан на постоянном сборе информации об утечках в трубопроводах с помощью акустических датчиков-регистраторов (логгеров). При утечке вытекающая вода создает шумы (звуковые сигналы), которые фиксируются логгерами. Шум утечки постоянен, однако днем из-за высокого уровня помех (интенсивности уличного движения, высокого потребления воды) прослушивание не производится. Акустические датчики – регистраторы программируются таким образом, чтобы шумы утечек записывались ночью (обычно в 2:00; 03:00 и 4:00 ч).

Регистратор системы Phocus.Sms тестирует шум трубы с интервалом в одну секунду в течение каждого из трех периодов в течение ночи, когда внешние шумы наименьшие. Он выполняет статистический анализ каждого из трех периодов и если утечка обнаружена, регистратор посылает сигнал тревоги при помощи sms-сообщения. Сообщение содержит информацию о наименьшем измеренном (критическом) значении шума. Это значение показывает, как близко к утечке расположен регистратор. Дополнительно регистратор передает ежемесячный отчет о «состоянии бортовых систем». Этот отчет содержит график значений зафиксированных шумов и соответственно утечек за прошедший месяц, что позволяет отслеживать акустическую ситуацию в водораспределительной сети. Система состоит из регистраторов уровня шума, GSM-модема и компьютера со специализированным программным обеспечением.

Регистратор Phocus.Sms (рисунок 1) представляет собой цилиндр, высотой 135 мм и диаметром 59 мм. В основании цилиндра установлен магнит, который позволяет легко крепить регистратор на металлических предметах. На верхней части цилиндра расположено оптическое окно и два светодиода. Каждый регистратор снабжен встроенной батареей, которая обеспечивает работу регистратора в течение 5 лет.

Регистраторы устанавливаются на расстоянии не более 200 м друг от друга на стальных и чугунных трубопроводах. На пластмассовых трубах максимальное расстояние значительно уменьшается (обычно не более 50 м).

На каждый километр сети трубопроводов количество регистраторов выбирается в зависимости отряда параметров: напора, материала, из которого изготовлена труба и ее диаметра, наличия ответвлений. Чем выше уровень посторонних постоянных шумов (например, поблизости находятся метро, вокзал, повысительные насосные станции и т. д.), тем количество регистраторов увеличивается на исследуемом участке трубопровода.



**Рисунок 1** – Регистратор Phocus.Sms

Датчики-регистраторы при наличии подозрения на утечку после анализа ночных замеров, высылают предупреждение на компьютер и на телефон оператора. Через интерфейс программного обеспечения можно просмотреть результаты работы всей группы регистраторов.

Phocus3 – это регистратор данных с расширенными характеристиками, предназначенный для детектирования и локализации утечек воды. Беспроводная радиосвязь допускают возможность, как ручного периодического, так и постоянного контроля работы водопроводных сетей. Данные перегружаются локально в модуль связи. Затем выполняется детальный анализ данных с помощью программы в главном ПК. Принцип работы системы поиска утечек Phocus 3 похож на работу системы поиска утечек Phocus.sms. Преимуществом системы Phocus 3 являются: небольшой размер регистраторов; отображение на дисплее гистограммы данных по шуму; алгоритм обработки сигналов шума для снижения доли необнаруженных утечек; сохранение GPS-координат в регистраторе, возможность прослушивания утечек, как в реальном масштабе времени, находясь на объекте, так и регистрация данных с помощью удаленной идентификации утечек. При записи Phocus3 регистрирует 10-ти секундные "звуковые" снимки каждой ночью. Этот звуковой файл можно передать в модуль связи и ПК для прослушивания.

Программное обеспечение, установленное на ПК для обработки и анализа полученных данных, имеет очень удобный и многофункциональный интерфейс. Имеются два способа просмотра данных в программе для ПК: таб-

лица данных (DataTable) и карта (Map). Обе эти опции обеспечивают доступ к данным гистограммы шума.

**Корреляционно-акустический метод.** По результатам обследования логгерами системы поиска утечек Phocus.sms и Phocus 3 для определения точного места повреждения водопроводная сеть в районе, где был установлен сработавший логгер, обследуется корреляционным течеискателем Eureka 3 или системой поиска утечек Enigma и далее уточняется акустическим течеискателем MicronSystem.

Корреляционные течеискатели работают путем сравнения шума в двух различных точках на трубе. Шум распространяется от места утечки в обоих направлениях вдоль трубы с постоянной скоростью. Датчики расположены в точках А и С (рисунок 2). Через какое-то время шум утечки достигнет датчика А, и за это же время этот шум распространяясь в направлении датчика С, дойдет только до некоторой точки утечки Х. Расстояние от точки Х до датчика С создает задержку времени  $t$  прихода шума к датчику С. Если скорость звука  $v$ , а расстояние между датчиками  $D$ , то расстояние  $L$  от ближайшего датчика до места утечек можно определить по формуле:

$$L = \frac{D - (vt)}{2} \quad (1)$$

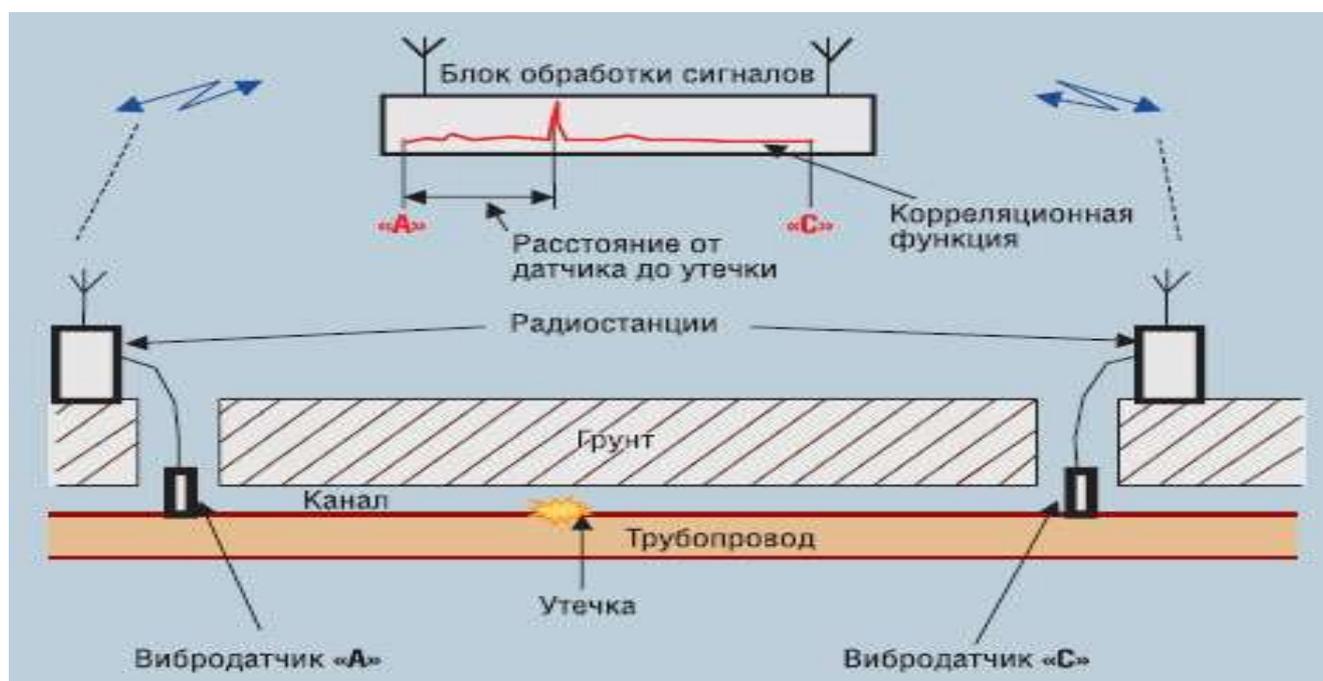


Рисунок 2 – Схема работы корреляционного метода

Перед выполнением работ по корреляции в блок управления вносятся данные об обследуемом участке трубопровода. После ввода всех необходимых данных запускается процесс корреляции. Процесс корреляции может продолжаться максимум 5 минут. Весь процесс корреляции мы можем наблюдать на

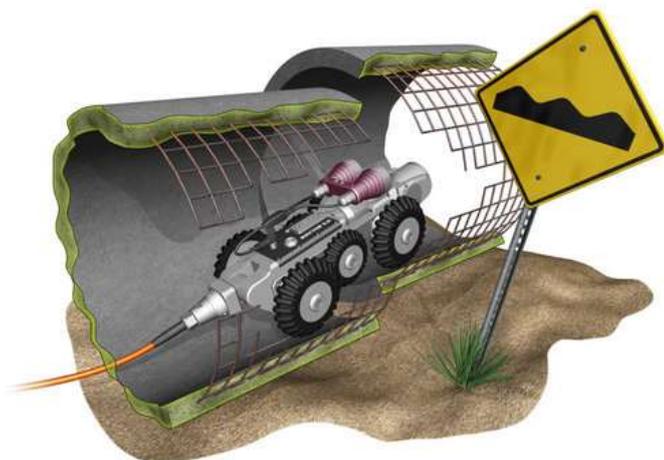
экране онлайн и можем по ходу корреляции применять различные фильтры, прослушивать звук, а также подавлять мешающий шум. По окончании процесса мы видим на экране расстояние предполагаемой утечки к ближайшему датчику. Отчёт о выполненных замерах мы можем сохранить в память блока.

Кроме корреляционного течеискателя Eureka3 в производстве «Минскводопровод» для локализации мест скрытых повреждений используется система поиска утечек Enigma. Enigma – это компактная система обнаружения и определения местоположения утечек в подземном водопроводе. Последние достижения в области цифровых акустических технологий позволили объединить запись шума (обнаружение утечки) и его корреляцию (определение местоположения утечки) в одну простую операцию. Шум фиксируется системой регистраторов Enigma, которая разворачивается, как правило, на трубопроводах, запорной арматуре и гидрантах в конце дня. После считывания записей с регистраторов звуковые файлы анализируются программой, и выявляется местонахождение источников шума.

Enigma не имеет радиоканала и проводов, а, значит, нет потери информации, которая снимается с трубы. Результатом является высокая эффективность обнаружения утечек. Течеискатель состоит из 8 герметичных датчиков, которые установлены в водонепроницаемом кейсе. Enigma осуществляет связь с ПК при помощи оптронной связи, что резко увеличило скорость считывания информации.. Так же к преимуществам системы можно отнести, что корреляция выполняется одновременно восемью регистраторами, что даёт возможность обнаружения сразу нескольких скрытых повреждений за один сеанс.

Для уточнения мест скрытых повреждений перед раскопкой в УП «Минскводоканал» используется также акустический течеискатель MikronSystem, который предназначен для оптимального точного определения утечек и их подтверждения. Сочетание чувствительных датчиков с электронной обработкой низких шумов обеспечивают превосходные акустические параметры. Электронный датчик и поверхностный микрофон, сочетающие в себе сенсорные технологии, позволяют определять шум утечки вне пределов слышимости человеческого уха.

**Телеинспекция трубопроводов.** Телевизионные роботы представляют собой перемещающиеся внутри трубопровода транспортные модули на колесном, гусеничном ходу, салазках или плавающие [2,3,4]. Они управляются по кабелю длиной до 500 м. Аппаратура управления и пост оператора находятся в специальном микроавтобусе. Телероботы способны осуществлять сбор данных о состоянии трубопровода и передачу изображения с камеры на видеомонитор, отображать и сохранять фото- и видеоизображение внутренней поверхности трубопровода (рисунок 3).



**Рисунок 3** – Телеробот внутри трубопровода

Телеинспекция позволяет обнаружить небольшие трещины, течи, деформацию, засоры и посторонние предметы, установить причину снижения пропускной способности, определить точное местоположение и характер дефекта, определить состояние трубопровода для принятия решения о локальном ремонте, санации или о замене участка трубопровода.

Наряду с диагностической функцией имеются роботы, которые могут использоваться для местного ремонта участков подземных трубопроводов диаметром от 150 до 800 мм. Они комплектуются специальным оборудованием (фрезерной, заделочной, бандажной и другими головками) и цветной камерой [2,4].

Работы по телеинспекции трубопроводов с внутренним диаметром 100–150 мм и более в УП «Минскводоканал» выполняются при помощи специализированного автомобиля телеинспекции, укомплектованного комплексом оборудования ИВАК (модификации: ИВАКТ66, ИВАКТ76, ИВАКРАНОРАМО2).

Длина обследуемого участка до 500 м. Робототехнический комплекс состоит из следующих основных элементов: поста управления, самоходной тележки с роботом, барабана с кабелем. ИВАКТ76 – это управляемый комплекс с камерой для осмотра трубопроводов диаметром 150 мм и выше, оснащенный функцией электронной стабилизации.



**Рисунок 4** – Общий вид модуля ИВАКРАНОРАМО2

Наиболее информативным является транспортный (самоходный) модуль ИВАКРАНОРАМО2, который может свободно перемещаться по трубопроводу без ограничений, останавливаясь в любом положении. Все объекты, такие как смещенные стыки, выступающие соединения труб, можно детально рассмотреть со всех сторон. ИВАКРАНОРАМО2 оснащен двумя цифровыми камерами высокого разрешения спереди и сзади с 185-градусным объективом «рыбий глаз», который может делать снимки с интервалом в 5 см. Данные, полученные в разрезе трубы, отправляются на компьютерный блок управления в специализированном автомобиле, а программное обеспечение РАНОРАМО создает полное 3D-изображение трубы. В процессе работы он создает вспышку с непрерывной подсветкой, что позволяет трубе быть хорошо освещенной, а камера захватывает высокоточные кадры по мере движения, создавая четкое изображение. Ксеноновая вспышка отражает лампу с постоянной яркостью. Общий вид ИВАКРАНОРАМО2 приведен на рисунке 4.

Для обследования трубопроводов большого диаметра (500 мм и более) эффективно использование плавающего модуля ИВАКАРГО2 (рисунок 5). Одной из главных особенностей плавающего модуля является высокая проходимость в трубах, где много посторонних предметов.

Несмотря на высокую информативность, недостатком метода телеинспекции является необходимость приостановки подачи воды и вырезка в трубопроводе (или снятие задвижки) для ввода телероботов.



Рисунок 5 – Плавающий модуль ИВАКАРГО2

**Заключение.** Для диагностики водопроводной сети широко используются акустический, корреляционно-акустический и телеробототехнический методы. Надежное определение мест повреждений трубопроводов достигается комбинацией указанных методов. На основе применения акустических приборов и телевизионных роботов различной модификации в УП «Минскводоканал» создан мониторинг водопроводных сетей на предмет поиска скрытых утечек, который позволяют с достаточной точностью определять потери воды на широком участке сети без его отключения, что в свою очередь позволяет производить своевременный ремонт трубопроводов, на которых возникает утечка, и сократить неучтенные расходы воды в системе водоснабжения г. Минска.

### Список цитированных источников

1. Михневич, Э. И. Водопроводные сети: учебное пособие / Э. И. Михневич, С.В. Андреюк. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 156 с.
2. Орлов, В. А. Водоснабжение: учебник / В.А. Орлов, Л.А. Квитка.–М.: ИНФРА-М, 2017. – 441 с.
3. Орлов В.А. Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами / В.А. Орлов, Е.В. Орлов. –М.: ИНФРА, 2007.
4. Храменков, С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети / С.В. Храменков. – М.: Стройиздат, 2005. – 398 с.

УДК 556.18 + 626/627

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. АЛУШТАЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА *И. В.Николенко<sup>1</sup>, Н. С. Мельникова<sup>2</sup>, Э. А Каримов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Профессор, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Институт «Академия строительства и архитектуры», Симферополь, Россия, nikoshi@mail.ru

<sup>2</sup>Аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и санитарной техники института «Академии строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»»

<sup>3</sup>Директор Симферопольского филиала ГБУ РК «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации»

### Аннотация

В статье рассматривается понятие устойчивости в контексте систем водоснабжения. Оцениваются различные аспекты устойчивости, такие как качество воды, доступность водных ресурсов и способность системы противостоять различным видам воздействия. На примере разработанной модели определения устойчивости выявлены характеристики, на основе которых можно описать режимы функционирования системы, с выделением устойчивых или неустойчивых состояний. Выполнен анализ годового баланса Изобильненского водохранилища естественного стока Республики Крым, которое является источником водоснабжения г. Алушта. Проанализирована степень наполнения Изобильненского водохранилища за 2020-2022 гг. и определены значимые факторы, определяющим устойчивостью системы водоснабжения г. Алушта Южного берега Крыма .

**Ключевые слова:** устойчивость, антропогенное воздействие, водохранилище, система водоснабжения, приток.

# ANALYSIS OF THE STABILITY OF THE WATER SUPPLY SYSTEM IN ALUSHTA THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

*I. V. Nikolenko<sup>1</sup>, N. S. Melnikova<sup>2</sup>, E. A. Karimov<sup>3</sup>*

## **Abstract**

The article discusses the concept of sustainability in the context of water supply systems. Various aspects of sustainability are assessed, such as water quality, availability of water resources and the ability of the system to withstand various types of impacts. On the example of the developed model for determining stability, the characteristics are revealed, on the basis of which it is possible to describe the modes of functioning of the system, with the allocation of stable or unstable states. The analysis of the annual balance of the Izobilnensky reservoir of the natural flow of the Republic of Crimea, which is the source of water supply in Alushta, is carried out. The degree of filling of the Izobilnensky reservoir for 2020-2022 is analyzed and significant factors determining the stability of the Alushta water supply system are identified.

**Keywords:** sustainability, anthropogenic impact, reservoir, water supply system, inflow.

**Введение.** Водные ресурсы являются одним из самых важных ресурсов для человечества и играют ключевую роль в экономике, сельском хозяйстве, промышленности и других отраслях. Несмотря на это, их состояние в настоящее время находится под угрозой из-за интенсификации хозяйственной деятельности и других воздействий. Это может привести к потере устойчивого состояния и уязвимости к антропогенному воздействию.

В настоящее время существует множество методов для оценки экологического состояния водных объектов, включая единичные, комплексные и интегральные методы. Однако, следует отметить, что эти методы не могут быть универсальными подходами к оценке устойчивости систем водоснабжения и дают только приближенное значение, не позволяя получить полное представление о состоянии системы водоснабжения.

**Анализ последних исследований.** Устойчивость системы водоснабжения часто определяется как отсутствие перебоев в поставке качественной воды потребителям с поддержанием необходимого уровня показателей на объектах водоснабжения[1-4].

Устойчивость системы водоснабжения [5] определяет, как ее способность сохранять стабильность структуры и текущего режима работы, поддерживая оптимальный уровень качества воды при определенных показателях подачи и напора для заданного количества пользователей и в течение определенного периода времени, на протяжении которого могут возникать перебои с водоснабжением, с учетом негативных воздействий окружающей среды на источники водоснабжения.

В научном труде [6] разработан систематический подход к анализу устойчивости функционирования водопроводных сетей и предложен метод расчета минимальных показателей параметров надежности при уменьшении подачи воды потребителю и напора относительно их проектных значений.

В работах [7-9] рассматриваются принципы устойчивой и надежной работы сооружений при реконструкции объектов систем водоснабжения (СВ) и в условиях сокращения потребления воды.

В более широкой трактовке, под устойчивостью системы, которая претерпевает негативные воздействия, понимается способность системы сохранять внутренние структурные связи и функциональные особенности, находясь внутри области устойчивого состояния [10-12].

Результаты оценок последствий антропогенных воздействий могут быть различны в зависимости от трактовки понятия «устойчивости». Следует отметить, что несмотря на исключительную актуальность проблемы устойчивости и связанной с ней проблемы уязвимости водных систем они также не получили четкого определения. Если при антропогенном или естественном воздействии некоторые параметры системы, ответственные за устойчивость, приобретают критические значения, то такая система характеризуется лишь относительной устойчивостью к отдельным видам воздействий.

**Материалы и методы.** Анализ факторов, влияющих на устойчивость систем водоснабжения, связанных с состоянием водных ресурсов, и учитывающих внешние воздействия, показал, что возможные проблемы с устойчивостью в этих системах можно разделить на три категории:

Первая категория - потеря минимально допустимого уровня воды в водозаборном источнике;

Вторая категория - значительное изменение характеристик воды в источнике, включая увеличение концентрации загрязняющих веществ и появление новых видов загрязнений, для устранения которых существующие системы водоподготовки не приспособлены;

Третья категория - нарушение нормального функционирования элементов системы водоснабжения, которые непосредственно взаимодействуют с водными ресурсами.

В свою очередь, устойчивость работы системы водоснабжения, выраженную через динамику обобщенных параметров состояния, можно оценивать, как устойчивость тех или иных режимов функционирования системы.

Наиболее распространенным способом оценки устойчивости динамической системы является построение и исследование их теоретических моделей. Необходимо использовать конкретные характеристики, на основе которых можно описать режимы функционирования системы, с выделением устойчивых или неустойчивых состояний.

В качестве практического инструмента применения теоретических методов исследования рекомендуется использовать модель определения устойчивости для первой категории (рис 1).

Данная схема создается на основании базы суточных данных по всем этим пяти показателям из сводок эксплуатирующих организаций на основании сводок ГК по водным ресурсам для 5...8 летнего периода. С учетом ограничений

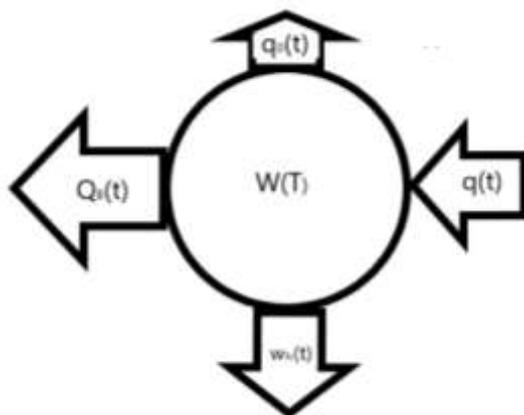
$0 \leq w_{Tc}(t) \leq w_{Tcmax}$  – максимальная пропускная способность сооружений для технологического сброса; величина управляется и регулируется

$$W_{mo} \leq W(T) \leq W_{max},$$

$W_{mo}$  – мертвый объем водохранилища при котором невозможна подача воды из него, поэтому система водоснабжения теряет устойчивость.

$W_{max}$  – полный проектный объем водохранилища, значение которого ограничивает возможность дальнейшего притока из-за переполнения;

$Q_B(t)_{min} \leq Q_B(t) \leq Q_B(t)_{max}$  - диапазон суточного водопотребления, который зависит от численности населения, схемы водоснабжения, уровень комфортности, техническое состояние сетей, перспективных схем развития и т.д.



**Рисунок 1** – Схема модели водопользования населенного пункта из источника водоснабжения – водохранилище естественного стока:

$q(t)$ - суточный приток в водохранилище в тыс.  $m^3$ ;  $q_0(t)$  - испарение с поверхности тыс.  $m^3$  в сутки;  $w_{Tc}(t)$ - технологический сброс из водохранилища в сутки тыс.

$m^3$ ;  $Q_B(t)$  - расход на водоснабжение города из водохранилища в тыс.  $m^3$ ;

$W(T)$  - наполнение фактическое водохранилища в млн.  $m^3$ .

При подаче  $Q_B(t) < Q_B(t)_{min}$  – нарушается устойчивость системы водоснабжения города. Величина  $Q_B(t)$  регулируется и управляется в течении суток, либо ежедневно с учетом выходных дней и будней, а также по сезонам года. Для системы водоснабжения является основной так как определяет объемы энергозатрат, себестоимость воды, а также влияет на показатели надежности

$q_0(t) = f [W(T), t^0C(T), v(T)]$  – испарение с поверхности водохранилищ зависит от площади поверхности воды в них, температуры воздуха и скорости ветра.

**Методы исследований.** Модель, представленная на рис.1, разработана для Изобильненского водохранилища естественного стока Крыма, которое является источниками СВ для г. Алушты. Исходные данные для этой модели собраны по суточным сводкам ГБУ РК «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации» по наполнению этих водохранилищ за 2020 – 2022 годы (табл. 1).

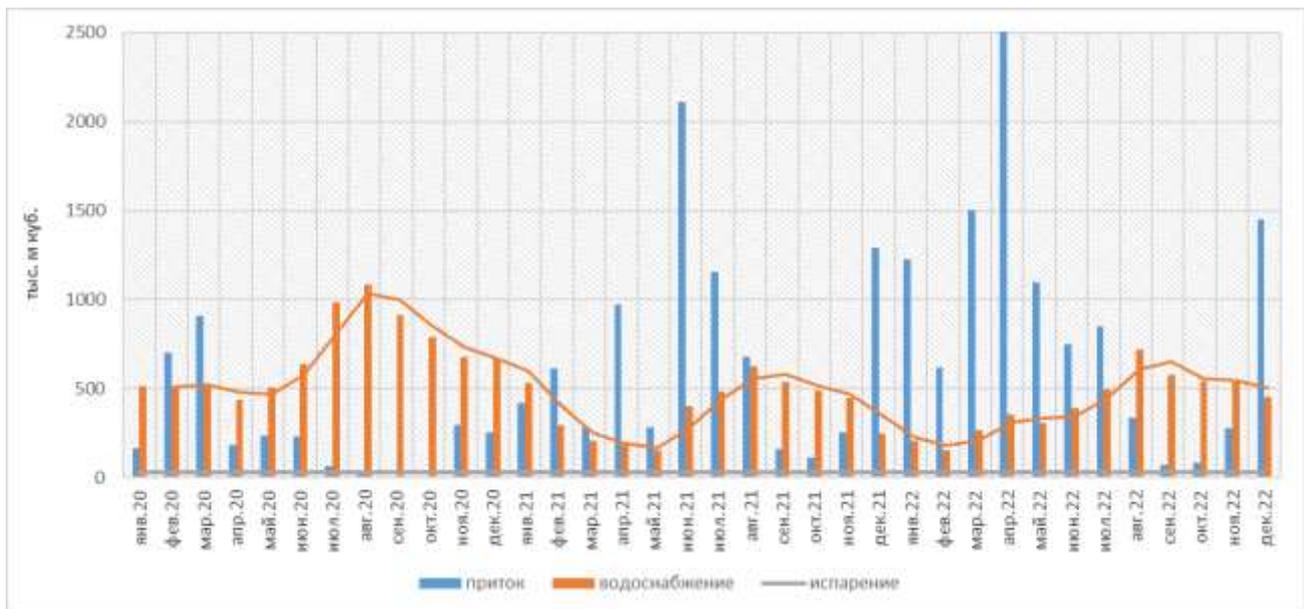
**Таблица 1** – Годовой баланс Изобильненского водохранилища естественного стока Республики Крым за 2020-2022 гг.

Год	приток, тыс. м <sup>3</sup>	водоснабжение, тыс. м <sup>3</sup>	испарение, тыс. м <sup>3</sup>	тех. сброс, тыс. м <sup>3</sup>
2020	3134,0	7864,1	366,0	0
2021	2329,1	4243,1	365,0	0
2022	10772,5	4665,7	365,0	0

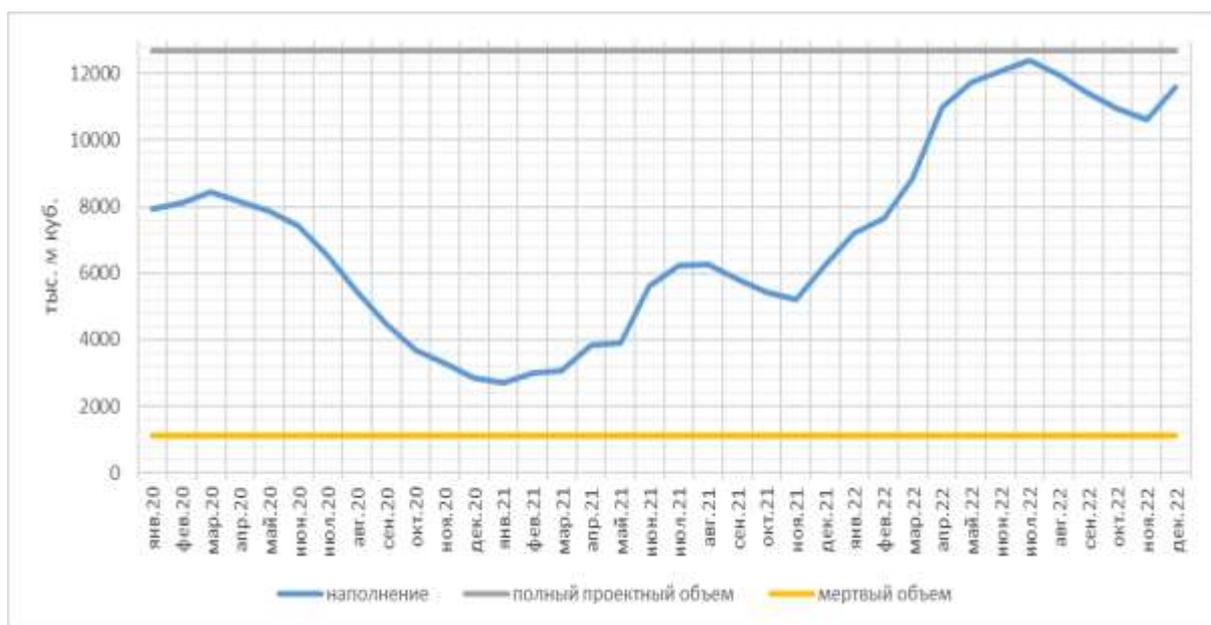
**Результаты и обсуждение.** Крым всегда радует местных жителей и гостей полуострова мягким климатом и природными достопримечательностями. Однако проблемы с водой, пригодной для питья и орошения земель, всегда были актуальны. Больше всего страдали крупные курортные города, особенно Алушта. Водоохранилище стало настоящим спасением для Алушты и всего региона, решив проблему с водоснабжением. Оно было построено в северо-западной части от Алушты, недалеко от старой Ялтинской трассы, которая проходит через заповедные места. Глубина водохранилища в некоторых местах может достигать 70 метров, что делает его самым глубоким в Крыму среди подобных водоемов. Водоохранилище удерживает полукилометровая земляная плотина, обеспечивая стабильность и безопасность водоснабжения региона. Основные параметры водохранилища включают длину в 4 километра и площадь водного зеркала 0,61 км<sup>2</sup>, максимальный объем воды 13 млн м<sup>3</sup>.

На рисунке 2 показан приток и расход воды на водоснабжение Изобильненского водохранилища. Анализ данных по притокам показал, существенную временную неравномерность распределения стока. Причем неравномерность его распределения зачастую асинхронна потребностям населения. В летний период, когда водопотребление достигает своего максимума в связи с увеличением количества жителей за счет туристов, сток воды сокращается до минимума в связи с очень малым количеством осадков.

Анализ степени наполнения Изобильненского водохранилища(рис.3) свидетельствует о том, что наиболее значимым фактором, определяющим устойчивость системы водоснабжения, является наличие стока, динамика которого выражена межгодовыми и многолетними колебаниями. Негативное воздействие отсутствия стока носит временной характер, способствуя неустойчивому состоянию систем водоснабжения в определенном временном интервале и снижению способности по предоставлению услуг водоснабжения. Выполненный анализ представленного характера наполнения показал, что в течении двух лет фактический объем наполнения изменялся от достижения максимального проектного объема до мертвого, при котором подача питьевой воды в город Алушта становилась невозможной.



**Рисунок 2** – Приток и расход воды на водоснабжение Изобильненского водохранилища за 2020-2022 гг.



**Рисунок 3** – Наполнение Изобильненского водохранилища 2020-2022 гг.

В работе было показано, что анализ устойчивости системы водоснабжения г. Алушты известными методами, которые применяются для оценки водных объектов, не позволяет адекватно оценить эти условия. Предложенная модель водопользования населенного пункта из основного источника водоснабжения – водохранилище естественного стока (рис. 1), а также массивы многолетних данных наблюдений за источником водоснабжения и показателями системы водоснабжения г. Алушта позволяют создавать для них нейросетевые модели для мониторинга условий устойчивости, а также разработки мероприятий по ее обеспечению.

**Выводы.** Одним из ключевых аспектов исследования систем водоснабжения является понятие устойчивости, связанной с влиянием человека на водные ресурсы и необходимостью оценки этого воздействия. Если рассматривать более широко, устойчивость системы, подверженной негативным воздействиям, можно определить, как ее способность сохранять внутренние связи и функции, оставаясь внутри области устойчивого состояния.

Для более глубокого понимания концепции устойчивости в контексте систем водоснабжения, необходимо рассматривать различные аспекты этого явления.

При анализе устойчивости систем водоснабжения особенно важно определить факторы, обеспечивающие устойчивость.

Во-первых, это определение условий, при которых система может считаться устойчивой. К таким условиям могут относиться:

- Наличие достаточного количества водных ресурсов для обеспечения потребностей населения и экономики.

- Сохранение качества воды на приемлемом уровне, позволяющем использовать ее для питья и хозяйственных нужд.

- Способность системы адаптироваться к изменениям окружающей среды и антропогенному воздействию.

- Устойчивость к экстремальным погодным явлениям, таким как засухи и наводнения.

- Возможность восстановления системы после аварий или стихийных бедствий.

Каждый из этих факторов играет свою роль в обеспечении устойчивости системы водоснабжения, и их необходимо учитывать при планировании и эксплуатации системы.

### **Список цитированных источников**

1. Василенко С.Л. Устойчивость систем водоснабжения// Интегрированные технологии промышленности. – 2006, №3. – с. 85 – 90.
2. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. Наука., – СПб., 2004. – 294 с.
3. Пузаченко Ю.Г. Проблемы устойчивости и нормирования [Текст] / Ю.Г. Пузаченко //Структурно-функциональная организация и устойчивость биологических систем: Сб. науч. ст. -Днепропетровск, 1990. - С.122 - 147.
4. Арманд, А.Д. Механизмы устойчивости геосистем [Текст]/ А.Д. Арманд// Факторы и механизмы устойчивости геосистем: Сб. науч. работ. -М., 1989. - С. 33 - 46.
5. Николенко И.В. Выбор метода оценки устойчивости систем водоснабжения с водохранилищами естественного стока Крымского полуострова /И.В. Николенко, Н.С. Мельникова, Э.А. Каримов // Строительство и техногенная безопасность - Симферополь, 2023. – вып. 30 (82). – С. 103 – 115.
6. Гальперин Е.М. Определение сниженных минимально-допустимых значений параметров функционирования системы водоснабжения // Вода и экология: проблемы и решения. – 2003. – № 4. – С. 11–16.

7. Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
8. Примин О.Г. Надежность систем водоснабжения и водоотведения. М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2021, 68 -с.
9. Сколубович Ю.Л., Примин О.Г., Гогина Е.С. Проблемы инженерных систем водопользования и научные исследования по их решению // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 1. С. 6-10.
10. Бивалькевич А.И., Похил Ю.Н., Никитин А.М. Принципы устойчивого и надежного обеспечения работы систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 3. – С. 4–6.
11. Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука.2000,431с.
12. Дмитриев, В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем [Текст] / В.В. Дмитриев. - СПб.: Изд. СПбГУ, 1995. - 215 с.

УДК 628.31:628.316/+628.336

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО МОЮЩЕГО РАСТВОРА РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*И. В. Николенко<sup>1</sup>, С. И. Мовчан<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Профессор, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Институт «Академия строительства и архитектуры», Симферополь, Россия, nikoshi@mail.ru

<sup>2</sup> Доцент, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», Мелитополь, Россия, msi.movchan@mgu-mlt.ru

### **Аннотация**

На примере разработанной технологической схеме по обезвреживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода, предназначенного для очистки технологических растворов от эмульгированных примесей масла и маслопродуктов, взвешенных веществ, растворенных примесей, образующихся на участке мойке оборудования, запасных частей и агрегатов в целом, определены технологические режимы работы установки по обезвреживанию и регенерации отработанного моющего раствора.

В качестве предмета исследования рассматриваются системы оборотного водоснабжения, в которых предусматривается оптимизация реагентов при обработке технологических растворов от эмульгированных примесей масла, взвешенных веществ, растворенных примесей, образующихся в ремонтном производстве.

Материалы и методы исследований направлены на интенсификацию систем промышленного водоснабжения, рассматривающих не только оптимальное ко-

личество ресурсосберегающих технологий и количество ступеней (этапов) обработки сточных вод ремонтного производства.

Исследование посвящено обезвоживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий для очистки технологических растворов от эмульгированных примесей масла, взвешенных веществ, растворенных примесей, образующихся на участке мойке оборудования, запасных частей и агрегатов в целом.

**Ключевые слова:** сточные воды, ремонтно-механический завод, электрофлотация, флотация, отстаивание, фильтрация.

## TECHNOLOGICAL SCHEME OF NEUTRALIZATION WASTE DETERGENT SOLUTION REPAIR AND MECHANICAL PRODUCTION

*I. V. Nikolenko<sup>1</sup>, S. I. Movchan<sup>2</sup>*

### **Abstract**

On the example of the developed technological scheme for dehydration and regeneration of the spent washing solution of the repair and mechanical plant, designed to clean technological solutions from emulsified impurities of oil and oil products, suspended solids, dissolved impurities formed in the washing area of equipment, spare parts and assemblies as a whole, the technological operating modes of the installation for dehydration and regeneration of the spent washing solution.

The subject of the study is the systems of circulating water supply, which provide for the optimization of reagents, when processing technological solutions from emulsified oil impurities, suspended solids, dissolved impurities formed in the repair industry.

Materials and research methods are aimed at intensifying industrial water supply systems, considering not only the optimal number of resource-saving technologies and the number of stages (stages) of wastewater treatment of repair production.

The obtained research results make it possible to use the installation for dehydration and regeneration of the spent cleaning solution of a mechanical repair plant in the recycling water supply systems of industrial enterprises for cleaning process solutions from emulsified oil impurities, suspended solids, dissolved impurities formed in the washing area of equipment, spare parts and assemblies as a whole. .

**Keywords:** wastewater, mechanical repair plant, electro-flotation, flotation, settling, filtration

**Введение.** Опыт эксплуатации систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий, направленных на очистку сточных вод гальванических отделений показал, что используемые мощности по очистке сточных вод, оценке качества их очистки и утилизации образующегося осадка используются не в полной мере. Обусловлено это как объективными условиями, так, и субъективными.

Прежде всего, это обусловлено спецификой загрязнений, которые накапливаются на ремонтных предприятиях и обрабатываются в системах промышленного водоснабжения данных предприятий.

**Анализ последних исследований.** Представленный материал является логическим продолжением публикаций авторов, направленных на исследование обезвреживания отработанного моющего раствора ремонтно-механического производства.

Усовершенствование технологии очистки сточных вод с использованием моющих растворов, приготовленных на воде с повышенным содержанием солей кальция и магния, позволяет производить обработку сточных вод, содержащих соли кальция и магния в пределах 28-31 мг-экв/л [1].

Сточные воды гальванического производства имеют специфику, которая состоит в многообразии загрязнений, в том числе в содержании ионов тяжёлых металлов, механических примесей, масла и нефтепродуктов [2].

В сточных водах ремонтно-механических предприятий наличие масел и нефтепродуктов в различных формах является обязательным условием. Более того, включения масел и нефтепродуктов находятся в достаточно разнообразном состоянии и часто [3].

Условия образования сточных вод в ремонтном производстве и технологическое оборудование в схемах очистки сточных вод, образующихся от ремонтных предприятий АПК, позволяют определить начальные условия обработки сточных вод [4, 5].

Общие подходы, разработанные и реализованные в процессе научных исследований [6, 7, 8], не в полной мере позволяют создать условия для повышения эффективности работы оборотных систем водоснабжения. Обусловлено это высокими требованиями, предъявляемыми к качеству воды, используемой в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Разработанные технологии обработки сточных вод промышленных предприятий не обеспечивают бесперебойное снабжение отдельных участков промышленных предприятий постоянными объёмами экологически безопасной воды.

Коэффициент эффективности оценки качества очистки сточных вод промышленных предприятий находится на невысоком уровне, что не позволяет использовать в промышленном водоснабжении современные средства управления и автоматизации производственных процессов.

**Материалы и методы.** Интенсификация обработки сточных вод относится к прикладным научным исследованиям, необходимость которых состоит в поиске путей реализации практических проблем, в зависимости от условий эксплуатации водоочистного оборудования.

Для практической реализации теоретических методов исследования целесообразно использовать следующие методы-операции: моделирование и проведение экспериментальных исследований, которые решают теоретические методы-действия: доказательство научных теорий, проверенных практикой.

В данном случае представлены этапы научного исследования, направленные на интенсификацию работы систем оборотного водоснабжения (рисунок 1).

*Методы исследований* базируются на физико-химических процессах обработки, очистки, извлечения и обеззараживания сточных вод с тяжелыми металлами, которые являются основой рационального использования воды в системах промышленного водоснабжения, уменьшения сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, и, как следствие, снижения антропогенной нагрузки на водные объекты.

**Результаты и обсуждение.** Интенсивность работы систем оборотного водоснабжения является определяющим фактором в работе не только систем подачи воды, её использования с последующей утилизацией, но и для ведения эффективной экономической деятельности в условиях современных рыночных отношений.

Как одним из направлений повышения уровня интенсивности работы систем оборотного водоснабжения, является создание в пределах каждого промышленного производства условий для решения ранее обозначенных вопросов.



**Рисунок 1** – Этапы научного исследования, направленные на интенсификацию работы систем оборотного водоснабжения

Для обеспечения эффективных и надёжных режимов систем оборотного водоснабжения необходимо совершенствовать составляющие технологий использования воды по следующим трем принципиальным направлениям:

- усовершенствование технологической схемы очистки сточных вод за счёт обезвреживания отработанного моющего раствора;
- очистка сточных вод механического цеха с оборотным циклом использования воды в системе технического водоснабжения;
- повышение уровня очистки сточных вод с использованием коагулянтов;
- повышение уровня удаления взвешенных веществ обрабатываемых сточных вод за счёт интенсификации узла насыщения газом.

Интенсификация очистки сточных вод ремонтно–механических предприятий состоит в начальном разделении поступающего состава сточных вод гальванических отделений на очистку. Конструкциями и технологическими условиями предусмотрено производить очистку гальванических сточных вод, с повышенным содержанием ионов тяжёлых металлов, взвешенных веществ и др. загрязняющих веществ, в нескольких технологических режимах. Выбор коаксиально расположенных емкостей позволяет выбрать минимальные габаритные размеры и использовать оборудование для аналогичных предприятий.

При выборе рациональных параметров и режимов интенсификации очистки маслосодержащих сточных вод предусмотрено использование сатуратора, реакционной и флотационной камер, позволяющих в полной мере производить очистку сточных вод от масел и нефтепродуктов. Производительность установки составляет 2...4 м<sup>3</sup>/час, расход металлического накопителя на стальных электродах 30...40 кг/месяц и стальной стружки 30...50 кг/месяц, создает условия для минимизации удельного расхода электрической энергии на уровне 1,2...1,8 кВт. час/м<sup>3</sup>.

Использование коагулянтов и реагентов является составной частью интенсификации очистки сточных вод систем оборотного водоснабжения. Связано это с преимуществами, которые заключаются в следующем: уменьшается время на обработку сточных вод, повышается эффективность их обработки, к оборудованию по очистке сточных вод выдвигаются невысокие требования и, самое главное, повышается надёжность обработки сточных вод в широком диапазоне поступающих загрязнений.

На большинстве гальванических отделений при очистке сточных вод образующиеся сточные воды требуют повышения интенсификации на начальных стадиях, когда при разделении сточных образуется значительные объёмы взвешенных веществ, ограничивающие эффективность работы очистных сооружений. Поэтому для повышения надёжности их работы целесообразно использовать инжекторные устройства, позволяющие сократить время на удаление всплывших взвешенных веществ и создающие условия для последующих технологических операций.

### **1. Состав и характеристика сточных вод ремонтно–механических предприятий**

Сточные воды ремонтно–механических заводов (РМЗ) относятся к числу наиболее распространенных сточных вод как у нас в стране, так и за рубежом. Технологией обработки воды необходимо предусмотреть обработку сточных вод как минимум в трех технологических режимах: при малых концентрациях ше-

сшивалентного хрома, при повышенных его концентрациях и в случае его отсутствия. Такая градация общих загрязнений шестивалентного хрома позволяет предусмотреть возможные случаи нарушения технологических режимов и в какой-то мере обезопасить попадание агрессивных сточных вод в окружающую природную среду. Эти воды имеют следующий состав загрязнения (табл. 1).

**Таблица 1** – Состав сточных вод гальванического производства Чертковского ремонтно-механического завода (РМЗ)

Наименование операции	рН	Составляющие ингредиенты сточных вод, мг/л						
		Общая минерализация	Взвешенные вещества	Ca <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
Исходная вода	3,73	2238	297,75	95,0	3,50	43,5	38,50	77,25
Наименование операции	Cr <sup>3+</sup>	Нефтепродукты	ХПК, мг/л, O <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>
Исходная вода	2,75	187,0	25,32	67,0	111,00	228,0	123,0	14,50

## **2. Схема по обезвоживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода**

Исходя из объема и состава приведенных загрязнений, была разработана и апробирована в промышленных условиях технологическая схема по обезвоживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода (РМЗ) (рисунки 2).

Рекомендуемая технологическая схема установки по обезвреживанию отработанного моющего раствора Чертковского ремонтно-механического завода (г. Чертков, Тернопольская обл.).

Разработанная технологическая схема и установка по обезвоживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода предназначена для очистки технологических растворов от эмульгированных примесей масла, взвешенных веществ, растворенных примесей, образующихся на участке мойке оборудования, запасных частей и агрегатов в целом.

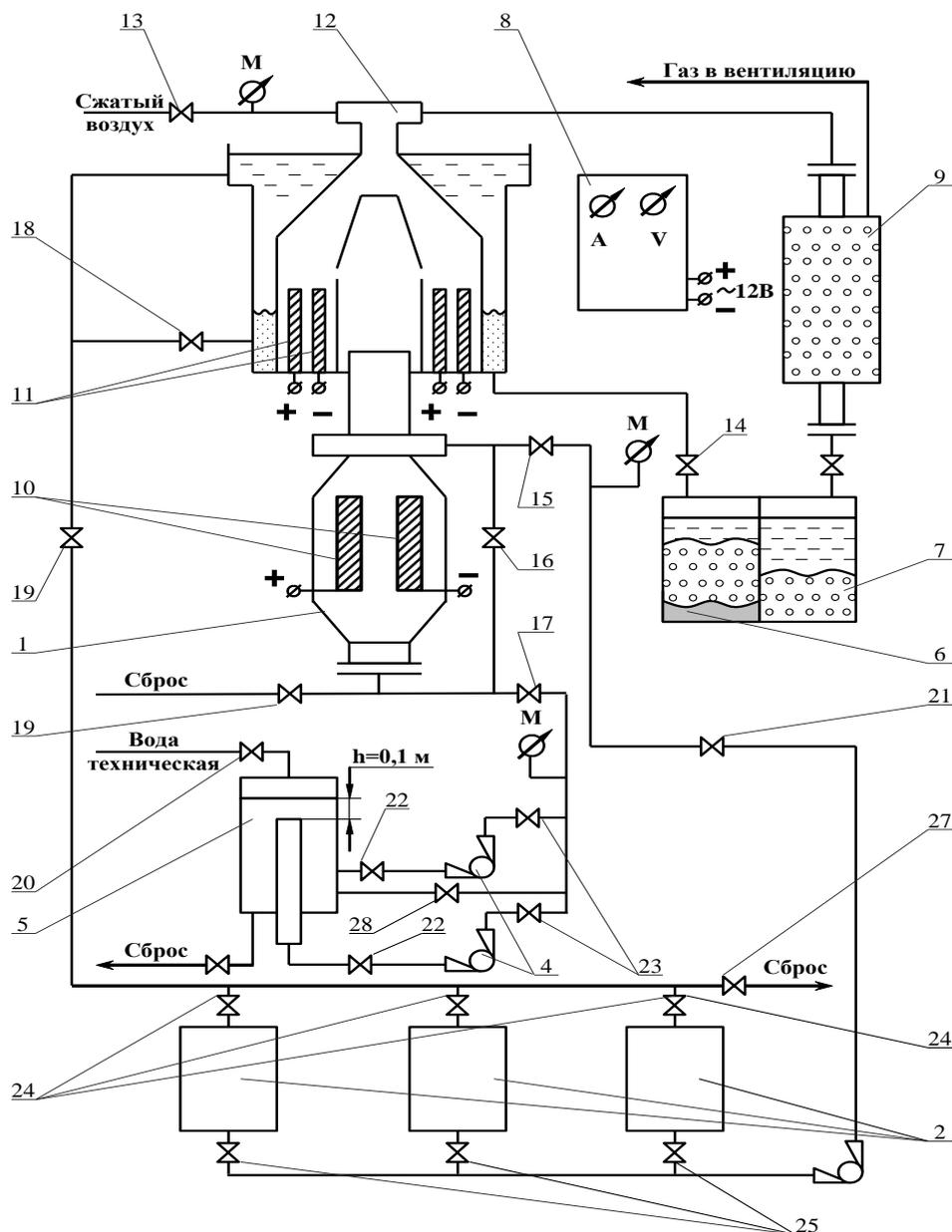
Установка является составной частью технологического оборудования позволяет производить очистку отработанных моющих растворов с высоким процентом очистки (табл. 1), возвращать в оборотное водоснабжение участков и цехов промышленных предприятий очищенную воду. А также обезвреживать и извлекать примеси из сточных вод для последующей утилизации.

Основными элементами установки является микрореактор – флотатор 1, нерастворимые стальные электроды 10 и электроды вторичной доочистки 11. Кроме этого, конструкцией установки предусмотрены нерастворимые стальные электроды 10 и электроды вторичной доочистки 11, которые установлены в электроореакторе – флотаторе 1. В верхней части электроореактора – флотатора расположено эжекторное устройство 12.

Конструкция установки позволяет путем замены отдельных элементов по соответствующим технологическим схемам производить обработку сточных вод в следующих режимах:

- электрофлотация – флотация - отстаивание – фильтрация;
- электрокоагуляция – флотация - электрофлотация – фильтрация;
- электрохимическая коагуляция – восстановление растворенных форм шестивалентного хрома;
- электрофлотация - осаждение – фильтрация;
- флотация – электрокоагуляция - электрофлотация – фильтрация.

Работа установки в нескольких технологических режимах позволяет достигать высокую эффективность очистки сточных вод, упростить эксплуатацию технологического оборудования и повысить надежность работы водоочистного оборудования.



**Рисунок 2** – Технологическая схема по обезвоживанию и регенерации отработанного моющего раствора ремонтно-механического завода (г. Чортков, Тернопольской обл.):  
 1 – микрореактор – флотатор; 2 – машины моющие – очищающие; 3 – насос подачи ОМР;  
 4 – насос подачи электролита; 5 – сборник электролита; 6 – сборник шлама; 7 – сборник масла; 8 - выпрямительное устройство; 9 – сепаратор шлама; 10 – нерастворимые стальные электроды; 11 – электроды вторичной доочистки; 12 – эжекторное устройство

Установка работает следующим образом. Загрязненный технологический раствор от моющих машин 2, насосом 3 перекачивается в электроореактор. При этом, в зависимости от концентрации загрязнения, и физико-химических особенностей отработанного моющего раствора, предусматривается подача сточных вод, как межэлектродное, так и надэлектродное пространство.

Электроды 10 соединены с источником постоянного тока 8 и вырабатывают коагулянт и газ. Взаимодействие примесей коагулянта и газа, их интенсификация, происходит в конусных устройствах установки, где они отделяются в виде флотошлама.

Удаление всплывших примесей из электроореактора – флотатора производится эжекторным устройством 12, работающим с использованием сжатого воздуха.

Дополнительная обработка отработанного моющего раствора в межэлектродном пространстве электродов вторичной доочистки позволяет получить примеси более крупных размеров и улучшить эффективность их осаждения в цилиндрическом корпусе установки.

Эффективность очистки сточных вод определяется по количеству извлеченных и обезвреженных примесей. Для повышения эффективности сильнозагрязненных отработанных моющих растворов и предотвращения пассивации электродов различными загрязнителями предусматривается система подачи электролита в межэлектродное пространство. При этом возможна подача электролита и отработанного моющего раствора в пространство над электродами.

Для этих целей электролит из емкости 5 насосом 4 подается в электроореактор – флотатор. Оптимальное соотношение электролита и моющего раствора находится в пределах  $1 : 1 \dots 1 : 0,5$  весовых частей.

Часть очищенного моющего раствора возвращается в емкость электролита 5, через задвижку 20. Осадок периодически сбрасывают в сборник шлама 6, а масло и насыщенный раствор флотошлама в сборник масла 7.

Основными техническими преимуществами предлагаемой технологической схемы и разработанной установки является возможность производить обработку сточных вод РМЗ с высокой степенью очистки. Небольшие габаритные размеры установки и простота при изготовлении позволяют сконцентрировать на незначительных производственных площадях эффективно действующее технологическое оборудование.

Оптимальное размещение и сосредоточение коаксиально расположенных камер установки, позволяет рационально выдержать соотношение гидродинамических параметров движущихся потоков при обработке сточных вод.

В установке предусмотрена пассивация электродов, которая достигается подачей сточных вод в надэлектродное пространство и взаимодействие примесей с электрогенерированным коагулянтами в первой ступени очистки (первый конусный цилиндр), который снабжен конусным устройством сбора флотошлама.

Установленные во флотокамере сборы всплывшего шлама позволяют интенсифицировать процесс отделения загрязнений, а боковая перфорация ци-

линдров создает стесненные условия для движения пузырьков газовой фазы. Это позволяет получить более высокую концентрацию пузырьков данной фазы в заданных зонах флотокамеры и соответственно, более эффективность флотации примесей.

Коаксиальное расположение конусных сборных устройств позволяет в 2 ... 3 раза увеличить эффективность уплотнения флотошлама и снизить его объем.

**Выводы 1.** Разработанные новые технологические решения по интенсификации работы оборотных систем водоснабжения, с учётом специфики производства, состава и количества сточных вод.

2. Усовершенствованная технология очистки сточных вод гальванического производства Чертковского РМЗ позволяет работать в нескольких технологических режимах: электрофлотация – флотация - отстаивание – фильтрация; электрокоагуляция – флотация - электрофлотация – фильтрация; электрохимическая коагуляция – восстановление растворенных форм шестивалентного хрома; электрофлотация осаждение – фильтрация; флотация – электрокоагуляция - электрофлотация – фильтрация, оптимальная из которых выбирается в процессе пуска – наладочных работ.

3. Производительность установки составляет 1...2 м<sup>3</sup>/час, при удельном расходе тока на объём загрязнённой жидкости 300...1800 г/л, удельный расход электрической энергии 300 ... 1800 г/л.

4. Определено оптимальное соотношение электролита и моющего раствора, которое находится в пределах 1 : 1 ... 1 : 0,5 весовых частей. Использование электролита в таком соотношении повышает эффективность сильнозагрязнённых отработанных моющих растворов и предотвращения пассивации электродов различными загрязнителями, при которой предусматривается система подачи электролита в межэлектродное пространство.

5. Разработанная технология очистки сточных вод ремонтно-механических производств позволяет производить очистку сточных вод в нескольких технологических режимах, оптимальный из которых выбирается в процессе пуска-наладочных работ.

### **Список цитированных источников**

1. Мовчан С.И., Дидур В.А. Усовершенствование технологии очистки сточных вод с использованием моющих растворов, приготовленных на воде с повышенным содержанием солей кальция и магния // Науковий вісник будівництва. Вип. 20, Харків, ХДТУБА – ХОТВ, 2003. - С. 144 – 155.
2. Мовчан С.И. Характеристика гальванического производства в технологических процессах ремонтных предприятий / Труды ТАТА. – Мелитополь, 2003. Вып. 15. – С. 119-125.
3. Мовчан С.И. Гулевский В.Б. Очищення мастильно-охолоджувальних рідин при відновленні деталей сільськогосподарської техніки / Праці ТДАТУ [Електронний ресурс]. – Мелітополь, 2012. – Вип. Т. 8. – С. 256 – 264  
Режим доступа: <http://www.denver>.

4. Мовчан С.И., Бунина Л.Н. Условия образования сточных вод в ремонтном производстве предприятий АПК // Техничко-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: матер. I Межд. научно-практ. конф. (Мелитополь, 22 ноября 2022 г.) / МГУ: ред. коллегия О.А. Ерёменко, С.А. Нестеренко, Н.И. Болтянская и [др.]. – Мелитополь: МГУ, 2022. – 419 с. С. 177- 182.
5. Технологическое оборудование в схемах очистки сточных вод, образующихся от ремонтных предприятий АПК / С.И. Мовчан, Л.Н. Бунина // Техничко-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: материалы I Международной научно-практической конференции молодых ученых (Мелитополь, 27-28 февраля 2023 г.) / МГУ: ред. кол. О.А. Еременко, С.А. Нестеренко, Н.И. Болтянская [и др.]. - Мелитополь: МГУ, 2023. - 516 с. С. 365-367.
6. Гириоль М.М. Интенсификация процесса доочистки сточных вод фильтрованием. Дис. ... докт. техн. наук / Научный консультант д.т.н., проф. Журба М. Г.; ХИСИ. – Х., 1993. – 384 с.
7. Кобылянский В.Я. Методы и аппаратура биотестирования воды для интенсификации работы систем водоснабжения и канализации. Дис. ... к. т. н. / Научн. руковод. проф. Петросов В.А.; ХГТУСА. – Х., 2001. – 473 с.
8. Петросов В.А. Теоретическое обоснование и разработка методов интенсификации работы систем водообеспечения. Дис. ... д. т. н. ХГТУСА. – Х., 1993. – 139 с.
9. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1983. 256 с.
10. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. – М.: Информагротех, 1995. – 295с.
11. Ежевский А.А., Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства. - М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2010.-288с.
12. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Инновационные проекты и разработки в области технического сервиса. - М.:ФГНУ «Росинформагротех»,2010. - 95с.

УДК 628.349.087.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ СВИНЦА ИЗ ПРОМЫВНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

*М.М. Рипная*

ассистент, ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка, РФ, yalalova-rita@mail.ru

### **Аннотация**

Изучен процесс извлечения свинца из промывочных вод методом электролиза. Определено, что с разбавлением борфтористоводородного электролита, снижается допустимая плотность тока, необходимая для равномерного осажде-

ния свинца на катоде. Установлена зависимость допустимой плотности тока от концентрации соли свинца в промывочной воде. Показано, что с уменьшением концентрации свинца в растворе в геометрической прогрессии снижается допустимая плотность тока и выход по току. Исходя из этого, целесообразно использовать электролиз при минимальной концентрации соли свинца в растворе равной 2,5 г/л.

**Ключевые слова:** свинцово-кислотные аккумуляторы, очистка, свинец, промывочные воды, электролиз.

## STUDY OF THE PROCESS OF EXTRACTION OF LEAD FROM WASH WATER BY ELECTROLYSIS METHOD

*M. M. Ripnaya*

### Abstract

The process of extracting lead from wash water by electrolysis has been studied. It has been determined that with the dilution of the hydrofluoride electrolyte, the permissible current density required for uniform deposition of lead on the cathode decreases. The dependence of the permissible current density on the concentration of lead salt in the wash water has been established. It has been shown that with a decrease in the lead concentration in the solution, the permissible current density and current efficiency decrease exponentially. Based on this, it is advisable to use electrolysis with a minimum concentration of lead salt in solution equal to 2.5 g/l.

**Keywords:** lead-acid batteries, cleaning, lead, wash water, electrolysis.

**Введение.** Производство по переработке свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды, главным образом поверхностных и подземных водоемов, ввиду образования большого объема сточных вод, содержащих вредные примеси тяжелых металлов и фторсодержащие компоненты.

На аккумуляторных заводах средней мощности образуется до 2500 м<sup>3</sup>/сут. сточных вод, содержащих соли свинца в количестве 15 – 20 мг/л [1].

На заводах кислотных аккумуляторов количество загрязненных сточных вод, требующих очистки, колеблется, в значительных пределах (от 1 до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут) [2]. Сброс воды производится как постоянно, так и периодически (отработавшие растворы). Содержание в воде различных компонентов резко меняется в течение суток.

Цель работы - изучение процесса извлечения свинца из промывных вод, образующихся при переработке свинцово-кислотных аккумуляторов, в борфтористоводородном электролите.

К тяжелым металлам, содержащимся в промывочных водах, относят свинец. Он может присутствовать в воде в растворимой форме в виде про-

стых или комплексных ионов. В нерастворимой форме он встречается в виде сульфида, карбоната, гидроксида и сульфата [3].

В зависимости от состава неорганических примесей и их концентрации в сточных водах применяют различные методы очистки, такие, как реагентные, ионообменные, электрохимические, электродиализные, ультрафильтрационные, обратный осмос, термические и т. д.

В настоящее время при очистке сточных вод, содержащих тяжелые металлы, наибольшее распространение получил реагентный метод [4].

Нейтрализацию промстоков проводят с помощью добавок различных реагентов: растворов кислот и щелочей, негашеной (CaO) и гашеной (Ca(OH)<sub>2</sub>) извести, каустической соды (NaOH), кальцинированной соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, аммиака (NH<sub>3</sub>OH), отходов производств, например, известково-карбонатного шлама и др.

Указано, что свинец является амфотерным металлом, т.е. может растворяться как в кислых, так и в щелочных средах. В работе [5] показано, что минимальная концентрация свинца при химическом осаждении наблюдается при pH=9,5. В источнике [6] указано, что такому металлу как свинец, требуется более высокий pH в диапазоне от 10 до 10,5 для эффективного осаждения гидроксида.

Началу выпадения в осадок гидроксида свинца соответствует pH = 6,0.

Избыток реагента может повышать pH и приводить к большей концентрации свинца в растворе по сравнению с минимальной концентрацией при pH равной 9,5-10,5.

Известно, что реагент-осадитель должен быть взят в избытке по сравнению с расчетным количеством [7]. Однако, не ясно какой избыток реагента необходимо использовать.

**Материалы и методы.** В работе определяли допустимую плотность тока на стандартной ячейке Хулла объемом 250 мл с использованием свинцовых анода и катода. Выход по току рассчитывали исходя из определенных в прямоугольной ячейке количества отложенного свинца на катоде при определенных силе тока, напряжении и времени электролиза при температуре 25 °С.

Кислотно-основное титрование электролита осуществляли 0,05 – 0,3 н раствором NaOH [8]. Измеряли концентрацию свинца в растворе после осаждения гидроксида свинца гидроксидом натрия и фильтрования раствора. Измерения проводили фотоколориметрическим методом, основанном на взаимодействии иона свинца с сульфарсазеном с образованием комплексного соединения, окрашенного в желто-оранжевый цвет [9].

Проводили осаждение свинца из водного раствора следующими осадителями: NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S.

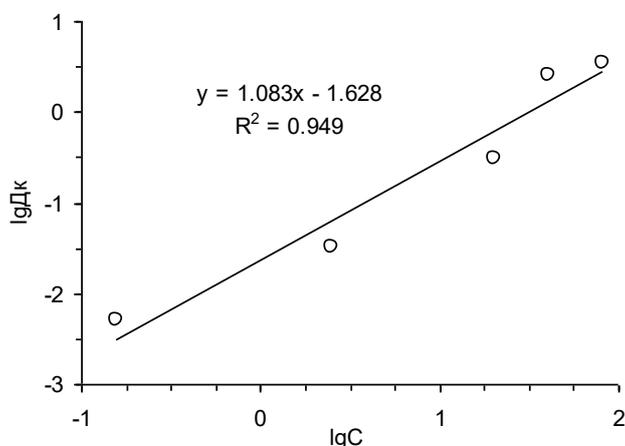
В процессе промывки катодов на катоде откладывается 2 г/м<sup>2</sup> электролита. Водные растворы, полученные после промывки катодов с выделенным на них свинцом, содержат разную концентрацию компонентов электролита. Для электрохимического извлечения свинца из промывочного раствора основной характеристикой является допустимая катодная плотность тока.

Как правило, для работы берут значения плотности тока равные 0,8 от допустимой. Скорость выделения свинца на катоде прямо пропорциональна величине допустимой катодной плотности тока. В связи с этим изучено влияние концентрации борфтористоводородного свинца в растворе на допустимую катодную плотность тока, результаты которых приведены в таблице 1.

**Таблица 1**– Влияние концентрации соли свинца в растворе ( $C_{Pb}$ , г/дм<sup>3</sup>) на допустимую катодную плотность тока ( $D_k$ , А/м<sup>2</sup>)

$C_{Pb}$ , г/дм <sup>3</sup>	$\lg C_{Pb}$	$D_k$ , А/м <sup>2</sup>	$\lg D_k$	Выход по току, %
80,7	+ 1,91	356	+ 0,55	97,5
40,4	+ 1,61	249	+ 0,40	97,0
20,2	+ 1,31	31	- 0,51	93,6
2,5	+ 0,40	3,3	- 1,48	88,3
0,16	- 0,80	0,50	- 2,30	64,7

Исходя из табличных данных, наблюдаем уменьшение  $D_k$  по мере разбавления электролита. При этом, при концентрации соли свинца в растворе 0,16 г/дм<sup>3</sup> понижается выход по току, по-видимому, за счет выделения водорода и затрат тока на преодоление электрического сопротивления разбавленного дистиллированной водой электролита.



**Рисунок 1** – Логарифмическая зависимость допустимой плотности тока ( $\lg D_k$ ) от концентрации соли свинца в растворе ( $\lg C$ )

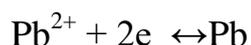
Из результатов, полученных на рисунке 1, видно, что зависимость  $D_k$  от  $C$  выравнивается в двойных логарифмических координатах. Прямая была обработана по методу наименьших квадратов и полученное уравнение 1, позволяет описать зависимость  $D_k$  от  $C$  удовлетворительным коэффициентом корреляции равным 0,95.

Исходя из полученного уравнения, можно посчитать допустимую плотность тока, в формуле 1:

$$D_k = 10^{(1,083 \cdot \lg C - 1,628)} \quad (1)$$

где  $\lg C$  – логарифм концентрации соли свинца в растворе

При этом на катоде происходит следующая реакция:



Эта реакция имеет второй порядок и, соответственно, при разбавлении электролита равновесие будет сдвигаться в левую сторону, т.е. этим объясняется наблюдаемое уменьшение допустимой плотности тока по мере разбавления электролита (табл.1, рис.1).

Уравнение 1 позволяет рассчитать значение допустимой плотности тока при разных концентрациях соли свинца в растворе, что представлено в таблице 2.

При концентрации свинца  $10^{-2}$  и ниже наблюдаются очень низкие катодная допустимая и рабочая плотности тока. Это говорит о нерациональности использования электролиза для очистки промывочных вод от ионов свинца.

Следовательно, считаем целесообразным выделение свинца на катоде электролизом при концентрации равной  $2,5 \text{ г/дм}^3$  и выше, при которой наблюдается достаточной высокий выход по току.

**Таблица 2** – Влияние концентрации соли свинца в электролите ( $C_{\text{Pb}}, \text{г/дм}^3$ ) на рассчитанную катодную допустимую ( $D_{\text{к}}, \text{мА/м}^2$ ) и рабочую плотности тока ( $D_{\text{р}}, \text{мА/м}^2$ )

$C_{\text{Pb}}, \text{г/дм}^3$	$\lg D_{\text{к}}$	$D_{\text{к}}, \text{мА/м}^2$	$D_{\text{р}}, \text{мА/м}^2$
$10^{-2}$	- 3,79	0,16	0,13
$10^{-3}$	- 4,88	0,013	0,010
$10^{-4}$	- 5,9	0,0012	0,0010
$10^{-5}$	- 7,043	$9 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$

По-видимому, при концентрации соли свинца в растворе ниже  $2,5 \text{ г/дм}^3$ , будет целесообразно проводить химическое осаждение солей свинца из разбавленных водных растворов. При меньшей концентрации резко уменьшается скорость процесса выделения, выход по току и резко увеличивается удельный расход электроэнергии.

**Результаты и обсуждение.** В работе показано, что при концентрации соли свинца выше  $2,5 \text{ г/дм}^3$  для электролитического выделения свинца целесообразно использовать электролиз, а при более низкой концентрации применять химическое осаждение щелочными реагентами.

#### Список цитированных источников

1. Янин Е.П. Эколого-геохимические аспекты воздействия аккумуляторной промышленности на окружающую среду/ Е.П. Янин// Ресурсосберегающие технологии. – 2002. - №18. – С. 3-33.
2. Качалова Г.С. Усовершенствование технологии обработки сточных вод аккумуляторного производства (на примере АО «Тюменский аккумуляторный завод») / Г. С. Качалов // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 6. – С. 67-73; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37141> (дата обращения: 18.09.2023).

3. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник. Изд.4-е, доп. и перераб. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. - 702 с.
4. Перельгин Ю. П. Реагентная очистка сточных вод и утилизация отработанных растворов и осадков гальванических производств: учеб.пособие / Ю. П. Перельгин, О. В. Зорькина, И. В. Рашевская, С. Н. Николаева // Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. – 80 с.
5. Ильин В. И. Способ очистки сточных вод от ионов свинца/ В.И. Ильин, В.А. Колесников, А.В. Перфильева; заявитель и патентообладатель Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева. № 2009125321/05; заявл. 02.07.2009; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.– 6 с.
6. Румянцева З.М. Электрохимические методы очистки природных и сточных вод / З.М. Румянцева// М., 1971.– С.258-259.
7. Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика, пер. с англ., 2 изд. – Л., 1972. – С. 126.
8. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. - М.: Минздрав СССР, 1979. – 25 с.
9. Перельман В.И. Краткий справочник химика /В. И. Перельман // М.: Научно-техническое издательство химической литературы, 2013. – 560 с.

УДК 628.16

## МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ВОДЫ

*А. О. Сухова<sup>1</sup>, И. В. Хорохорина<sup>2</sup>, А. В. Нехорошева<sup>3</sup>, Ю. С. Савченкова<sup>4</sup>,  
А. А. Дубовицкий<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Доцент, Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), Тамбов, Россия, apil1@yandex.ru

<sup>2</sup>Доцент, ТГТУ, Тамбов, Россия, kotelnikovirina@yandex.ru

<sup>3</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, nehorosheva126@gmail.com

<sup>4</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, yulya\_medvedeva\_2015@inbox.ru

<sup>5</sup>ТГТУ, Тамбов, Россия, doobasss68@gmail.com

### **Аннотация**

Данная статья знакомит с перспективами использования мембранных технологий и их преимуществами над другими видами водоподготовки. Также рассмотрены виды мембран и их различия.

**Ключевые слова:** мембранные технологии, водоподготовка, фильтрация, очистка воды, селективность.

## MEMBRANE TECHNOLOGIES AS A HIGH-TECH WATER TREATMENT PROCESS

*A. O. Sukhova<sup>1</sup>, I. V. Khorokhorina<sup>2</sup>, A. V. Nekhorosheva<sup>3</sup>, Y. S. Savchenkova<sup>4</sup>,  
A. A. Dubovitckii<sup>5</sup>*

### **Abstract**

This article introduces the prospects of using membrane technologies and their advantages over other types of water treatment. The types of membranes and their differences are also considered.

**Keywords:** membrane technologies, water treatment, filtration, water purification, selectivity.

**Введение.** Проблема чистой воды остро стоит в самых разных регионах нашей страны. Загрязнение почвенных вод и открытых водоемов промышленными и бытовыми стоками, а также остатками минеральных удобрений не позволяет употреблять воду без предварительной очистки. Одним из наиболее передовых методов фильтрации воды считается её мембранная очистка. Сегодня мембранные технологии являются высокотехнологичным процессом подготовки воды и применяются практически во всех отраслях – от добычи и переработки нефти до производства соков и фармацевтики.

С экологической точки зрения в последние дни оправданным и перспективным становится использование гибридных методов очистки с использованием каталитической мембранной сепарации в аппаратах нового поколения, т.к. они способствуют образованию простых и менее токсичных соединений, что отвечает ужесточающимся требованиям законодательства.

В водной промышленности мембранная технология используется для улучшения качества воды, ее повторного использования или сброса в окружающую среду.

Задачами мембранной технологии применительно к сточным водам предприятий химии и нефтехимии являются:

- очистка стоков, содержащих нефтепродукты;
- очистка стоков, содержащих растворенные и эмульгированные органические загрязнения;
- вывод и утилизация нефтепродуктов, возврат очищенной воды на повторное использование или сброс в канализацию;
- концентрирование и очистка органических компонентов, возврат очищенной воды на повторное использование;
- доочистка воды после очистных сооружений (удаление остаточной биомассы, органических загрязнителей, снижение цветности и др.);
- удаление биологически стойких загрязнений.

Мембраны варьируются от мелкопористых структур до непористых и могут удалять загрязняющие вещества, такие как бактерии и простейшие, вплоть до ионов [1].

Преимущества мембранной технологии включают ее модульный характер, качество воды в продукте, относительно небольшая занимаемая площадь и, в некоторых случаях, более низкое энергопотребление, а также долговечность самих мембран, надежность и возможность автоматизации процессов очистки.

Применение мембранных технологий позволяет улучшить качество воды, уменьшить количественный сброс загрязняющих веществ в водоемы и снизить забор природных вод за счет повторного использования очищенных сточных вод.

Растущий дефицит воды в сочетании с устойчивым улучшением характеристик мембран, затрат и спроса на энергию приведет к устойчивому росту использования мембран в водной промышленности в обозримом будущем [2]. Было выявлено, что традиционные методы очистки воды неэффективны для удаления некоторых загрязняющих веществ, и что на этапе обеззараживания могут образовываться новые вредные соединения (например, трихлорметан в

результате реакции между хлором и природным органическим веществом). Мембранные процессы могли бы стать решением для усовершенствованной физической обработки воды для питьевых целей, отличных от рекуперации сточных вод.

Мембранная очистка сточных вод основана на использовании процесса фильтрации воды. Все мембранные процессы имеют мембрану, которая является основным фильтрующим элементом, представляющим собой полупроницаемую перегородку, имеющую пористую структуру. Термин «полупроницаемая» означает, что одно вещество мембрана, как и другие фильтрующие материалы, пропускает, а другое задерживает. Это свойство называется селективностью компонентов смеси, что является основным свойством мембраны.

Мембранный процесс и процесс фильтрации имеют кажущееся сходство.

Обычное фильтрование применяют для удаления из воды относительно крупных образований – дисперсных и крупных коллоидных примесей, а мембранные технологии – для извлечения мелких коллоидных частиц, а также растворенных соединений. Через полупроницаемую мембрану пропускаются только молекулы воды, а все частицы, микроорганизмы и органические молекулы с большим молекулярным весом – задерживаются. Для этого мембраны должны иметь поры очень малого размера. Из-за очень малого размера пор процесс очистки воды на мембране является достаточно медленным, что требует достаточно высокого давления и использования мембран с большой площадью поверхности. Следует отметить, что к полупроницаемым разделительным мембранам относятся только те материалы, которые обеспечивают разделение смесей на поверхности материала.

Мембрана – это тонкая физическая граница раздела, которая препятствует прохождению определенных видов веществ в зависимости от их физических и/или химических свойств (рисунок 1).

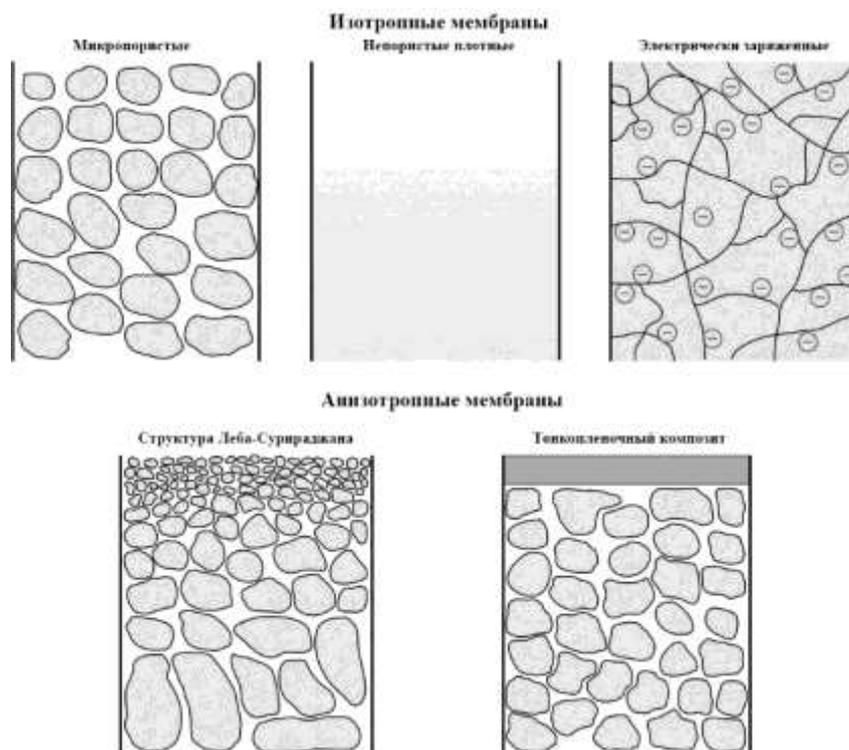


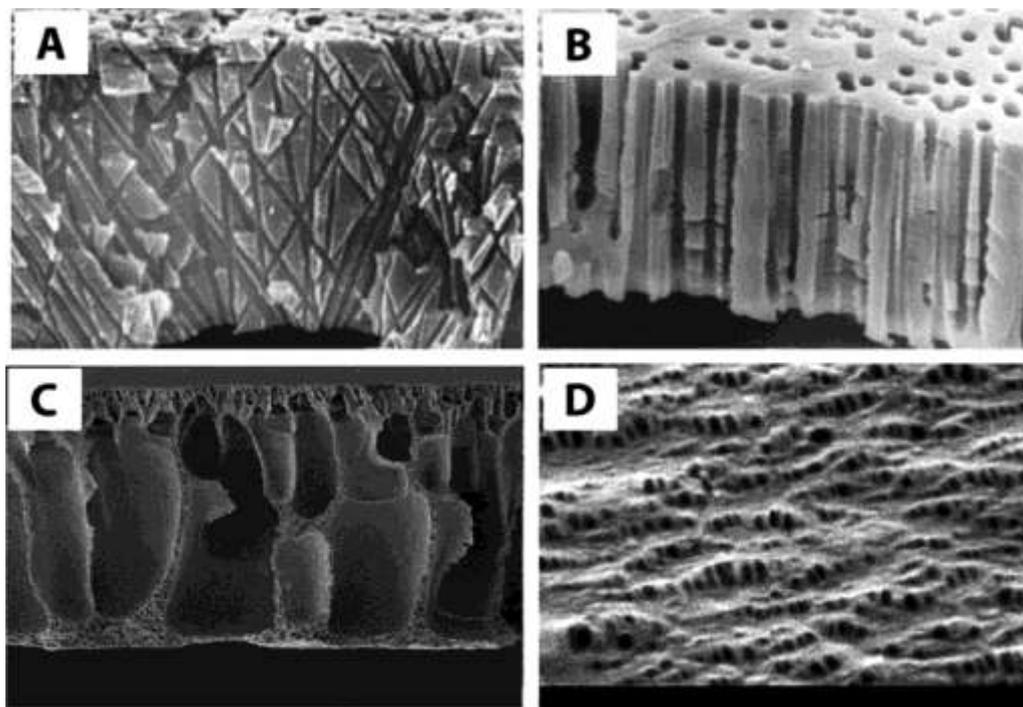
Рисунок 1 – Схематическая иллюстрация различных классов мембран

Изотропные мембраны имеют химически однородный состав, в то время как анизотропные мембраны неоднородны как химически, так и структурно.

Примеры изотропных мембран включают: микропористые мембраны, непористые плотные пленки и электрически заряженные мембраны [3]. Пористые мембраны обычно разделяют растворенные вещества в зависимости от размера частиц и размера пор. Микропористые мембраны аналогичны обычному фильтру, но диаметр пор обычно колеблется в пределах 0,1–5 мкм (обычные фильтры используются для частиц размером более 1-10 мкм, поэтому диаметр их пор обычно превышает 5 мкм).

Микропористые мембраны часто изготавливаются на основе полимеров с травлением дорожек (непористые полимерные пленки облучаются тяжелыми ионами для образования дорожек через пленку), инверсией фазы (контролируемое превращение из гомогенного полимерного раствора в твердое состояние, вызванное осаждением погружением) или растянутыми полимерными пленками (технология без растворителей, при которой полимеры нагреваются выше точки плавления и экструдированы в тонкие пленки с последующим растягиванием) (рисунок 2) [4].

В случае непористых плотных пленок перенос проникающих веществ происходит за счет диффузии, обусловленной приложенной силой, такой как давление, концентрация или градиенты электрического поля. Следовательно, разделение растворенных веществ определяется их относительными скоростями переноса.



**Рисунок 2** – Изображения в поперечном сечении (А) цилиндрических непараллельных пористых каналов с дорожечным травлением из поликарбоната и (Б) полипропиленовой мембраны с дорожечным травлением со слегка коническими параллельными порами. Полиэфир-*g*-метоксиполиэтиленгликоль (Peg-MPEG), смешанный с мембраной из поливинилиденфторида (PVDF) методом инверсии фаз (С). (D) - изображение поверхности двух полипропиленов (PP28 и PP08), содержащих 10 мас.% PP08 и растянутых как в холодном, так и в горячем состоянии [5]

Электрически заряженные мембраны могут представлять собой либо непористые плотные пленки, либо микропористые структуры, состоящие из положительно или отрицательно заряженных ионов, нанесенных на стенки мембраны (известные как анионообменные или катионообменные мембраны соответственно). Разделение растворенных веществ, в первую очередь, достигается за счет концентрации ионов анализируемого вещества и исключения заряда (т.е. растворенное вещество с тем же зарядом, что и ионы на стенках мембраны, отбрасывается за счет кулоновского отталкивания) [4].

Существует два основных типа анизотропных мембран: мембраны с разделением фаз (мембраны Леба-Сурираджана) и композитные мембраны, такие как тонкопленочные пленки, пленки с покрытием и самосборные структуры.

Мембраны Леба-Сурираджана однородны по химическому составу, аналогичному изотропным микропористым мембранам, но размеры пор и пористость варьируются в зависимости от толщины мембраны. Разработка таких анизотропных мембран в начале 1960-х годов стала крупным прорывом в области мембранной технологии [5].

Композитные мембраны, такие как тонкопленочные мембраны, химически и структурно неоднородны. Тонкий поверхностный слой поддерживается гораздо более толстой пористой структурой (функционирующей как механическая опора), и эти структуры традиционно изготавливаются из различных полимерных материалов. Мембраны этого класса, изготовленные такими методами, как межфазная полимеризация, нанесение покрытия раствором и плазменная полимеризация, были созданы для различных процессов фильтрации.

Разделение растворенных веществ и скорость проникновения мембраны определяются исключительно тонким поверхностным слоем, что приводит к высокому потоку. Типичные полимерные материалы для промышленных фильтрующих мембран включают ацетаты целлюлозы, полиакрилонитрил, полиэфиримиды, полиэфирсульфоны, полиамид, поликарбонаты, сшитый полиэфир, полипропилен и поливинилиденфторид.

**Заключение.** Внедрение мембранных технологий поднимает планку требований к качеству питьевой воды и обработки сточных вод, что актуально в условиях быстрого роста потребления воды. Также они способствуют более интенсивному развитию сектора водоснабжения и необходимости модернизации уже действующего оборудования в системах водоснабжения. Применение мембранных технологий в водоподготовке обещает снизить затраты на процесс очистки воды путем уменьшения размеров очистных установок и сокращения энергопотребления.

#### Список цитированных источников

1. Иванов, А. А., Смирнов, Д. С. Мембранные технологии для очистки воды. М.: Техносфера, 2019. – 189 с.
2. Кузнецов, П. Н., Соколов, С. А. Мембранные методы очистки воды: теория и практика. М.: Экология, 2020. – 223 с.

3. Горелик, Л. Б., Соловьев, С. В. Биофизические основы мембранных технологий в водоочистке // Журнал прикладной биохимии и микробиологии. 2017. № 53(1).С. 40-49.
4. Жданов, С. П., Марков, А. В. Применение мембранных технологий в водоподготовке // Химическая техника и водоочистка. 2019.№ 82(5). С. 243-251.
5. Белов, А. В., Колесников, А. А. Использование мембранных методов для очистки воды от микроорганизмов // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 89(5). С 59-65.

УДК 628.16

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

*А. О. Сухова<sup>1</sup>, И. В. Хорохорина<sup>2</sup>, А. В. Нехорошева<sup>3</sup>, Ю. С. Савченкова<sup>4</sup>,  
А. Н. Корнеев<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Доцент, Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), Тамбов, Россия, [apill@yandex.ru](mailto:apill@yandex.ru)

<sup>2</sup> Доцент, ТГТУ, Тамбов, Россия, [kotelnikovirina@yandex.ru](mailto:kotelnikovirina@yandex.ru)

<sup>3</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [nehorosheva126@gmail.com](mailto:nehorosheva126@gmail.com)

<sup>4</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [yulya\\_medvedeva\\_2015@inbox.ru](mailto:yulya_medvedeva_2015@inbox.ru)

<sup>5</sup> ТГТУ, Тамбов, Россия, [artemspartaks@mail.ru](mailto:artemspartaks@mail.ru)

### Аннотация

В данной статье рассмотрено мембранное моделирование, как оптимизация процесса фильтрации.

**Ключевые слова:** мембранные технологии, мембранное моделирование, фильтрация.

## MODELING OF PROCESSES OF MEMBRANE SEPARATION OF WASTEWATER AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

*A. O. Sukhova<sup>1</sup>, I. V. Khorokhorina<sup>2</sup>, A. V. Nekhorosheva<sup>3</sup>, Y. S. Savchenkova<sup>4</sup>,  
A. N. Korneev<sup>5</sup>*

### Abstract

This article discusses membrane modeling as an optimization of the filtration process.

**Keywords:** membrane technologies, membrane modeling, filtration.

**Введение.** Система моделирования позволит спрогнозировать производительность мембраны, но и также поможет оптимизировать процесс разделения. Точное моделирование прольет свет на механизмы разделения во время филь-

трации, которые могут предоставить существенные возможности для повышения производительности и экономии средств. Таким образом, моделирование является неотъемлемой частью мембранных исследований и становится все более необходимым инструментом и для промышленности.

Дефицит чистой воды является масштабной и растущей проблемой во всем мире; передовые технологии очистки воды станут незаменимой основой, необходимой для удовлетворения наших будущих потребностей. Благодаря инновационному изготовлению, методам обработки, выбору материалов и систематическим исследованиям для определения ключевых параметров (влияние мембранных структур, пор, шероховатости поверхности и заряда, а также понимание / прогнозирование взаимодействий между растворенными веществами и мембраной), исследования и разработки мембранных технологий обещают сыграть ключевую роль в решении этой глобальной проблемы воды.

В целом моделирование процессов фильтрации можно разделить на три уровня – молекулярное, мезомасштабное и макромасштабное моделирование. Макромасштабное моделирование, которое выходит за рамки данного обзора, касается проектирования и оптимизации технологических параметров мембранных фильтрующих модулей для применения, например, на установках очистки сточных вод [1].

Мезомасштабное моделирование (например, на уровне модуля с одним фильтром) обычно имеет дело с потоком, отбраковкой, потоком и жидкостным переносом. Как обсуждалось, мембраны с различными структурами могут быть изготовлены с использованием различных синтетических методов и материалов. В случае процессов UF и MF, когда мембрана пористая, а поток воды ламинарный (слои потока движутся по правильной траектории или плавно накладываются друг на друга см. турбулентное течение, в котором характер течения включает нерегулярные колебания и зависит от времени) простая гидродинамическая теория может быть применена и смоделирована с использованием эмпирических уравнений: закона Дарси, уравнения Хагена-Пуазейля и Кармана-Козени. Применение конкретного уравнения зависит от факторов структуры пор, таких как размер пор, форма, пористость, средняя длина капилляров, распределение пор по размерам, площадь поверхности и извитость.

Закон, управляющий потоком жидкости, создаваемым с помощью пористых пробок из песка между двумя резервуарами для жидкости, был разработан Дарси. Он заметил, что скорость потока прямо пропорциональна гидростатическому давлению по длине мембраны, состоящей из песка. Закон Гарри выражает, что средняя скорость  $u$  через пористую мембрану имеет следующие соотношения:

$$\bar{u} = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (1)$$

где  $k$ – проницаемость пористой мембраны, а  $\mu$ – вязкость жидкости. Единицей измерения  $k$  является Дарси (расход  $1 \text{ см}^3/\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^2$  с градиентом давления 1

атм/см<sup>-1</sup> для вязкости жидкости 1 сР), и  $k$  зависит от факторов структуры пор, таких как пористость и извилистость.

Уравнение (1) представляет процесс, управляемый давлением через поры мембраны (поток, обусловленный диффузией, который используется в системах обратного осмоса, незначителен), и это приложенное давление является движущей силой для транспортировки жидкости через пористую мембрану [2].

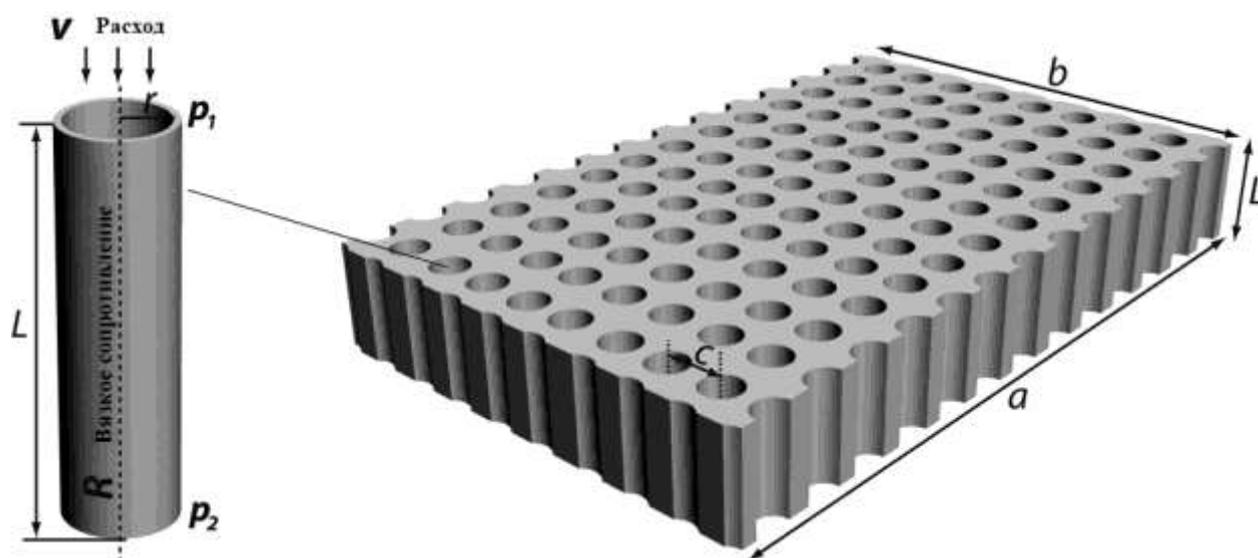
В случае цилиндрической пористой структуры (рисунок 1) для характеристики расхода используется уравнение Хагена–Пуазейля, описывающее ламинарное течение в трубе:

$$v = \frac{\Delta p}{R} \quad (2)$$

где  $R$ – вязкостное сопротивление вдоль трубы, показанное на рисунке 1:

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4} \quad (3)$$

где  $L$ ,  $r$  и  $\eta$ – длина и радиус трубки и вязкость жидкости соответственно.



**Рисунок 1** – Пористая мембрана, состоящая из цилиндрических капилляров

Уравнение (3) аналогично электрической цепи, в которой протекание тока пропорционально потенциалу на сопротивлении ( $I = V/R$ ). Электрическая энергия рассеивается, когда электрический ток протекает через резистор; точно так же энергия рассеивается, когда жидкость течет по трубе. В электрической цепи это проявляется в падении потенциала на резисторе; в случае трубы поток вызывает перепад давления вдоль трубы. Расход на единицу площади (т. е. поток) представляет собой сумму всех потоков отдельных цилиндрических капилляров одинакового размера. Поэтому умножаем уравнение (2) на пористость поверхности,  $\varepsilon$  (объем пустот/общий объем):

$$v = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta L} \varepsilon \quad (4)$$

$\frac{\Delta p}{L}$  берется как градиент давления в капилляре, как видно из закона Дарси. Следует отметить, что скорость потока чувствительна к радиусу капилляра. Например, типичный диаметр пор МФ-мембраны находится в диапазоне 0,1–5 мкм, что примерно в 100 раз больше, чем средний диаметр пор УФ-мембраны. Это означает, что проницаемость (поток на единицу давления разности) в МФ значительно выше, чем в УФ, поэтому требуются другие рабочие давления [3].

Для пористых сред с некруглым поперечным сечением Козени разработал гидродинамическое уравнение, основанное на предположении, что путь потока является случайным и извилистым. Используя понятие гидравлического радиуса, уравнение Кармана–Козени имеет вид:

$$u = \frac{\varepsilon^3}{K\mu(1-\varepsilon)^2 S_0} \frac{\Delta p}{L} \quad (5)$$

$K$  называется константой Козени, а  $S_0$  – удельной поверхностью пористой среды (площадь поверхности пористой среды/объем твердых частиц пористой среды). Уравнение (5) широко используется для мембраны, состоящей из плотно упакованных сфер. Наконец, проницаемость по Дарси  $k$  принимает вид:

$$k = \frac{\varepsilon^3}{K(1-\varepsilon)^2 S_0^2} \quad (6)$$

Как упоминалось ранее,  $k$  зависит от факторов пористой структуры, таких как пористость и извилистость, которые являются наиболее часто используемыми параметрами для характеристики пористых мембран. Пористость мембраны представляет собой объемную долю всей мембраны, а типичные значения пористости мембран УФ и МФ находятся в диапазоне от 0,3 до 0,7. Извилистость определяется как отношение средней длины извилистого пути, который должна пройти жидкость, чтобы пересечь мембрану до толщины мембраны [4].

На практике эти требования, предъявляемые к мембранной технологии очистки воды, являются агрессивными. Значительный прогресс был достигнут в разработке новых методов изготовления для адаптации структуры пор мембран, свойств поверхности и морфологии. Несмотря на недавние достижения в синтезе новых мембранных материалов, методах модификации поверхности/функционализации и оптимизации конструкции и условий эксплуатации, сохраняется настоятельная необходимость в производстве надежных мембран с заданными характеристиками, особенно для решения проблем загрязнения мембран (биообрастание, образование накипи, органическое и коллоидное загрязнение) [5]. Предотвращение загрязнения остается важной задачей. Нере-

шенная проблема в очистке воды приводит к высоким эксплуатационным затратам и низкой эффективности продукта.

Чтобы обеспечить прогресс следующего поколения в мембранной технологии, могут потребоваться инновационные методы проектирования поверхности и изготовления для создания многофункциональных мембран с исключительными противообрастающими, антимикробными и фотокаталитическими свойствами. В этом отношении композитные мембранные материалы являются многообещающими кандидатами, особенно те, которые включают функциональные наноматериалы в «умную» полимерную матрицу. Необходимо обеспечить глубокое понимание их физико-химических свойств и разработку контролируемых взаимодействий между наноматериалами и хозяевами, чтобы повысить воспроизводимость производства и эксплуатационные характеристики.

Глубокое понимание механизмов переноса воды и растворенных веществ в мембране, а также роли микроскопических свойств мембраны в макроскопических характеристиках все еще остается недостижимым. Кроме того, необходимо создать общие рамки для исследования/оценки/управления рисками. Необходимо оценить и смягчить воздействие этих наноматериалов на окружающую среду и токсикологию при длительном использовании[6].

**Заключение.** Дефицит чистой воды является масштабной и растущей проблемой во всем мире; передовые технологии очистки воды станут незаменимой основой, необходимой для удовлетворения наших будущих потребностей. Благодаря инновационному изготовлению, методам обработки, выбору материалов и систематическим исследованиям для определения ключевых параметров (влияние мембранных структур, пор, шероховатости поверхности и заряда, а также понимание/прогнозирование взаимодействий между растворенными веществами и мембраной), исследования и разработки мембранных технологий обещают сыграть ключевую роль в решении этой глобальной проблемы воды.

#### Список цитированных источников

1. Чередниченко, В. И., Серебренников, Д. А. Мембранные технологии в обработке воды: теория и практика // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 86(6). С. 40-49.
2. Коновалов, Д. В., Соловьев, А. Н. Моделирование мембранных процессов в системах водоподготовки // Экологическая безопасность и ресурсосбережение. 2019. № 3(12). С. 18-25.
3. Петров, В. В., Зайцев, А. М. Моделирование мембранных процессов в обработке воды. СПб.: Научное издательство "Гидротерм", 2018. – 196 с.
4. Тимофеев, А. В., Ларионов, Д. С. Молекулярное моделирование мембранных процессов в очистке воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 87(10). С. 49-55.
5. Григорьев, В. И., Павлов, Д. С. Биофизические аспекты мембранных методов очистки воды // Водоочистка и водоснабжение. 2020. № 65(8). С. 32-40.
6. Сорокин, В. М., & Ковалев, Д. В. Использование мембранных технологий для очистки воды от бактерий и вирусов // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 88(3). С. 45-52.

## К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДКА ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ЕГО УТИЛИЗАЦИИ

*Е. А. Урецкий<sup>1</sup>, В. В. Мороз<sup>2</sup>, Т. И. Акулич<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие (РУП) Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ», Витебск, Беларусь, euretsky@yandex.by

<sup>2</sup>Заведующий кафедрой природообустройства, БрГТУ, Брест, Беларусь, vovavall@mail.ru

<sup>3</sup>Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, tigol1976@mail.ru

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследования осадка сточных вод производств защитных покрытий (ПЗП) и печатных плат (ППП) ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») и ряда Минских заводов приборо- и машиностроительного профиля. Выявлены различия в составе осадка ПЗП и ППП, который может быть использован для изготовления строительной керамики. Безопасность изготовленных изделий подтверждена Белорусским государственным научно-исследовательским институтом санитарии и гигиены.

**Ключевые слова:** осадок, зольность, влажность, плотность, удельное сопротивление, керамика.

## TO THE QUESTION OF THE STUDY OF THE PRODUCTION OF PROTECTIVE COATINGS AND PRINTED BOARDS AND ITS UTILIZATION

*E. A. Uretsky<sup>1</sup>, V. V. Moroz<sup>2</sup>, T. I. Akulich<sup>3</sup>*

### **Abstract**

The article presents the results of a study of sewage sludge from the production of protective coatings (PPC) and printed circuit boards (PCB) of JSC "Brest Electromechanical Plant" (JSC "BEMZ") and a number of Minsk plants of instrument and machine-building profile. Differences in the composition of the sediment of the PPC and PCB, which can be used for the manufacture of building ceramics, are revealed. The safety of manufactured products is confirmed by the Belarusian State Research Institute of Sanitation and Hygiene.

**Keywords:** sediment, ash content, humidity, density, resistivity, ceramics.

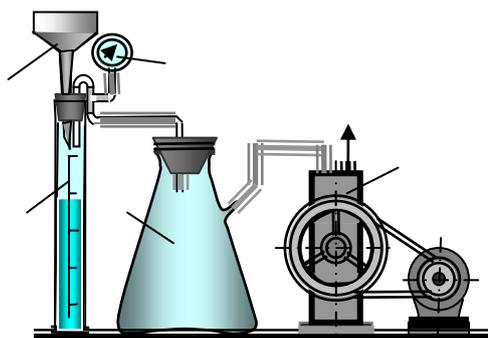
**Введение.** В Республике Беларусь сосредоточено большое количество крупных предприятий приборо- и машиностроения. Именно эти предприятия являются основными загрязнителями окружающей среды тяжёлыми металлами (ТМ) [1, 2, 3]. Согласно шкале стресс-факторов, учитывающей комплексное,

негативное воздействие на человеческий организм, ТМ (135 баллов) оставляют далеко позади радиоактивные отходы (40 баллов) [4].

По утверждению специалистов БНТУ, выполненный ими комплексный анализ показал, что во всех регионах Беларуси на 2005 год образовывалось 14 000 м<sup>3</sup>/год гальваношламов. При этом вывозилось на полигоны 12 400 м<sup>3</sup>/год, хранилось на предприятиях 1 500 м<sup>3</sup>/год, а на переработку из них поступало 130 м<sup>3</sup>/год, т.е. подвергалось переработке менее 1 % [5, 6].

Именно поэтому возникла острая необходимость разработки ресурсосберегающей технологии утилизации осадка сточных вод ПЗП и ППП.

**Материалы и методы.** Состав сточных вод ПЗП относительно хорошо изучен. Однако, появление в осадке соединений, характерных для производства печатных плат не может не повлиять на его свойства. Скорее всего, это влияние станет заметным при существенных относительных долях новых соединений. Эти предположения были проверены на натуральных образцах осадка ОАО «БЭМЗ» из отстойника и на образцах, приготовленных из нейтрализованных сточных вод с добавлением отработанных растворов, содержащих компоненты, представляющими интерес.

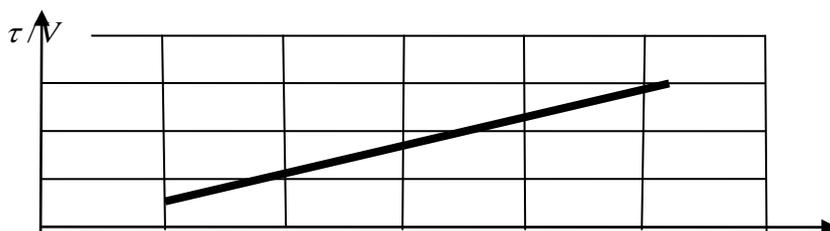


**Рисунок 1** – Схема установки для определения удельного сопротивления осадка

1 – мерный цилиндр; 2 – воронка Бюхнера; 3 – колба Бунзена; 4 – вакуумметр; 5 вакуум-насос с электродвигателем.

Проведены исследования основных свойств осадка: зольности, влажности, плотности, концентрации, удельного сопротивления. Определение зольности, влажности, плотности, концентрации, удельного сопротивления проводилось по стандартным методикам [7, 8]. Определение удельного сопротивления производилось наиболее простым и обеспечивающим достаточную точность, объёмным способом. Суть его заключается в определении величины удельного сопротивления по объёму фильтрата, выделяющегося в процессе фильтрования за определённые промежутки времени при постоянном давлении [7, 8]. Схема установки приведена на рис. 1.

Параметр  $b$  определялся графически (рис. 2) [7, 8]. Концентрация осадка принималась равной количеству находящихся в  $1\text{ м}^3$  осадка твёрдых или растворённых частиц сухого или растворённого вещества.



**Рисунок 2** – Графическое определение параметра  $b$

Получены опытные данные в результате обработки образующегося осадка:

- по химическому составу осадка ПЗП (таблица 1);
- промывных сточных вод гальванического производства (таблица 2);
- по основным свойствам модельных осадков сточных вод с повышенной концентрацией меди (таблица 3);
- промывных сточных вод производства защитных покрытий и производства печатных плат (таблица 4);

**Таблица 1** – Химический состав твёрдой фазы осадка сточных вод ПЗП (%)

Содержание твёрдой фазы в подсушенном осадке, %	Химический состав									Потери при прокаливании, %
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	ZnO	CaO	MgO	CuO	
1,6	4,9	15,3	2,3	1,1	10,3	4,0	16,3	5,5	1,9	27,4
2,2	2,9	12,9	4,7	1,0	4,6	5,8	22,9	1,5	1,4	23,6

**Таблица 2** – Основные свойства осадка, образующегося при обработке сточных вод ПЗП

№ эксперимента	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Зольность, %	Концентрация, %	Удельное сопротивление см/г
1	1,07	88,42	73,90	124	$24,16 \cdot 10^{10}$
2	1,02	99,77	74,54	23	$13,56 \cdot 10^{10}$
3	1,00	97,94	68,77	21	$17,13 \cdot 10^{10}$
4	1,01	95,00	72,00	34	$9,4 \cdot 10^{10}$

**Таблица 3** – Основные свойства модельных осадков сточных вод с повышенной концентрацией меди

№ эксперимента	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Зольность, %	Концентрация, %	Удельное сопротивление, см/г
1	1,030	78,82	12,37	24	$111,91 \cdot 10^{10}$
2	1,004	97,68	76,59	23	$35,70 \cdot 10^{10}$
3	1,003	97,71	71,21	23	$60,49 \cdot 10^{10}$

**Таблица 4** – Основные свойства осадка, образующегося при обработке сточных вод ПЗП и ППП

№ эксперимента	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Зольность %	Концентрация %	Удельное сопротивление см/г
1	1,06	99,11	66,67	9	21,48·10 <sup>10</sup>
2	1,00	98,50	73,10	15	21,04·10 <sup>10</sup>
3	1,01	96,49	76,50	35	15,70·10 <sup>10</sup>
4	1,01	95,33	71,29	48	19,55·10 <sup>10</sup>
5	1,04	93,86	70,48	64	17,16·10 <sup>10</sup>
6	1,01	98,14	77,89	18	17,96·10 <sup>10</sup>
7	1,00	96,63	69,15	34	19,66·10 <sup>10</sup>
8	1,03	96,00	69,00	40	23,34·10 <sup>10</sup>
9	1,12	77,93	73,37	247	24,25·10 <sup>10</sup>

Результаты исследований позволили выявить определённые тенденции и сделать предварительные выводы.

Показатели свойств натурального образца осадка, полученного в результате совместной обработки сточных вод ПЗП и ППП, колеблются в следующих пределах:

- плотность 1,00-1,12г/см<sup>3</sup>
- влажность 96,00-99,11%
- зольность 66,67-78,50%
- концентрация 9 - 64г/л

Сопоставление этих величин с соответствующими показателями осадка сточных вод гальванического производства показывает значительные различия.

Представляется возможным при концентрации меди в исходных сточных водах менее 300 мг/л использовать имеющийся узел обезвоживания осадка, ограничившись проверкой его производительности на обработку увеличивающейся массы осадка. Масса осадка растёт пропорционально количеству обработанных сточных вод.

Увеличение содержания в сточных водах меди более 500 мг/л, хрома и преобладание одного из них сказывается на величину удельного сопротивления осадка. Оно резко возрастает (см.табл. 3).

Помимо этого, был исследован осадок минских заводов по производству защитных покрытий и печатных плат:

1. Смешанный осадок МЗВТ и МЗПП.
2. Завода «Термопласт».
3. НИИ ЭВМ.
4. Завода им. С. Орджоникидзе.
5. МЗУ ЭВМ.
6. Минский электромеханический завод (МЭМЗ).

Все образцы осадков сточных вод представляют собой пастообразную массу с влажностью от 50 до 75 %, рН = 8-10 и включают в себя гидроксиды различных металлов и других минеральных и органических загрязнений.

Анализ по химическому составу осадка проводился на спектрографе ИСП-ЭО, а также на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА №-1. Чувствительность

и ошибка определения удовлетворяет условиям спектрального метода анализа. Результаты спектрального анализа осадков сточных вод приведены в табл.5.

**Таблица 5** – Результаты спектрального анализа осадков сточных вод

№ п/п	Предприятия г. Минска	Sn	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb
1	МЗВТ+МЗПП	0,12	0,91	0,13	1,25	2,18	0,9	0,09	0,045
2	Термопласт	0,064	0,99	0,0032	3,72	11,2	0,042	0,04	0,16
3	НИИ ЭВМ	0,76	9,89	0,14	0,21	1,8	0,75	0,024	0,3
4	Орджоникидзе	0,029	0,084	0,039	0,0025	0,39	0,9	0,15	следы
5	МЗУ ЭВМ	0,17	0,072	0,0004	0,064	0,05	0,049	0,019	0,1
6	МЭМЗ	0,142	0,36	0,2	3,5	4,9	0,15	0,007	0,05

**Заключение.** На основании проведенных исследований и производственных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Осадки сточных вод от производства защитных покрытий Минского завода ЭВМ им. С. Орджоникидзе, Минского электромеханического завода (МЭМЗ), Минского завода узлов ЭВМ, а также смешанного осадка предприятий МЗВТ и МЗПП рекомендуется использовать в качестве добавки при производстве керамических стеновых материалов и пористых заполнителей.

2. Сырьевая смесь с добавкой осадка сточных вод МЭМЗ для лицевого слоя строительного кирпича может быть использована при производстве двухслойного кирпича и керамического камня шликерным способом. При этом достигается повышение термостойкости и морозостойкости, снижение водопоглощения и температуры обжига изделия по сравнению с лицевым слоем на основе масс Минского электромеханического завода, Минского завода узлов ЭВМ, а также смешанного осадка предприятий МЗВТ и МЗПП рекомендуется использовать в качестве добавки при производстве керамических стеновых материалов и пористых заполнителей.

3. При обжиге изделий при  $950^{\circ}\text{C}$  обеспечивается получение продукции с качественными показателями, аналогичным показателям изделий на основе известных масс, которые обжигают при  $1000^{\circ}\text{C}$ .

4. При использовании высушенного осадка сточных вод температура обжига изделий может быть снижена на  $50^{\circ}\text{C}$ , что обеспечит экономию топливно-энергетических ресурсов в количестве 30 – 40кг условного топлива на 1000 штук кирпича.

5. Керамическая масса, изготовленная с добавками осадка сточных вод ПЗП и ППП, способствует повышению прочности при сжатии на 1-2 марки, уменьшению водопоглощения и увеличению морозостойкости изделий в 1,5-2 раза, одновременно улучшению их внешнего вида и расширению цветовой гаммы.

6. Добавление осадка сточных вод ПЗП и ППП в сырьевые смеси для рядового кирпича, плитки керамической фасадной, гравия керамзитового, а также бетона легкого на пористых заполнителях в пределах 5-15 мас %, обеспечивает в соответствии с заключением Белорусского НИИ санитарии и гигиены Минздрава Беларуси получение экологически безвредной продукции, полностью отвечающей требованиям её безопасной эксплуатации для здоровья человека [9].

**Рекомендации для внедрения в производство.** Разработанные составы керамических масс могут быть рекомендованы для внедрения в производство на заводах стройматериалов, при этом использование метода пластического пресования должно предусматривать создание подсушки осадка сточных вод до 25-30 % влажности и дробления плава солей с его просевом в условиях сухого крытого помещения. Производство изделий шликерным способом позволяет использовать осадок сточных вод без предварительной подсушки с влажностью до 70 %.

По результатам научных исследований осадок сточных вод Минского завода узлов ЭВМ рекомендовано использовать в качестве красителя для плитки керамической фасадной.

По представленным рекомендациям на Брестском комбинате строительных материалов изготовлена промышленная партия плитки керамической фасадной [10].

### **Список цитированных источников**

1. Урецкий Е.А., Гогина Е.С., Мороз. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения В.В. Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2022. – 624 с. ISBN 978–5–4323
2. Урецкий Е.А., Николенко И.В. Мороз В.В. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации твёрдых и жидких отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат. Монография. -133 стр.
3. Гогина Е.С., Гуринович А.Д, Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов РФ, 2012. – 312 с.
4. Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справочник /В.Л. Зубченко, В.М. Рогов и др. под общей редакцией В.Л. Зубченко. -М: Машиностроение, 1989. – 672 с.
5. Использование осадков гальванического производства / В. Н. Марцуль [и др.] // Труды БГТУ. - Минск : БГТУ, 2012. - № 3 (150). - С. 70-75.
6. В. Н. Марцуль, и др. Инвентаризация гальванических шламов и осадков очистных сооружений на предприятиях Республики. Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ. Минск 2012г.
7. Методика проведения технологического контроля работы очистных сооружений городских канализация, изд-во литературы по строительству., М 1971г.
8. И.С. Туровский. Обработка осадков сточных вод, М., Стройиздат, 1975 г.
9. Белорусский научно-исследовательский санитарно-гигиенический институт. Результаты санитарно-химических исследований на основе керамических масс с добавкой осадка сточных вод от производств защитных покрытий. Информационные карты по результатам санитарно-химических исследований 1988г.
10. Акт от 28 ноября 1988 г., утверждённый гл. инженером Брестского комбината строительных материалов Н.А. Когаленюком.

## К ВОПРОСУ ОСВЕТЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В СТАТИЧЕСКИХ ОСВЕТИТЕЛЯХ

*Е. А. Урецкий<sup>1</sup>, В. В. Мороз<sup>2</sup>, Т. И. Акулич<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие (РУП) Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ», Витебск, Беларусь, euretsky@yandex.by

<sup>2</sup>Заведующий кафедрой природообустройства, БрГТУ, Брест, Беларусь, vovavall@mail.ru

<sup>3</sup>Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, tigol1976@mail.ru

### **Аннотация**

В статье указаны факторы, от которых зависит эффективность работы статического осветлителя, приведены данные седиментационного анализа моделей сточных вод, а также эксплуатационные характеристики отстойников – декантаторов.

**Ключевые слова:** осадок, гидравлическая крупность, взвешенные вещества, суспензия, плотность.

## TO THE QUESTION OF WASTEWATER CLARIFICATION IN STATIC CLARIFIERS

*E. A. Uretsky<sup>1</sup>, V. V. Moroz<sup>2</sup>, T. I. Akulich<sup>3</sup>*

### **Abstract**

The article indicates the factors on which the efficiency of the static clarifier depends, presents the data of sedimentation analysis of wastewater models, as well as the operational characteristics of settling tanks - decanters.

**Keywords:** sediment, hydraulic fineness, suspended solids, suspension, density.

**Введение.** Специфика основного производства предопределяет крайне неравномерный характер образования сточных вод. Это подтверждают данные многочисленных обследований предприятий приборо- и машиностроения СНГ, выполненных на момент обследований бригадой специалистов под руководством главного специалиста Московского государственного проектного института и одновременно Проектного объединения «Союзрадиопроект» Урецкого Е.А. [1, 2, 3].

Отбор проб производился непосредственно у ванн и на выходе из производства, и химический анализ этих проб свидетельствовал о широком разбросе данных. Максимум концентраций приходился на неорганизованный сброс отработанных технологических растворов (ОТР), а минимум содержания загрязнителей - на периоды простоя отдельных технологических линий без прекращения подачи на них воды,

На ряде предприятий с относительно малым сбросом сточных вод (до 10м<sup>3</sup>/ч) применялись отстойники-декантаторы, в которых совмещались функ-

ций накопления и гравитационного осветления. Отстойники, как правило, состояли из трёх секций: двух рабочих, одной резервной.

Методов интенсификации проточного осветления более чем известно, однако, данных о статическом отстаивании в технических нормативах недостаточно. Поэтому задачей данной статьи является разработка метода совершенствования статических осветлителей.

**Материалы и методы.** Эффективность статического осветления зависят от времени пребывания суспензии, плотности взвешенных в ней частиц и температуры среды. Последняя характеристика может быть принята неизменной, а плотность взвешенных частиц, сформировавшихся из гидроокиси разной природы, колеблется в широких пределах:

гидроокись меди	1,009
гидроокись алюминия	1,016
гидроокись железа	1,020
гидроокись магния	1,075
глина	1,87
карбонат кальция	2,52

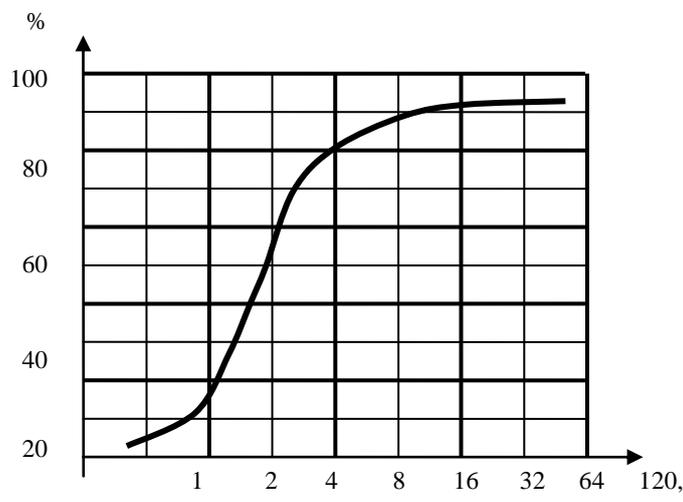
Применительно к процессам седиментации пользуются понятием величины «гидравлической крупности» в которой интегрированы плотность, форма и размеры частицы в мм/сек [3, 5].

Для полидисперсной взвеси, состоящей из частиц разной природы, применительно к модели исследуемых сточных вод полученные экспериментальные и расчетные данные приведены в таблице данных седиментационного анализа модели сточных вод.

По данным таблицы составлены кривые выпадения взвеси на глубину 3 и 1 м в мм/с:

- дифференциальная кривая распределения частиц по величине гидравлической крупности (рис. 1);
- интегральная кривая выпадения взвеси в отстойнике-декантаторе (рис. 2).

Кривые показывают, что на глубине 1 м гарантированный эффект составляет: через 4 часа- 90 %, через 16 часов 98 %.

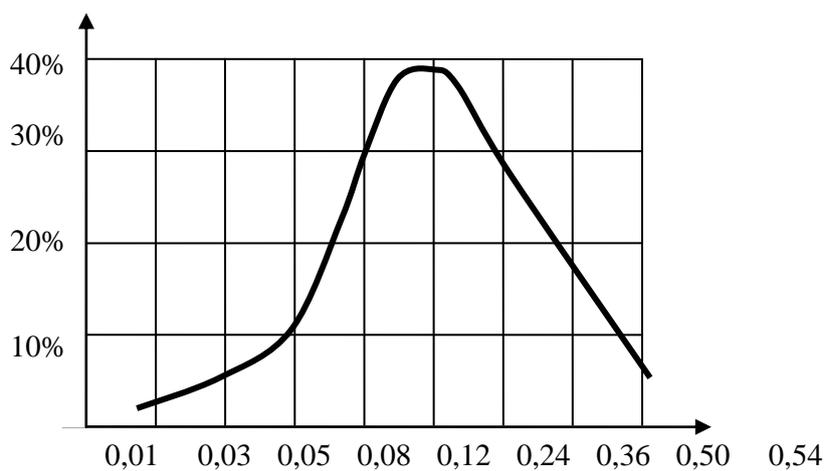


**Рисунок 1** – Дифференциальная кривая распределения частиц по величине гидравлической крупности, мм/с

Поскольку отбор воды из отстойника-декантатора осуществлялся посредством поплавкового устройства с глубины менее 0,5м от «зеркала», приведенные выше параметры осветления следует считать практически достижимыми.

**Таблица 1** – Данные седиментационного анализа модели сточных вод

Величина гидравлической крупности, мм/сек	Содержание частиц данной гидравлической крупности, %	Время осаждения, час	
		глубина 3м	глубина 1м
0,50 и более	4	1,66	0,55
0,36	7	2,31	0,77
0,24	19	3,41	1,13
0,12	35	6,94	2,31
С, 08	20	10,4	3,48
С, 05	9	16,6	5,5
0,03	4	27,4	9.1
0,01 и менее	2	83,3	24,^



**Рисунок2** – Интегральная кривая выпадения взвеси в отстойнике-декантаторе в мм/с

### Эксплуатационные характеристики.

Концентрация взвешенных веществ

$$C = M + K \cdot D_k \text{ мг/л,} \quad (1)$$

где М – количество веществ в исходной сточной воде,

$D_k$  – доза ОТР- при подмешивании,

К– коэффициент, учитывающий нерастворимые вещества (0,6-0,7)

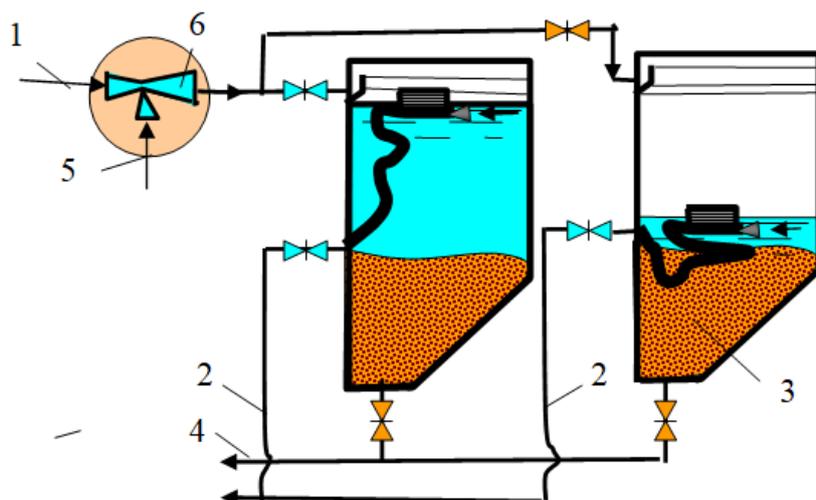
В качестве основы для конструирования статических осветлителей могут служить любые типовые проекты отстойников или стандартные емкости, отвечающие условиям [3, 5]:

- достаточный объем отстойной зоны;
- наличие конусного днища с нижним выпуском;
- возможность размещения в отстойной зоне поплавкового устройства для отсоса декантата до уровня верхней границы конусного днища.

На рисунке 3 приведена схема секции отстойника декантатора. Не всегда следует при совершенствовании отведения сточных вод рассматривать, как предпочтительное, проектное решение. Оно служит для пояснения функциональных связей элементов обработки линии промывных вод.

Это относится и к выбору системы поддозирования кислых и щелочных ОТР в промывные воды. Необходимо только обеспечить пропорциональность от 1:1000 до 1:1300 и предусмотреть прекращение поступления ОТР в отстойник в периоды перерывов в образования сточных вод.

При совершенствовании состава подаваемого потока промывных сточных вод и ОТР в отстойник-декантатор имеет смысл рассмотреть вариант подмешивания ОТР эжекторным насосом, рабочим телом которого были бы промывные сточные воды. В этом случае обеспечивается и пропорциональное смешивание, и самопроизвольное прекращение подачи ОТР при падении расхода промывных стоков ниже установленного предела.



**Рисунок 3** – Схема секции отстойника-декантатора

- 1 – подвод воды; 2 – отвод осветлённой воды; 2 – отвод осветлённой воды;  
3 – осадок; 4 – отвод осадка; 5 – поток ОТР; 6 –эжектор.

Приведенную в тексте схему секции (рис. 3) не следует рассматривать, как предпочтительное проектное решение. Она служит для пояснения функциональных связей элементов линии обработки промывных вод.

### **Заключение.**

1. Указаны факторы, от которых зависит эффективность работы статического осветлителя.
2. Приведены данные седиментационного анализа моделей сточных вод.
3. Описаны эксплуатационные характеристики отстойника – декантатора.

### Список цитированных источников

1. Урецкий Е.А., Гогина Е.С., Мороз. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения В.В. Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2022. – 624 с. ISBN 978–5–4323.
2. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов РФ, 2012. – 312 с.
3. Госстрой СССР, ГПИ «САНТЕХНИИПРОЕКТ». Рекомендации по проектированию водоснабжения и канализации цехов гальванических покрытий. БЗ-79.- М., 1992.
4. Дегремон. Технический справочник по обработке воды: в 2 т: пер. с фр. – СПб. Новый журнал, 2007.
5. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб: Новый журнал, 2012. 384 с.

УДК 628.193

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Е. С. Велуго<sup>1</sup>, В. Д. Ющенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, магистр технических наук,  
e.velugo@psu.by

<sup>2</sup>Витебское областное коммунальное унитарное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал», кандидат технических наук, yuvd46@mail.ru

### Аннотация

Подземные воды населенных пунктов требуют особое внимание, поскольку они имеют превышение нормативной концентрации по нескольким показателям, включая соединения железа, марганца и аммония. Такая вода имеет сложный состав с точки зрения ее обработки, и поэтому важно своевременно выявить негативные процессы, предотвратить их вредные последствия и подобрать эффективную технологию очистки воды.

**Ключевые слова:** мониторинг, подземные воды, качество воды, анализ данных.

## GENERAL CHARACTERISTICS OF THE QUALITATIVE COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*E. S. Velyugo<sup>1</sup>, V. D. Yushchenko<sup>2</sup>*

### Abstract

Groundwater in populated areas requires special attention, since it exceeds standard concentrations for several indicators, including iron and ammonium compounds.

Such water has a complex composition from the point of view of its processing, and therefore it is important to promptly identify negative processes, prevent their harmful consequences and select an effective water purification technology.

**Keywords:** monitoring, groundwater, water quality, data analysis.

**Введение.** В Республике Беларусь подземные воды являются основными источниками централизованных систем водоснабжения населенных пунктов.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из основных задач, которая приобрела особую актуальность в связи с наблюдаемым ухудшением общей экологической обстановки в мире и, в частности, в Республике Беларусь [1-3]. Повышенные концентрации загрязняющих веществ могут иметь серьезные неблагоприятные последствия для здоровья человека.

Для решения эффективных и рациональных задач по определению методов и способов ее обработки, необходимо регулярно наблюдать за состоянием подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим и другим показателям, оценивать и прогнозировать их изменения [1,4,5].

В общей сложности, доступ к централизованным системам водоснабжения имеет 98,5% городского и около 65,9% сельского населения, поэтому обеспечение населения качественной питьевой водой, несмотря на обилие водных ресурсов в стране, остается одной из наиболее острых проблем, особенно для сельских и приближенных к ним населенных пунктов.

В настоящее время лишь в 84,9% случаев вода, поставляемая в домохозяйства, соответствует питьевому качеству [6].

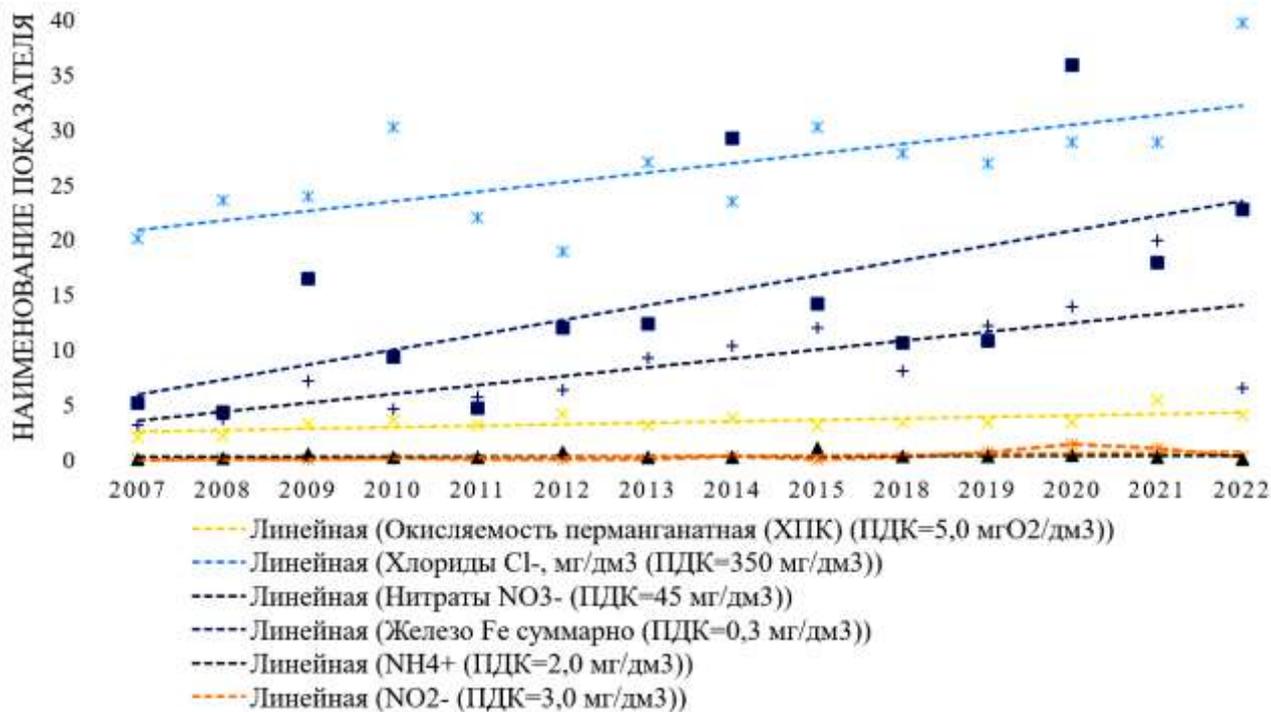
Рассматривая системы водоснабжения Республики Беларусь, можно сделать вывод, что в сложившейся экономической ситуации именно малые и средние населенные пункты представляют собой наибольшую проблему с обеспечением населения качественной питьевой водой.

Малые системы водоснабжения, производительность которых не превышает, как правило 0,3-0,5 тыс. куб. м/год, характерны для сельской местности, может быть и райцентров с числом водопотребителей порядка 5-7 тыс. чел. Водозабор таких систем представлен, как правило, скважинами в количестве 1-3 шт. с дальнейшей подачей воды в водопроводную сеть с регулируемыми емкостями, которые оказывают влияние как на бесперебойность подачи воды, так и на ее качество.

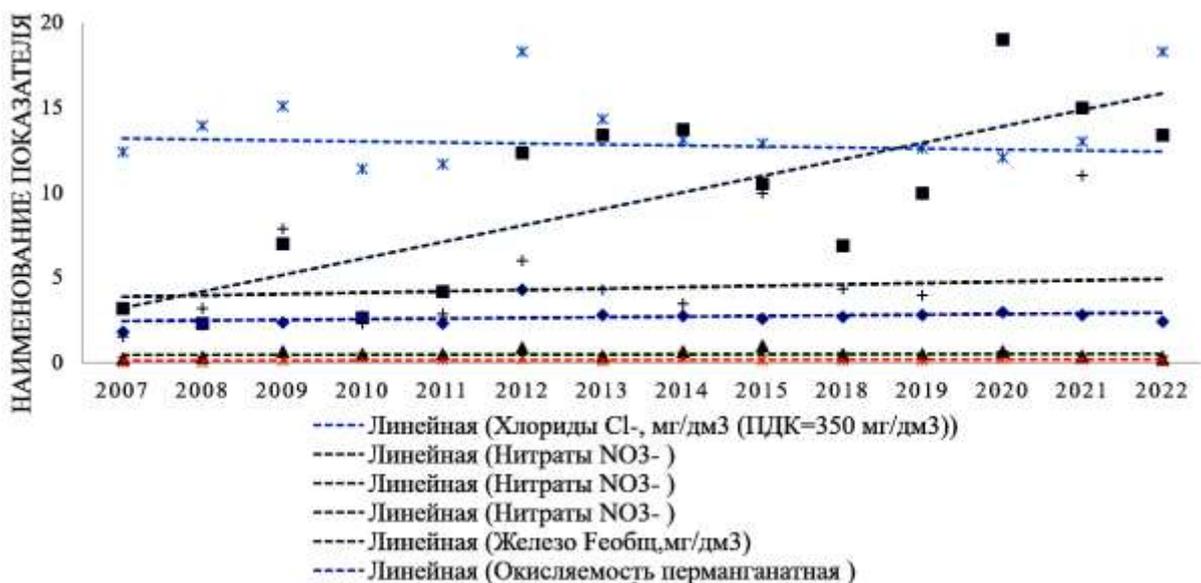
Таким образом, целью настоящей работы является анализ качества подземных вод в Республике Беларусь и в Витебской области на наличие загрязняющих веществ с превышением норм СанПиН [6].

**Результаты и обсуждение.** Прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод в целом по республике оцениваются в 49 596 тыс. м<sup>3</sup>/сут[7], при этом на сегодняшний день разведано всего 13,75% прогнозных ресурсов. Потенциальные возможности использования подземных вод составляют 43 560 тыс. м<sup>3</sup>/сут [8], что позволяет в течении длительного времени обеспечивать население страны необходимым количеством воды.

Однако, несмотря на их изобилие в целом, грунтовые и артезианские подземные воды остаются уязвимыми, особенно, к антропогенным загрязнениям, которые могут оказывать разрушительное воздействие на этот ресурс и его доступность. Поэтому эти категории являются объектами наблюдения при проведении мониторинга подземных вод в Республике Беларусь (рисунки 1 и 2).



**Рисунок 1** – Тенденции изменения качества грунтовых вод (среднегодовые концентрации)



**Рисунок 2** – Тенденции изменения качества артезианских подземных вод (среднегодовые концентрации)

На рисунках приведены средние значения основных макроэлементов, наблюдаемых в подземных водах Беларуси в период 2007-2022 гг, свидетельствующие о небольшом, но неуклонном увеличении концентраций по большинству основных макроэлементов (нитраты, нитриты, перманганатная окисляемость, железо и аммоний) [8].

Согласно данным водного кадастра [8] в 2021 году число источников централизованного водоснабжения, не отвечающих требованиям санитарных норм, правил и гигиенических нормативов, увеличилось по сравнению с 2019 г. более чем на 1 %, и существенно отличается для разных регионов (от 4,46 % в Брестской области до 28,67 % в Гомельской).

По данным водного кадастра за 2021 год [9] наибольшее количество проб, в которых значения показателей (содержание азота аммонийного, нитритов, нитратов, сульфатов, хлоридов) не соответствуют установленным требованиям, приходится на Гомельскую (16%), Гродненскую (21%) и Могилевскую (16%) области. Количество источников с превышением ПДК химических веществ расположено в Гомельской (28,64%), Гродненскую (12,8%) и Минской (15,62%) областях.

Анализ данных, полученных в 2020-2021 гг. ,показывает, что всего по республике количество проб питьевой воды, не соответствующих требуемым санитарно-химическим показателям, в сравнении с 2019 годом увеличилось до 47,2% исследованных проб (в 2021 г уменьшилось до 44,20% [8]).

По данным лабораторий учреждений государственного санитарного надзора в 2020 году [1], выявлены несоответствия гигиеническим нормативам по содержанию марганца – 9,1 % исследованных проб; аммиака – 0,8 %; нитратов – 1,4 %; фтора – 1,1%; хлоридов – 0,1 %; окисляемостью перманганатной – 1,6% (таблица 1).

**Таблица 1** – Сравнительная характеристика качественного состава подземных вод (грунтовых и артезианских) по областям Республики Беларусь (значения взяты за 2020 -2022 г. на гидрологических постах и действующих водозаборах) [1,6]

Показатели качества подземных вод	ПДК	Величина показателя для области*					
		Гомельская область	Могилевская область	Витебская область	Минская область	Гродненская область	Брестская область
Цветность, град	20	6 - 130,9	–	1-140	1-32,1	1-48,6	1-51,22
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1,5	1-94,0	1-43,5	0,8-4,6	1-9,2	0,6-3,74	0,5-3,9
Окисляемость перманганатная, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5	0,96-5,12	1,28	0,9-10,72	0,96-1,2	0,56-10,55	1,44-5,2
Жесткость общ., мг-экв/дм <sup>3</sup>	7	0,75-4,54	4,87	2,43-5,03	0,43-2,71	0,64-5,03	0,96-5,97
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1-0,36	0-0,19	0-0,76	0-0,495	0-1,2	0-0,35
рН	6-9	6,5-7,4	7,9	7,46-8,6	7,51-8,3	6,93-7,79	5,8-7,2

Продолжение таблицы 1

Общая минерализация мг/дм <sup>3</sup>	1000	66,16-390,3	405,32	205-460,9	61,36-237,01	68,77-406,54	94,6-408,17
Хлориды мг/дм <sup>3</sup>	350	2,2-41,7	8,8	3,3-48,8	2,2-7,1	1,8-25,2	3,3-89,9
Нитраты (по NO <sup>3</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	45	0,1-1,4	0,1	0,1-51,0	0,1-1,7	0,2-7,9	0,1-73,8
Нитрит-ион, мг/дм <sup>3</sup>	3,3	0,01-0,1	0,2	0,01-0,35	Менее 0,01	0,01-0,2	0,01-0,75
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	500	2-25,5	7,4	2-12,8	Менее 2,0	6,5-103	7-65,8
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	2,22-28,5	2,02	0,38-12,98	0,78-6,65	0,67-3,6	0,78-20,64
Окись кремния, мг/дм <sup>3</sup>	10	0-18,7	–	–	–	0-12,5	–
Барий, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	–	–	–	–	0-0,16	–

Примечание – Диапазон значений обусловлен сезонными изменениями качественного состава подземных вод и разными точками отбора проб (\*).

На основе данных национального мониторинга подземных вод можно сказать, что качество подземных вод в основном соответствует СанПиН 10-124 РБ 99 [6] за исключением повышенного содержания железа (в 5 и более раз) практически на всех водозаборах, и связанное с этим превышение норм по мутности (в 1,07-62,6 раза) и цветности (в 1,79-6,54 раза).

Кроме того, наблюдается отклонение от гигиенических нормативов на питьевую воду по марганцу, иногда барии, аммонийному азоту в 1,86 раза, окисляемости перманганатной в 1,02-2,141 раза и окиси кремния в 1,08-1,87 раза [1,8]. Очевидно, что основными причинами несоответствия являются пробы подземных вод с превышением по содержанию железа в сочетании с марганцем и аммонийным азотом.

Обобщение материала по качеству подземных вод каждой области направлено на разработку наиболее действенных технологий очистки воды конкретно для каждой области.

Одновременно отмечено повсеместное колебание показателей качественного состава подземных вод, обусловленное их сезонными изменениями, антропогенному загрязнению и уровнем эксплуатации водозаборных скважин, а также в период изменения сезонного весеннего и осеннего питания и наоборот [9].

По результатам расширенного анализа по Витебскому региону можно отметить, что сложный состав подземных вод с точки зрения ее обработки, т. е. пробы с повышенным содержанием двух и более показателей одновременно присутствующих в воде, имеют около 60% источников водоснабжения.

Установлено, что в этом регионе основными загрязнителями являются соединения железа, марганца и азота [2]. Следует отметить, что рядом с местом отбора проб с повышенным содержанием железа, марганца и аммонийного азота в малых населенных пунктах часто наблюдаются сельскохозяйственные ис-

точники загрязнения (захоронение животных, удобрения на полях, фермы) или природные условия (болота, торфяники).

Анализ воды осуществлялся на месте путем проведения тестовых измерений, а также в аккредитованных испытательных лабораториях по контролю качества вод филиалов УП «Витебскоблводоканал».

Гидрохимический анализ по составу и качеству подземных вод в некоторых населенных пунктах, где имеются превышения концентраций загрязнений, приведен в таблице 2.

**Таблица 2** – Выявленные превышения предельно-допустимой концентрации показателей качества воды в период 2018-2022 годы

Местоположение отбора проб	Показатели качества воды		
	железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	марганец, мг/дм <sup>3</sup>	аммоний- ный азот, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4
д. Адаменки (Лиозненский район)	2,5	0,09	2,21
д. Пушки (Лиозненский район)	2,64	0,067	2,3
д. Черноручье (Лиозненский район)	4,2	0,054	2,6
д. Боброво	3,2	0,4	2,53
Южная, Бешенковичи	2,04	–	2,5
Бочейково	4,80	–	4,2
пос. Нача	3,04-5*	0,2-0,3	4,58
пос. Победа	2,92-6,97*	0,1-0,3	4,08-5,62*
аг. Еремеевщина	3,28	0,108	–
пос. Жерносеки	4,34-4,4*	–	2,2-3,5*
аг. Соколище	2,3-6,0*	–	2,3-3,1*
УП «Полоцкий молочный комбинат»	2,4	0,25	1,2
Песковатик г Витебск	2-3*	0,144-0,76*	–
Марковщина г Витебск	3-3,5*	0,171-0,39*	–
Витьба г Витебск	2,5-3*	0,126-0,2*	–
Лучеса г Витебск	2,5-3*	0,104-0,22*	–
Окунево, г. Новополоцк	3,7-5,0*	0,1-0,5*	1,8-2,2*
н.п.Фариново	1,29-2,64*	–	2,0-2,8*

Примечание – Указаны сезонные изменения концентраций (\*).

### **Заключение.**

1. Подземные воды на территории Республики Беларусь пригодны для использования в качестве хозяйственно-питьевого водоснабжения, но при соответствующей корректировке некоторых показателей с доведением их до требований питьевого стандарта.

2. Качественный состав подземных вод отдельных областей страны имеет значительные отличия, при этом формирование их состава происходит, в основном, под воздействием геологических и климатических факторов.

3. Отмечено повсеместное колебание показателей качественного состава подземных вод в зависимости от климатических условий, антропогенного влияния и режима эксплуатации водозаборов.

4. Основным компонентом, характеризующим подземные воды страны, является железо в различных сочетаниях и концентрациях, часто с одновременным присутствием марганца и аммонийных соединений и других загрязнений..

5. Необходимы дальнейшие исследования для разработки эффективных стратегий предотвращения и смягчения последствий загрязнения подземных вод и охраны здоровья человека.

### **Список цитированных источников**

1. Мониторинг подземных вод Республики Беларусь. Официальный сайт ГИАЦ НСМОС РБ. [Электронный ресурс] // Ежегодные отчеты национальной системы мониторинга среды (за период 2007-2022 гг.) – URL: <http://www.nsmos.by/content/175> (дата обращения: 02.09.2023)
2. Подпроект «Чистая вода в Северной Беларуси»: технико-экономическое, природоохранное и социальное исследование// Итоговый отчет: Часть 1. Отчет о технической оценке – 29 ноября 2018.
3. Vitebsk Pilot Regionalisation Review and Recommendations Report Preliminary Recommendations – Summary of August 25, 2018.
4. WHO, World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: 4th edition, incorporating the 1st addendum – 24 April 2017 – <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
5. Yushchenko, V. / Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. / Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>
6. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Кон-троль качества: СанПиН 10-124 РБ 99 : введ. 01.01.2000. – Минск : М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 1999. – 122 с.
7. Yushchenko, V. / Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. / Groundwater for Sustainable Development – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100943>
8. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод за 2020 гг. Мн., Минприроды Республики Беларусь, Минздрав Республики Беларусь
9. Кудельский, А.В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А.В.Кудельский, В.И. Пашкевич. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 272 с.

## **СЕКЦИЯ 2**

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

## ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ

*В. Д. Аверченкова<sup>1</sup>, А. В. Козачек<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Студент, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия, [vasia.belochka@yandex.ru](mailto:vasia.belochka@yandex.ru)

<sup>2</sup> Заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия, [artem\\_kozachek@mail.ru](mailto:artem_kozachek@mail.ru)

### **Аннотация**

В настоящее время проблема автоматизированного осуществления экологического мониторинга приобретает все большее значение. Одним из вариантов ее решения является возможное использование экологических роботов. При наличии различных роботов, используемых для решения экологических задач появляется необходимость создания основ их классификации, что позволит в дальнейшем повысить эффективность выбора экологических роботов применительно к конкретным природоохранным задачам.

**Ключевые слова:** экологический робот, природоохранная деятельность, классификация экологических роботов.

## BASICS OF CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL ROBOTS

*V. D. Averchenkova<sup>1</sup>, A. V. Kozachek<sup>2</sup>*

### **Abstract**

Currently, the problem of automated environmental monitoring is becoming increasingly important. One of the options for its solution is the possible use of environmental robots. When there are various robots used to solve environmental problems, it becomes necessary to create the basis for their classification, which will further increase the efficiency of choosing environmental robots applied to specific environmental tasks.

**Keywords:** ecological robot, environmental protection activities, classification of ecological robots.

**Введение.** В связи с тем, что вместе с ростом промышленности усиливается негативное воздействие на природную среду, во второй половине XX века было принято решение контролировать её состояние. Тогда и была предложена концепция мониторинга (от английского monitoring — наблюдение); причём сам термин придумал академик Ю.А. Израэль. Всё большую популярность приобретает контроль природной среды дистанционным методом: сегодня здесь предполагается применение механизированных устройств, то есть роботов. Они позволяют проводить исследования даже в

недоступных человеку местах. На сегодняшний день существует большое количество автоматизированных и автоматических роботизированных устройств. Однако, на данный момент отсутствует классификация экологических роботов, что создает определенные проблемы при их выборе применительно к различным ситуациям.

**Материалы и методы.** На основе анализа нарративных источников будет произведена выборка известных на сегодня экологических роботов. На второй стадии будут предложены признаки классификации, которые позволят составить предварительную классификационную таблицу экологических роботов.

**Результаты и обсуждение.** Использование роботов в экологическом мониторинге заключается в том, что они, в отличие от человека, могут выполнять свою задачу длительное время и при этом с большой точностью. Кроме этого, они могут пребывать в местах, которые недоступны исследователю или нахождение в которых представляет угрозу для его жизни и здоровья (например, территории с высоким уровнем радиации).

Рассмотрим примеры существующих сегодня экологических роботов.

В первую очередь, необходимо отметить роботов, которые решают проблему мусора. Действительно, чем больше численность населения, тем больше твёрдых коммунальных отходов (ТКО) образуется, которые большей частью не сортируются и чаще всего захораниваются на свалках и мусорных полигонах. В некоторых из них не соблюдаются требования утилизации, что и приводит к тому, что вымываемые дождями вредные вещества загрязняют почву и подземные воды; при разложении мусора выделяется в атмосферу метан, не только создающий в атмосфере «парниковый эффект», но и становясь причиной самовозгорания на свалках. При этом некоторые виды ТКО могут разлагаться очень долго (пластмасса) или вообще вечно (стекло), тем самым продолжая наносить урон окружающей среде. Оптимальным решением данной проблемы является переработка мусора. Но перед этим нужно осуществить их сортировку, которую могут осуществить автоматические роботизированные устройства. Так, в статье [1] описываются пример таких роботов: разработанного в США Clark для отбора старых бумажных упаковок и отечественного NeuroRecycle, сортирующего отходы при помощи искусственного интеллекта. Существуют также и передвижные урны под названием SocialTrashBox, которые подъезжают к людям для того, чтобы забрать у них мусор [1].

Проживать в доме, где всё чисто и просторно, приятно, однако постоянное поддержание там порядка отнимает много времени и сил. Данная проблема сейчас фактически решена благодаря роботам-пылесосам, которые с каждым годом увеличиваются в количествах, и при этом совершенствуются. В статье [2] приведён пример улучшенного робота, разработанный учёными Новосибирского государственного университета.

Естественно, свалки мусора могут образовываться не только на суше. Наиболее остро стоит проблема ликвидации отходов в водоёмах, таких как ре-

ки, озёра, и даже океаны. Так, из-за сброса мусора в море, на территории Тихого океана образовалось большое скопление под названием Большое мусорное пятно. Его основную опасность представляют то, что морские животные, принимая отходы за пищу, погибали от удушья или несварения желудка. Для того, чтобы предотвратить экологические проблемы в водоёмах, две компании, независимо друг от друга, разработали конструкции подводных роботов, которые собирают мусор: WasteShark предназначен для замкнутых водоёмов, а MarineDrone может использоваться для работы по ликвидации Большого мусорного пятна [3].

Среди роботов экологического воздушного мониторинга можно выделить целый класс беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они в основном бывают двух типов, и при этом каждый подстроен под свою задачу: БПЛА самолётного типа способен непрерывно облетать исследуемую местность, а БПЛА вертолётного типа может долгое время задерживаться над точечным объектом наблюдения. К БПЛА можно прикрепить различное оборудование: камеры, датчики, пылеуловители и тому подобное. Благодаря этому, они могут выполнять большинство задач, связанных с экологическим мониторингом: измерение концентрации загрязняющих веществ, съёмка местности и обнаружение источников загрязнения, особенно в недоступных человеку местах, контролировать технические сооружения, при аварии которых могут нести вред природной среде, и так далее. Таким аппаратом, как пример, может служить РДР-2015 «Горный» [4].

Поскольку БПЛА не могут достигнуть большой высоты, для исследования на средних слоях атмосферы применяют вертолёты и самолёты. Они используются для мониторинга водоёмов, предупреждение техногенных катастроф, а также определение его масштаба и последствий и т.д. В статье [5] для этих целей приводится улучшенная конструкция самолёта поплавкового типа.

Вертолёты для экологического мониторинга могут даже не иметь на борту экипажа. Примером может служить ТБ-29В, разработанный компанией «Тайбер» [6].

Кроме этого, для этих же целей используются роботизированные атмосферные (метеорологические) зонды – устройства, представляющие собой небольшой аэростат, к которому привешивается аппаратура. Как правило, она содержит в себе более дешёвое оборудование, поскольку, попав в разреженную атмосферу, оболочка аэростата лопаётся и аппарат падает на землю, и после этого его поиск не производится. Однако уральскими учёными был испытан метеозонд, который можно было найти его после падения и извлечь из него всю информацию, полученную во время полёта; он подробно описан в статье [7]. Зонды используются для однократного получения в основном метеорологических данных.

Не только в пределах атмосферы можно проводить экологический мониторинг Земли. Наблюдать за характеристиками планеты возможно и с космическом пространстве. Технология дистанционного зондирования позво-

ляет эффективнее добывать природные ресурсы, наблюдать за изменением климата, предупреждать серьёзные техногенные аварии и т.д. Для таких целей используют спутники, среди которых примером могут служить существующие ныне «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М», «Электро-Л» и «Арктика-М», и межпланетные космические станции (МКС). На последних проводились эксперименты, которые связаны с экологическим мониторингом Земли. Одним из них является «Ураган», который осуществляет наблюдение за взаимодействиями наземных и бортовых частей при появлении опасных явлений [8, 9].

Транспортировка нефти и газа играет особую роль в экономике. Однако, если не контролировать трубопроводы и вовремя не замечать дефекты, то это повлечёт неблагоприятные последствия. Так, разлитая нефть загрязняет почву настолько, что она становится непригодной для жизни растений в течении многих лет, поскольку она прикрывает доступ корням растений к воде и питательным веществам, вызывая у них неминуемую гибель. Попав в водоёмы, она долгое время остаётся на дне, уничтожая при этом жителей дна водоёмов. Кроме этого, химические вещества, содержащиеся в нефти, образуют вредные соли, которые накапливаются в почве и воде, вызывая гибель живых организмов. Именно поэтому нужно проводить проверку целостности нефтепроводов. Для этих целей как раз и применяют робота, разработанного учеными Оренбургского государственного университета и описанного в статье [10]. Он, войдя в трубу через разрез или люк-лаз и проходя через сильно согнутые участки, изнутри выявляет возможные дефекты на поверхности или в местах соединения швов. Кроме этого, имеются и БПЛА, которые контролируют с высоты состояние нефтепроводов большой протяжённости: это позволяет своевременно обнаружить протечки нефти, нарушения гидро- и теплоизоляции и затопленные водой участки [11].

В числе других отраслей экономики сельское хозяйство также негативно влияет на окружающую среду: избыточное количество минеральных удобрений может накапливаться в растениях или вымываться дождями в водоёмы, инсектициды могут снизить популяцию не только вредных, но и полезных животных, неправильная распашка земель приводит к эрозии почв и так далее. Поэтому для снижения нагрузки на природу осуществляется переход на точное земледелие, где без помощи роботов не обойтись: лёгкая роботизированная машина Ecorobotix осуществляет прополку грядок путем впрыскивания небольшого количества гербицидов на сорные растения; SmartCore отбирает пробы почв, чтобы точно определить участки, в которые необходимо внести удобрения; система взаимосвязанных БПЛА FAR (FlyingAutonomousRobots) проводят аккуратный сбор спелых плодов и обрезку деревьев; Thorvald производит обработку от болезней винограда и клубники УФ излучением [12]. Кроме этого, БПЛА также находят широкое применение в сельском хозяйстве, например, для полива и обработки сельскохозяйственных растений. В статье [13] приведён пример использования таких аппаратов для диагностики заболеваний на полях хлопчатника.

Роботы применяются для охраны заповедников, заказников и других природных территорий без участия человека: это позволяет снизить влияние «фак-

тора беспокойства». В статье [14] описан эксперимент по использованию фотоловушек для наблюдений за животными (среди них СК 100/12, Reconyx HC 500 и BushnellTrophyCam HD Max).

Кроме этого, роботы могут вычислить браконьеров, которых трудно поймать: они охотятся ночью, когда никого в лесу нет и при этом, заметив спецслужбы, быстро скрываются от преследований. В статье [15] описывается пример БПЛА самолётного типа под названием PAWS (ProtectionAssistantforWildlifeSecurity), который проводит съёмку местности и, выявив на снимках нарушителя, сразу предупреждают службы правоохранительных органов.

Задачи исследовать подводных характеристик усложнены тем, что в связи с увеличением глубины погружения возрастает давление воды, негативно сказывающееся на здоровье водолаза. При этом он не может там находиться долго и недалеко от берега. Поэтому такой метод не позволяет дать полную информацию о состоянии подводной жизни. Для этих случаев также предусмотрены роботы. В статье [16] описывается подводный аппарат TSL, предназначенный для создания фотографии морских глубин, на основе которых судят о количестве особей того или иного вида.

Иногда имеется необходимость контролировать состояние рек и озёр, а морские подводные аппараты не подходят для этого в связи с большими габаритами. Поэтому, например, в Самарском государственном техническом университете, был разработан небольшой подводный аппарат «Жемчужина», который позволяет измерять концентрацию загрязнения воды и осуществлять забор проб [17].

Существуют задачи, когда нужно контролировать состояние атмосферного воздуха вблизи территории, где происходит выброс вредных веществ (города и промышленные постройки). В таких случаях используются посты. Они представляют собой небольшие сооружения, в которых устанавливается набор соответствующих датчиков. Посты могут быть как стационарными (устанавливают на ровных, не пылящих местах, таких как, например, трава или асфальт), так и передвижными (располагаются на грузовом автомобиле). В статье [18] рассказывается о том, для решения каких задач они используются республиканским государственным предприятием «КАЗГИДРОМЕТ» (Казахстан).

Контроль парниковых газов сегодня очень важен, поскольку они, накопившись в атмосфере, создают «парниковый эффект», который негативно сказывается на климате Земли. Измерения производят вблизи земли и по всей территории. Однако, ни одно из существующих сегодня устройств не может выполнить данную задачу. Например, БПЛА могут проводить измерения только в верхних слоях атмосферы, да и, кроме этого, совершать свою работу способны только в дневное время и при низких скоростях ветра, в противном случае они могут запросто где-то затеряться и разбиться. Кроме этого, их надо часто заряжать, поскольку небольшая ёмкость аккумулятора не позволяют долго решать ту или иную задачу. А если использовать стаци-

онарные посты, то их нужно приобретать в больших количествах и расставлять по всему исследуемому участку — это вызывает некоторые трудности и делает данный метод экономически невыгодным. Передвижные посты также не могут решить данную задачу, так как они предназначены для временного контроля конкретной территории, и управление им осуществляется исключительно человеком, что не позволяет постоянно контролировать параметры по всей площади и получать более точные результаты.

И что удивительно, несмотря на то что вышеперечисленные устройства для мониторинга приземного воздуха на всей поверхности земли не подходят, конструкции роботов именно для этих целей на сегодняшний момент практически неизвестны. Единственным таким устройством является роботизированная платформа для экологического мониторинга, разработанная учеными кафедр «Природопользование и защита окружающей среды» и «Мехатроника и технологические измерения» Тамбовского государственного технического университета, апробированная в 2016-2023 гг. при организации мероприятий по проектам «ПротоМастер», «Молодежная школа цифровой экологии» и других.

Основными задачами данной платформы являются перемещение по пересечённой местности, снятие показаний датчиков в разных точках, передача пользователю траектории своего перемещения, проведение съёмки природных объектов, взятие и автоматизированный анализ проб воды и почвы. Длительность работы поддерживается благодаря установке аккумулятора с большой ёмкостью. Управление роботом производится с помощью мобильного приложения.

Помимо измерений концентраций вредных веществ, мобильный робот, разработанный учеными Тамбовского государственного технического университета, также может использоваться для исследования состава атмосферного воздуха, создания карт какой-либо территории, анализа полигонов ТКО, а также несанкционированных свалок мусора и для наблюдения за объектами живой природы [19].

Проведенный анализ особенностей роботов, используемых в экологической деятельности, дает возможность и необходимость провести их предварительную классификацию.

В такой классификации предлагаем основываться на следующих признаках:

- сущность автоматизированных действий робота – обозначает основные задачи робота;
- виды роботизированных устройств – конструктивная особенность для решения поставленной задачи;
- среда, в которой осуществляется работа робота – для того, чтобы определиться с типом платформы, необходимо знать, в какой среде эта работа предполагается: водная, наземная, воздушная и т.д.;
- тип платформы робота – подразумевается здесь вид конструкции, которая специально подстроена под какую-либо среду.

Результаты классификации робототехнических устройств, используемых в экологической деятельности, представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Классификация роботов экологического мониторинга

Сущность автоматизированных действий	Виды роботизированных устройств	Среда, в котором осуществляется работа	Тип платформы	Пример моделей роботов или их производителей, которые приведены в тексте
Сбор и сортировка мусора	Роботы-уборщики	Наземная	Колесная или гусеничная платформа	Clark, NeuroRecycle, TrashBox
		Водная	Подводный дрон	WasteShark, Marine Drone
	Домашние роботы-пылесосы	Наземная	Колесная или гусеничная платформа	Робот-пылесос, модернизированный учёными Новосибирского государственного университета
Контроль состояния трубопроводных систем	Роботы для контроля трубопроводов	Внутритрубопроводная	Колесная или гусеничная платформа	Робот, разработанный учеными Оренбургского государственного университета
		Воздушная	Летающий дрон	РДР-2015 «Горный»
Автоматическое ведение точного сельского хозяйства и агроэкомониторинг	Сельскохозяйственные роботы	Наземная	Колесная или гусеничная платформа	Ecorobotix, SmartCore, Thorvald
		Воздушная	Летающий дрон	FAR (Flying Autonomous Robots)
Контроль состояния лесных и лесопарковых наземных и водных территорий, ООПТ, своевременное обнаружение браконьеров	Летательный аппарат	Воздушная	Летающий дрон	PAWS (Protection Assistant for Wildlife Security), РДР-2015 «Горный»
	Пост	Наземная	Фотоловушки	СК 100/12, Reconyx HC 500, Bushnell Trophy Cam HD Max
	Мобильный робот	Наземная	Колесная или гусеничная платформа	Робот, разработанный учеными Тамбовского государственного технического университета
Исследование подводных характеристик	Мобильный робот	Водная	Подводный дрон	TSL, «Жемчужина»
Измерение и контроль загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы	Пост	Наземная	Стационарный пост Передвижной пост	«КАЗГИДРОМЕТ» и многие другие
	Мобильный робот	Наземная	Колесная или гусеничная платформа	Робот, разработанный учеными Тамбовского государственного технического университета

### Продолжение таблицы 1

Сущность автоматизированных действий	Виды роботизированных устройств	Среда, в которой осуществляется работа	Тип платформы	Пример моделей роботов или их производителей, которые приведены в тексте
Измерение и контроль загрязняющих веществ в верхних слоях атмосферы	Летательный аппарат	Воздушная	Летающий дрон	РДР-2015 «Горный»
			Атмосферный зонд	Зонд, разработанный уральскими учёными
Картографирование и зондирование поверхности Земли и природных объектов	Летательный аппарат	Воздушная	Летающий дрон	РДР-2015 «Горный»
			Вертолет	ТБ-29В, разработанный компанией «Тайбер»
			Атмосферный зонд	Зонд, разработанный уральскими учёными
			Самолет	Лёгкий самолёт поплавкового типа
	Орбитальный аппарат	Космическая	Спутник	«Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М», «Электро-Л», «Арктика-М»
Космическая станция			МКС	

**Заключение.** Таким образом, мы рассмотрели некоторые механические и автоматические устройства, которые могут применяться в различных направлениях экологического мониторинга. Выделенные нами признаки и анализ реальных практик применения роботов в природоохранной деятельности и природопользовании позволили составить предварительную классификацию экологических роботов.

### Список цитированных источников

1. 9 роботов, которые помогают решить экологические проблемы. – 2019. – Режим доступа: <https://recyclemag.ru/article/robotov-kotorie-pomogayut-reshitekologicheskie-problemi> (дата обращения: 12.03.2023).
2. Агапов Е. В., Никулин В. С. Модернизация модели робота-пылесоса // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – №1. – С. 52-54.
3. Я – робот. Как машины спасают планету от превращения в огромную свалку. – 2021. – Режим доступа: <https://green.reo.ru/articles/tpost/h0fvvbkna1-yarobot-kak-mashini-spasayut-planetu-ot> (дата обращения: 26.03.2023).
4. Данилов, А. С. Разработка системы контактного дистанционного экологического мониторинга при добыче полезных ископаемых / А. С. Данилов // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-1. – С. 181-186.
5. Воронков Ю.С., Воронков О.Ю. Легкий самолет для экологического мониторинга // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 1-2. – С. 127-131.
6. Беспилотный вертолет «Тайбер» для экологического мониторинга // Ассоциация Вертолетной Индустрии. – 2016. – Режим доступа: [https://helicopter.su/bespilotnyij\\_vertolet\\_-tajber-\\_dlya\\_ekologicheskogo\\_monitoringa/](https://helicopter.su/bespilotnyij_vertolet_-tajber-_dlya_ekologicheskogo_monitoringa/) (дата обращения: 27.09.2023).

7. Как выглядит метеозонд. От теории к практике. Разрешение за запуск // Qzore-team. – Режим доступа: <https://qzoreteam.ru/kak-vyglyadit-meteozond-ot-teorii-k-praktike-razreshenie-za-zapusk/?ysclid=ln1tuq72lr767078221> (дата обращения: 26.03.2023).
8. Дистанционное зондирование Земли // Роскосмос. – Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/24707/> (дата обращения: 27.09.2023).
9. Космический эксперимент «Ураган» // Роскосмос. – Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/33720/> (дата обращения: 27.09.2023).
10. Литвинов, В. А. Самодвижущиеся роботы внутритрубной диагностики как иновационный подход контроля деформации нефтегазовых продуктопроводов / В. А. Литвинов, О. С. Вавилина, Д. М. Журкина // Шаг в науку. – 2019. – № 1. – С. 98–100.
11. Айроян, З. А. Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов / З. А. Айроян, О. А. Коркишко, Г. В. Сухарев // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4(43). – С. 179.
12. 12 революционных роботов в сельском хозяйстве. – Режим доступа: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/12-revoljucionnyh-robotov-v-selskom-hozjajstve> (дата обращения: 02.04.2023).
13. Абрамов, В. И. Цифровизация выращивания хлопчатника с использованием агродронов / В. И. Абрамов, Д. М. Михайлов, Н. М. Золотых // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрного образования и экономики предприятий : Материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 10 фев. 2021 года. – пос. Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный аграрный университет", 2021. – С. 178–184.
14. Эпова, Л. А. Опыт использования фотоловушек для мониторинга популяций крупных млекопитающих в заповеднике "Кузнецкий Алатау" / Л. А. Эпова, С. Г. Бабина // . – 2015. – № 7. – С. 270–275.
15. Дроны с ИИ и «глазом хищника» против браконьеров. – 2022. – Режим доступа: <https://jborder.ru/obzory/drony/drony-c-ii-i-glazom-xishhnika-protiv-brakoneroev/> (дата обращения: 09.04.2023).
16. Дулепов, В. И. Исследование и контроль состояния морских донных экосистем с использованием подводной робототехники / В. И. Дулепов, Н. Н. Лелюх // Гео-Сибирь. – 2007. – С. 117–120.
17. Бражников, А. М. Разработка миниатюрного подводного аппарата для мониторинга состояния малых водоёмов / А. М. Бражников, А. М. Бражникова // Тинчуринские чтения: материалы XIV междунар. молодежной научн. конф.: в 3 т. Т. 3, г. Казань, 23–26 апр. 2019 г. / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 7–11.
18. Редькина, М. С. Технические средства автоматизированных систем мониторинга вредных выбросов / М. С. Редькина // Развитие науки, образования и технологий в XXI веке: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Москва, 31 окт. 2021 года – Москва, 2021. – С. 172–177.
19. Аверченкова В. Д. Основные концепции мобильного экологического робота (статья) / В.Д. Аверченкова, А. В. Козачек, А. А. Комиссаров [и др.]// Международная научно-практическая конференция «В.И. Вернадский: инженерная наука и образование для обеспечения безопасности и устойчивого развития регионов» г. Тамбов, 2023.

## РАЗВИТИЕ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

*Е. Г. Беликова*

Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Республика Беларусь,  
belikowa@yandex.ru

### **Аннотация**

Деятельность субъекта хозяйствования невозможна без образования отходов производства. А значит, каждая организация должна исполнять обязанности, установленные соответствующим законодательством. А именно: разработка и утверждение инструкции по обращению с отходами, подача статистической отчетности по отходам в определенные сроки, уплата экологического налога, проведение инвентаризации отходов производства и ведение их учета. Однако, данные мероприятия не помогают в разрешении проблем в области экологии.

Так в Республике Беларусь одной из проблем касательно переработки мусора, является именно оценка объемов потерь отходов производства, а также бытовых отходов и причин их выброса, которая сопряжена с рядом методологических трудностей. Так проблема переработки отходов занимает одну из лидирующих позиций не только в Республике Беларусь, но и во всем мире.

**Ключевые слова:** отходы, продукты питания, сортировка мусора, развитие «зеленой» экономики, приоритетные направления развития «зеленой» экономики.

## DEVELOPMENT OF THE GREEN ECONOMY

*E. G. Belikova*

### **Abstract**

The activity of a business entity is impossible without the formation of production waste. This means that each organization must fulfill the duties established by the relevant legislation. Namely: development and approval of instructions for waste management, submission of statistical reports on waste within certain deadlines, payment of environmental tax, inventory of production waste and keeping their records. However, these measures do not help in solving problems in the field of ecology. Thus, in the Republic of Belarus, one of the problems regarding waste recycling is precisely the assessment of the volume of production waste losses, as well as household waste and the causes of their release, which is associated with a number of methodological difficulties. Thus, the problem of waste recycling occupies one of the leading positions not only in the Republic of Belarus, but also throughout the world.

**Keywords:** waste, food, garbage sorting, the development of a "green" economy, priority areas for the development of a "green" economy.

**Введение.** Согласно данным «Бел НИЦ «Экология», в 2021 году в Белоруссии в сельском хозяйстве образовалось 727,4 тыс. тонн отходов, при производстве продуктов питания, напитков и табачных изделий – 1,9 млн. тонн отходов, в оптовой и розничной торговле – 456 тыс. тонн. При этом организации не предоставляют информацию о характере отходов и причинах их образования, отмечают эксперты в области статистики. Например, в пищевой промышленности их образование может быть связано и со спецификой технологического процесса, и с несоблюдением условий хранения готовой продукции. Кроме того, в статистические данные объемы отходов включены не только пищевые отходы, но и другие виды отходов, например, отходы упаковки. Всего в 2021 году, по данным «Бел НИЦ «Экология», в Беларуси образовалось 66,9 тыс. тонн пищевых отходов в виде просроченных продуктов питания, остатков консервированных и замороженных продуктов, овощей и фруктов, которые утратили свои потребительские свойства, и так далее.

Следует отметить, что в 2021 году в Беларуси на стадии от сбора урожая до стадии производства и переработки продуктов питания образовалось 160 тыс. тонн отходов, на стадии производства и переработки продуктов питания – 244,7 тыс. тонн, в общепите – 161,4 тыс. тонн, в розничной торговле – 41,9 тыс. тонн, на уровне домашних хозяйств – 639,9 тыс. тонн отходов,

Всего по всем составляющим цепочки от сбора урожая до потребления продуктов питания на уровне домохозяйств – почти 1,25 млн тонн пищевых отходов. Для сравнения: в Польше потери составляют 4,8 млн тонн в год, в Литве – 0,6 млн тонн в год.

По данным Белстата за 2021 г. белорусы оставили после себя 3785 тыс. т твердых коммунальных отходов.

Это огромное количество мусора – чтобы перевести его БелАЗами, грузоподъемность которых составляет 450 т, понадобилось бы 8400 таких машин.

Если разделить количество производимого нами мусора на количество жителей нашей страны, получится, что семья, состоящая из 4 человек, составляет после себя 1,6 т мусора в год.

Это количество остается стабильным из года в год – за 9 лет количество мусора в расчете на одного жителя выросло только на 3,6%.

Есть и хорошие новости – существенно выросла доля перерабатываемых бытовых отходов. Если в 2010 г. перерабатывалось лишь 8,9% твердых коммунальных отходов, то по итогам 2021 г. было уже переработано 22,5% мусора. Ежегодно доля вторично перерабатываемых материалов в общем объеме бытовых отходов прибавляет 2-2,5%, что, безусловно, положительная динамика, но вряд ли достаточная с такими объемами производимых отходов.

В 2021 г. на вторичную переработку было отправлено 381,8 тыс. т бумаги и картона, 188,1 тыс. т отходов стекла, 97,2 тыс. т пластика. За 2021 г. в стране собрано 164,2 т отработанных элементов питания, собрано и направлено на обезвреживание более 3 млн шт. отработанных ламп с содержанием ртути, а также 1,5 тонн неисправных термометров.

Исходя из предоставленных данных, мы можем наблюдать, что картина в Республике Беларусь принимает далеко не благоприятный исход, а именно за счет увеличения количества отходов: как пищевых, так и твердых коммунальных отходов, мы смогли найти новые решения для переработки и улучшили уже имеющиеся перерабатываемые производства. Но с такими темпами как растет увеличение количества отходов не может справиться и быстро растущий прогресс в сфере его переработки.

Люди часто говорят, что сортировать мусор слишком тяжело. Действительно, сложно запомнить, что бутылку от йогурта можно выбрасывать в пластик, а стаканчик от йогурта — нет. Сложность в том, что стаканчики не всегда изготовлены из одного и того же вида пластика. И при покупке нового вида йогурта или сметаны можно столкнуться с противоречием. А перечитывать «теорию» каждый раз не будешь.

И поэтому в Республике Беларусь стоит задача уменьшения количества выбрасываемых продуктов питания и иных бытовых вещей, а также их рационального использования и приучения белорусов к отдельному сбору мусора.

**Материалы и методы.** Так в Республике Беларусь внедрена разная сортировка и переработка мусора, но этих мероприятий не достаточно для решения проблемы. Например, в случае со стеклом — никаких маркеров не существует. Любая стеклянная тара перерабатывается. Критерий отбора бумаги те же, что и в случае пластика и стекла — отсутствие примесей. То есть, чистая бумага и картон всегда подходят для переработки. Но в Беларуси нет разделения на органические отходы и бытовой мусор. В тех странах, где из органических отходов получают биогаз, к его сортировке также относятся ответственно. Несмотря на то, что бытовая техника является смешанными отходами, выбрасывать её в бытовой мусор не стоит. В каком бы виде она не была. Разобрав бытовую технику можно получить множество полезных материалов. И есть приёмные пункты, куда такую технику можно сдать.

К опасным отходам относится всё, что может содержать токсичные вещества. Главным образом — это батарейки (выбрасывать в специальные контейнеры), люминесцентные лампы, и содержащие ртуть градусники. Среди опасных видов отходов — автомобильные масла. Их нужно сдавать в пункты сбора. Не перерабатывается: упаковка из полистирола (PS, цифровой код: 6), любых комбинированных материалов (пластик + металл, бумага или другие виды пластика: C/PAP, C/LDPE, C/ALU и т.д., или цифровой код от 80 до 94). В частности, это касается крышек от ПЭТ-бутылок, одноразовой посуды и пластмассовых канцелярских изделий (разные виды пластика)

Не перерабатывается: автомобильное стекло, термостойкое (в том числе варочные поверхности), армированное, стеклопакеты, зеркала, экраны мониторов и телевизоров, цветное стекло и хрусталь, а также фаянсовая и глиняная посуда. Это всё, к сожалению, останется среди бытового мусора на свалке.

Не перерабатывается: ламинированная бумажная продукция, фотобумага, обои, спичечные коробки и упаковка пищевых товаров, в которой бумага слу-

жит основой, но дополнена слоем пластика или фольги. Таким образом, большая часть пищевой упаковки не пригодна для переработки. К тому же она ещё и загрязнена пищевыми продуктами настолько, что перерабатывать её не будут.

В контейнеры для органики запрещено выбрасывать синтетические материалы, которые затрудняют образование компоста. В Беларуси также начали осваивать этот вид отходов и получение биогаза из него.

Но в Республике Беларусь своя специфика переработки мусора. Например, отличия касаются видов пластика, который перерабатывается в странах ЕС, а также упаковки из смешанных материалов. Там применяются инновационные технологии полной переработки всех видов мусора в закрытом цикле. Но в нашей стране это пока ещё экспериментальные разработки.

Однако, дело не только в технологиях переработки. Важен и сам подход к сбору мусора. В Германии, к примеру, для сбора органических отходов людям выдают бумажные пакеты, в которые собирается такой мусор. И в нём не должно быть не только пластика, стекла и различных химических веществ, но даже средств гигиены и сигаретных окурков. Понимание этого аспекта сортировки бытового мусора говорит о том, что мы очень нескоро сможем прийти к такому уровню экологической культуры.

Кроме разделения отходов на бытовые и органические, у нас нет и контейнеров для сбора старой одежды, и обуви. Имеются пункты приёма вещей для малоимущих, но их всего несколько на весь город, и не каждый туда повезёт пару ненужных вещей.

Большое количество еды выбрасывается в общепите, а также в магазинах по причине потери товарного вида. В ЮНЕП уточняют, что больше всего отходов образуется после «шведских столов» в отелях и ресторанах. По статистике, в ряде стран, где туристический и гостиничный бизнес играют важную роль в экономике, в этих сферах выбрасывают до 34% еды. Впрочем, на микроуровне сокращение пищевых отходов во многом зависит от потребителей. Есть несколько советов, которые позволят не только сохранить продовольствие, но и сэкономить. Следует покупать только самое необходимое — составлять список и не покупать больше, чем можно использовать. В первую очередь нужно употребить продукты, купленные ранее. Для этого их кладут в холодильник поближе, а свежескупленные — поглубже. Не лишним будет проверить режим работы холодильника — советуют хранить продукты при температуре от 1°C до 5°C, чтобы обеспечить максимальную свежесть и срок хранения. Семьям, в которых остается много приготовленных, но недоеденных блюд, следует подумать о более рациональной организации питания. Некоторая часть пищевых отходов попросту неизбежна, поэтому можно их отделять от общего мусора и по выходным вывозить на дачу для компоста.

**Результаты и обсуждение.** Считаю, что в качестве решения поставленной проблемы следует внедрить развитие «зеленой» экономики, содействующей достижению экономического роста в области переработки отходов, в том числе в области оценки объемов потерь отходов и исследование причин их выброса.

«Зеленая» экономика направлена на совершенствование государственного контроля и надзора в области охраны окружающей среды и рационального природопользования, экономического регулирования и экономических инструментов охраны окружающей среды; комплексное управление отходами; мониторинг окружающей среды.

В этих целях будут прилагаться усилия в реализации следующих задач:

- обмен новыми передовыми практиками, опытом и технологиями в области оценки объемов потерь отходов производства, бытовых отходов и исследование причин их выброса.

- развитие политики и системы управления окружающей средой.

Согласно основным положениям Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021 – 2025 годы, в число приоритетных направлений развития «зеленой» экономики в нашей стране вошли:

- внедрение принципов устойчивого потребления и производства;
- развитие экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики);
- развитие производства органической продукции;
- формирование умных и энергоэффективных городов;
- развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности;
- сохранение и устойчивое использование биологического и ландшафтного разнообразия;
- развитие сферы «зеленого» финансирования;
- образование, подготовка кадров и социальная вовлеченность.

Поэтому важным является формирование национальной системы регулирования и внедрения «зеленой» экономики», включая оценку соответствия объектов финансирования критериям устойчивости.

**Заключение.** Таким образом, хотелось бы отметить, что проблема экологии, а именно переработки отходов и уменьшения количества выбрасываемых отходов жизнедеятельности человека является приоритетной для каждого человека, вне зависимости от его вида деятельности, возраста, образа жизни и иных показателей. Если мы стремимся к сохранению нашей планеты, тогда нами должны быть соблюдены все меры по сортировке отходов, ограничению количества выбрасываемых отходов и привлечению к данной теме как можно большего количества людей.

Внедрение «Зеленая» экономики будет способствовать развитию таксономии зеленых проектов, которая позволит инвестировать именно в экологически ориентированные проекты. Также в стране должны быть разработаны требования по экомаркировке, формироваться нормативные базы, критерии зеленых проектов и требования к системе их оценки. В настоящее время в Республике Беларусь пока не создана нормативно-законодательная база как в области оценки проектов, так и в области определения правил функционирования финансовых инструментов устойчивого развития.

Важным условием успешной работы «зеленой» экономики является также вовлеченность в международные инициативы. Для того чтобы национальные

субъекты хозяйствования могли получить доступ к заемным средствам с целью финансирования зеленых проектов, необходимо их участие в международных сообществах, инициативах в сфере зеленых финансов, таких как Принципы облигаций, связанных с устойчивым развитием и разработанных ICMA, Принципы зеленых облигаций, Принципы экватора, Инициатива энергетически эффективных ипотек (ЕЕМИ) и др. Главное, чтобы не только субъекты хозяйствования, но и национальные агентства руководствовались ведущими практиками в области «зеленой» экономики.

### Список цитированных источников

1. The OECD green growth measurement framework and indicators. URL: <http://dx.doi.org/101787/9789264202030-4-en> (date of access: 21.01.2022).
2. Оценка зеленой трансформации экономики: Руководство для стран Восточного партнерства ЕС. Париж, 2016. 140 с. URL: [http://www.green-economies-eap.org/ru/resources/EaP%20GREEN\\_GGI%20Guide\\_clean\\_RUS\\_Final.pdf](http://www.green-economies-eap.org/ru/resources/EaP%20GREEN_GGI%20Guide_clean_RUS_Final.pdf) (дата обращения: 05.09.2023).
3. Методология измерений и показатели зеленого роста ОЭСР. URL: <https://www.oecd.org/environment/outreach/Chapter1-OECD-Green-Growth-Indicators-2014-Russian.pdf> (дата обращения: 05.09.2023).
4. Деревяго И. П. Зеленый рост экономики: от теории к практике. Минск: Бинера, 2019. 160 с.
5. Статистические показатели «зеленого» роста. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/pokazateli-zelenogo-rosta/> (дата обращения: 05.09.2023).

УДК614.8  
ББК 35.10н68

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

*Н. Е. Беспалько<sup>1</sup>, Д. В. Сорокин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Доцент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия, [nata.bespalko@mail.ru](mailto:nata.bespalko@mail.ru)

<sup>2</sup>Магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия, [soroka.555888@mail.ru](mailto:soroka.555888@mail.ru)

### Аннотация

В данной статье рассматриваются особенности организации проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, а также организация спасательных и аварийно-восстановительных работ при крупных авариях и катастрофах и опыт проведения аварийно-спасательных работ.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, неотложные работы, аварии, катастрофы.

## **FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THE EVENT EMERGENCY RESCUE AND OTHER EMERGENCY WORK IN NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCY SITUATIONS**

*N. E. Bepalko<sup>1</sup>, D. V. Sorokin<sup>2</sup>*

### **Abstract**

This article discusses the features of the organization of emergency rescue and other urgent work in emergency situations of a natural and man-made nature, as well as the organization of rescue and emergency recovery work in major accidents and catastrophes and the experience of emergency rescue work.

**Keywords:** emergencies, emergency work, accidents, catastrophes.

**Введение.** Организация спасательных и аварийно-восстановительных работ при крупных авариях и катастрофах является важнейшим элементом чрезвычайного управления в кризисных ситуациях. Поэтому организацию спасательных и аварийно-восстановительных работ нельзя рассматривать вне связи с организацией чрезвычайного управления в зоне бедствия.

**Материалы и методы.** В данной работе использовались аналитический и статистический методы исследования специфики проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

### **Результаты и обсуждение.**

Аварийно-спасательные и другие неотложные работы, совокупность первоочередных работ в зоне ЧС (зоне поражения) [1].

Как показывает опыт, процесс ликвидации последствий аварий и катастроф объективно распадается на четыре стадии:

- 1) стадия принятия экстренных мер;
- 2) стадия овладения чрезвычайной ситуацией;
- 3) стадия спасения и жизнеобеспечения пострадавших;
- 4) стадия восстановления, т.е. экономическая, социальная, культурная и экологическая реабилитация зоны бедствия.

Для каждой стадии характерны свои цели, задачи, сроки и виды проводимых работ. Более того, каждой стадии процесса ликвидации последствий чрезвычайной ситуации соответствует определенный этап оперативного управления действиями привлекаемых сил и аварийных служб.

Начальная стадия-процесса ликвидации последствий аварий и катастроф связана с оперативным реагированием и принятием экстренных мер. Цель про-

водимых на этой стадии мероприятий состоит в том, чтобы задействовать механизм чрезвычайного управления и своевременно среагировать на сам факт аварии или катастрофы.

К числу важнейших задач, решаемых при организации оперативного реагирования, относятся:

- установление факта аварии или катастрофы;
- предварительная оценка обстановки в зоне бедствия и масштаба последствий;
- мобилизация и постановка оперативных задач органам чрезвычайного управления;
- отдача распоряжений на задействование мобильных сил пожарной охраны, скорой медицинской помощи, охраны общественного порядка и других служб для оказания помощи пострадавшим;
- содействие местным органам в организации спасательных работ и ликвидации зоны бедствия собственными силами;
- информирование населения и вышестоящих органов управления о чрезвычайной ситуации принимаемых мерах.

Продолжительность начальной стадии оперативного реагирования в зависимости от масштабов последствий может достигать от 1 до 10ч.

Аварии и катастрофы могут вызвать не только многочисленные, а иногда и тотальные разрушения, но и способны вывести из строя всю систему общественного и хозяйственного управления, как это бывает при катастрофических землетрясениях. В этих условиях, принятых экстренных мер на стадии оперативного реагирования может оказаться недостаточно, в усилия местных органов становятся неэффективными.

Процесс ликвидации чрезвычайной ситуации требует перехода ко второй стадии, цель которой состоит в овладении ситуацией и организации механизма чрезвычайного управления в зоне бедствия, в планировании и проведении спасательной операции соответствующего масштаба [1, 2].

Главные задачи на этой стадии, состоят в том, чтобы на основе сбора к обобщению данных:

- а) детально оценить обстановку на пострадавших объектах, и населенных пунктах и регионе в целом;
- в) срочно принять обоснованные решения и уточнить план ликвидации последствий, аварии или катастрофы;
- г) рассчитать необходимые потребности в силах, средствах и ресурсах для всего комплекса работ в зоне бедствия;
- д) организовать четкое взаимодействие всех привлекаемых сил и аварийных служб.

Все перечисленные задачи приходится решать, как правило, в условиях жесточайшего дефицита времени и необходимой информации.

Для овладения ситуацией в случае крупномасштабной катастрофы может потребоваться промежуток времени от нескольких часов до нескольких суток.

Третий этап непосредственно связан с организацией аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ.

Стадия спасания и жизнеобеспечения пострадавших является основной и определяющей для всего комплекса работ по ликвидации последствий крупномасштабных аварий, катастроф и стихийных бедствий.

Важнейшими задачами на этом этапе являются:

а) развертывание в кратчайшие сроки спасательных работ на всех пострадавших объектах зоны бедствия;

в) оказание помощи пострадавшим для защиты их жизни, здоровья и поддержания жизнеспособности в экстремальных условиях постигшей катастрофы;

г) эвакуация пострадавших из зоны бедствия и их жизнеобеспечение;

д) срочное проведение аварийно-восстановительных работ на системах водоснабжения, теплоснабжения, газоснабжения, электроснабжения и связи в зоне бедствия.

Эта стадия может продолжаться от нескольких суток до нескольких недель. Цель всего комплекса проводимых работ состоит в том, чтобы преодолеть чрезвычайный характер ситуации, а именно: восстановить безопасность населения в зоне бедствия, ликвидировать угрозу жизни и здоровья всем пострадавшим, создать минимально необходимые условия для жизнедеятельности всего оставшегося в зоне бедствия населения.

Четвертый этап – стадия восстановления социально - экономического потенциала пострадавшего объекта, населенного пункта, или региона. Органы чрезвычайного управления уже исчерпали свою роль. Поэтому этот этап является переходным. Он связан с передачей функций управления постоянно действующим местным органам управления, либо с изменениями характера их деятельности, если чрезвычайное управление было возложено на них. Цели этой стадии состоят в том, чтобы осуществлять экономическую, социальную, и культурную реабилитацию пострадавшего населенного пункта или региона. При этом может быть разработана специальная программа, а ее реализация, как правило, предусматривает определенную очередность всего комплекса мер. Такие программы, например, были разработаны для зон Чернобыльской аварии или Спитакского землетрясения.

Опыт проведения аварийно-спасательных работ показывает, что в их организации можно выделить некоторые общие закономерности и общие правила [3].

Непосредственное руководство аварийно-спасательными работами в очагах поражения, как правило, возлагается на оперативные штабы руководства, действующие в самой зоне бедствия. Они выступают в качестве низовых звеньев системы чрезвычайного управления [4].

**Заключение.** В ходе проведенного анализа имеющихся данных можно отметить характерные особенности в организации спасательных работ в зоне бедствия, вызванного крупной аварией или катастрофой, способствующие положительному исходу проводимой операции.

1. Для удобства управления аварийно-спасательными работами, организации четкого взаимодействия между разнородными спасательными подразделениями, и координация их действий территория зоны бедствия, как правило, разбивается на сектора, а сами сектора на отдельные участки. Таким образом, формируется своеобразная аварийная территориально-производственная инфраструктура.

2. Процесс организации и ведения спасательных работ, как показывает опыт, имеет свою периодизацию. Последовательность аварийно-спасательных работ можно расчленить на четыре периода: начальный, основной, завершающий и переходной.

В зависимости от сложившейся обстановки; тяжести последствий и возможностей спасательных сил продолжительность каждого периода может быть различной. Кроме того, для каждого периода характерны своя интенсивность; фронт спасательных работ; привлекаемые силы и т.п.

Начальный период соответствует временна стадии принятия экстренных мер оперативному реагированию. Спасательные работы носят стихийный характер, ведутся собственными силами пострадавшего населения (или персонала), в основе действий - самоспасение и взаимопомощь, низкий уровень технического оснащения.

Основной период охватывает главную часть стадии спасания и жизнеобеспечения. Для него характерно расширение фронта спасательных работ, наращивание сил и средств в очагах поражения, широкое использование спасательной техники, внедрение поточных методов ведения аварийно-спасательных работ. Основной период заканчивается тогда, когда основная масса живых людей спасена и госпитализирована.

Продолжительность этого периода может достигать от 2 до 6 суток. Завершающий период спасательных работ характеризуется максимальной интенсивностью и использованием всей группировки спасательных сил. Особое внимание в этот период уделяется восстановлению систем жизнеобеспечения, организации и проведению эвакуации, если ее необходимость диктуется условиями обстановки. Продолжительность завершающего периода иногда растягивается на несколько суток или даже недель. Критерием окончания этого периода служит удаление из очагов поражения всех пострадавших, в том числе и погибших.

Для переходного периода от стадии спасания к стадии восстановления и реабилитации зоны бедствия наиболее характерными являются инженерные работы, связанные с подготовкой территории пострадавших объектов или населенных пунктов к восстановлению, реконструкции или новому строительству.

3. Успех спасательной операции в зоне бедствия существенно зависит от максимально возможного сокращения срока начала аварийно-спасательных работ, высокой интенсивности их ведения и массированного использования спасательных подразделений в очагах поражения. Отсюда следует, что привлекаемые спасательные силы должны: быть мобильными, технически высоко оснащенными и в достаточном количестве для оперативного реагирования на все очаги поражения в зоне бедствия.

### Список цитируемых источников

1. Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. I (А – И) (издание третье, переработанное и дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова / МЧС России. М.:ФГБУВНИИГОЧС(ФЦ),2015.666 с.илл.
2. Долин П.А. Ликвидация чрезвычайной ситуации. М., Энергоиздат, 2010. 314 с.
3. Вострикова, А.А. Предупреждение и ликвидация особоопасных болезней сельскохозяйственных животных / А. А. Вострикова, М. В. Жолобова, Н. В. Петренко // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. — 2019. — № 3. — С. 67-73. — ISSN 1683-0393. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/320924>
4. Мощанская, Е.Ю. Дискурс медицины катастроф в межкультурном и переводческом аспекте / Е. Ю. Мощанская, В. Г. Авдеева // Вестник Череповецкого государственного университета. — 2018. — № 1. — С. 71-78. — ISSN 1994-0637. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/312719>

УДК 614

ББК 65.246

## ПРОФИЛАКТИКА НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ –КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ И ЗДОРОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

*Н. Е. Беспалько<sup>1</sup>, Е. В. Хапрова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>доцент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, РФ, [nata.bespalko@mail.ru](mailto:nata.bespalko@mail.ru)

<sup>2</sup>магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, РФ, [len.tmb@mail.ru](mailto:len.tmb@mail.ru)

### Аннотация

В статье приводится анализ и способы профилактики воздействия вредных и опасных производственных факторов.

**Ключевые слова:** производственная среда, безопасность, техносфера, вредные факторы воздействия.

## PREVENTION OF ADVERSE IMPACTS OF TECHNOGENIC FACTORS - AS A MEANS OF FORMING A SAFE AND HEALTHY PRODUCTION ENVIRONMENT.

*N. E. Bepalko<sup>1</sup>, E. V. Khaprova<sup>2</sup>*

### Abstract

The article provides an analysis and methods for preventing the effects of harmful and hazardous production factors.

**Keywords:** production environment, safety, technosphere, harmful factors.

**Введение.** Производственная среда – это часть техносферы, где в ходе протекания трудовой деятельности, на всех стадиях технологического процесса в течение короткого или длительного времени, человек подвергается прямому или косвенному неблагоприятному воздействию многочисленных физических, химических, биологических, психофизиологических техногенных негативных факторов. В современном мире, несмотря на мощное внедрение технологических процессов во все сферы жизнедеятельности как средств, облегчающих трудовую деятельность и делающих отдых более доступным и широкодоступным, имеет место экспоненциальная зависимость повышения травмоопасности от уровня технического развития общества. Соответственно на сегодняшний день актуальным является решение вопроса о поиске ресурсов и методов, позволяющих снизить неблагоприятное воздействие техногенных факторов на человеческий организм, что в свою очередь позволит синтезировать формирующие компоненты безопасной и здоровой производственной среды.

**Материалы и методы.** В данной работе использовался аналитический метод исследования состояния производственной среды, как часто техносферы. С целью выяснения ряда закономерностей социально-гигиенического и профессионально-патологического характера применялся статистический метод.

### **Результаты и обсуждение.**

Охрана труда была и остается сложным процессом, функционирующим отдельным блоком, имеющим точки соприкосновения со всеми процессами на производстве [1]. Данная структура позволяет на базе законодательных актов РФ регулировать уровень безопасности производственных систем.

Безопасные условия для человека - состояние среды обитания, при котором отсутствует опасность вредного воздействия ее факторов на человека [3]. В реальных условиях полной ликвидации негативного действия поражающих техногенных факторов исключить не всегда предоставляется возможным. Но процесс минимизации их разрушающего действия должен быть введен на всех стадийных процессах производства начиная с подбора рабочих кадров, заканчивая процессом выпуска готовой продукции.

Среди потенциально опасных факторов, которые становятся причиной синтеза профессиональных вредностей, неблагоприятное влияние которых в определенных условиях промышленного производства служит источником ухудшения самочувствия, физических и нервно-психическим перегрузок, утомления, снижения работоспособности, травм и как следствие – нарушения здоровья трудящихся, можно выделить:

- 1.Повышенные и пониженные параметры микроклимата рабочей зоны: температуры, влажности, подвижности воздуха;
2. Шум, вибрация, ускорение;
3. Различные виды излучений;
- 4.Воздействие травмоопасных факторов: опасность поражения электрическим током со стороны производственного оборудования, контрольно-измерительных приборов, контакт с движущимися машинами, механизмами и их частями, передвижение изделий, заготовок, материалов, падающие предметы, работы на высоте;

5. Недостаточный уровень освещенности, либо повышенная яркость света;
6. Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенные концентрации вредных химически активных веществ, взаимодействие с горючими, легковоспламеняющимися и взрывоопасными веществами и материалами;
7. Высокие уровни физических, психо-эмоциональных нагрузок и обусловленные ими тяжесть и напряженность трудового процесса: монотонность выполнения технологических операций, нагрузка на органы восприятия, неудобная рабочая поза, ограничение количества и объема движений, сенсорные, интеллектуальные нагрузки и нервное перенапряжение, неблагоприятные санитарные условия.

Источником техногенных опасностей и предпосылкой к возникновению аварийных ситуаций также служит «человеческий фактор» (рис. 1).

На основании результатов анализа условий труда и выявления опасных и вредных параметров, используются различные средства контроля факторов риска. Безусловно, что в процессе выявления и решения задач обеспечения безопасных условий труда весомое участие принимают руководитель предприятия, руководители всех структурных подразделений, профсоюзы и комитеты, представители органов надзорных организаций [2].

Инженерный контроль – призван ослабить или ликвидировать негативное воздействие факторов риска посредством дополнительных технологических решений:

1. Установка систем местной вентиляции для очистки воздуха рабочей зоны, систем кондиционирования воздуха, установка в производственной зоне звукопоглощающих конструкций, уплотнителей на двери и окна для снижения уровня шума;



**Рисунок 1** – Классификация негативных человеческих факторов.

2. Внедрение паспорта безопасности для сведения к минимуму химического воздействия токсичных веществ, используемых в производстве, с указанием их основных характеристик и безопасных способов применения и транспортировки.

Административный контроль – необходим в процессе обучения персонала технике безопасности:

1. Организация физкультурно-оздоровительной работы, занятий производственной гимнастикой в течение рабочего дня, с целью уменьшения вредного влияния эргономического фактора и психофизиологических нагрузок на сотрудников;

2. Введение регламентированных перерывов;

3. Изменение продолжительности рабочего дня и времени начала и окончания работ при дискомфортных параметрах микроклимата, например при повышенной температуре.

Создание общих комплексных результативных мер обеспечения безопасных условий труда практически невозможно из-за сложной и кардинально отличающейся друг от друга специфики, и характеристики предприятий различных отраслей промышленности и не только промышленности [4].

Средства индивидуальной защиты – требуются в случае исключения возможности отказа от применения вредных химических веществ в ходе производственного процесса. Защитные маски, очки, респираторы, беруши, наушники помогут сохранить органы дыхания и зрения работающих, плотные перчатки уменьшат воздействие вибраций, очки и щитки оградят от излучения. Перечень СИЗ составляется в соответствии особенностями производства и потребностями персонала.

В профилактике возникновения профессиональных заболеваний и травм ведущую роль играют гигиеническое нормирование, санитарно-технические, лечебно-профилактические и производственно-организационные мероприятия, направленные на снижение действия негативных факторов на работников.

### **Заключение**

Человек проводит большую часть своей жизни на работе, поэтому здоровье, безопасность, благополучие, эстетическая обстановка, уровень профессионального риска являются первостепенными составляющими его комфортного взаимодействия с техносферой, удовлетворения физических, эмоциональных и профессиональных потребностей, улучшения результатов производственной деятельности, конкурентоспособности и стабильной работы предприятия. По итогам проведенной аналитической работы можно сделать следующие выводы – средствами профилактики неблагоприятного воздействия техногенных факторов на человеческий организм становятся:

1. Повышение квалификации работающего персонала. Формирование системы мотивации для сотрудников, увеличивающую степень их профессионализма; пропаганда безопасности; усиление качества трудовой дисциплины; выстраивание разумного распорядка труда и отдыха; стремление к оздоровлению условий труда и повышению общей культуры персонала.

2. Механизация, автоматизация, модернизирование, внедрение новых более совершенных технологических процессов и оборудования (роботы-техники, дистанционное управление, станки с числовым программным управлением, бесконтактная пайка), замкнутый технологический цикл производства, обеспечение производственных участков местной и общей вентиляцией для снижения

концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны до уровня, не превышающего ПДК, применение оптических приборов (микроскопы, увеличительные очки) на всех этапах выполнения работ с нагрузкой на органы зрения (при работе с миниатюрными элементами, контроле качества изделий).

3. Строгий контроль в области охраны труда со стороны административного комплекса предприятия.

4. Гигиеническое нормирование профессиональных вредностей, предварительные и периодические медосмотры персонала, работающего в условиях вредных воздействий, при необходимости перевод сотрудника на работу, не связанную с воздействием вредных и опасных факторов производства, вызвавших заболевание;

5. Своевременная и объективная оценка условий трудового процесса, включающая производственный контроль и процедуру специальной оценки условий труда на предприятии, систематическая реализация работодателем мероприятий по улучшению условий труда, обеспечение сотрудников, трудящихся под воздействием вредных факторов производства индивидуальными и коллективными средствами защиты, необходимыми моющими средствами, специальным питанием.

#### **Список цитируемых источников**

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 04.08.2023) // Собрание законодательства РФ. – 07.01.2002. № 1 (ч. 1) – Ст. 3.
2. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «О специальной оценке условий труда» // Собрание законодательства РФ. - 30.12.2013. – № 52 (часть I). – Ст. 6991.
3. Фомин А. И., Ворошилов С. П, Макарова, Е. В., Седельников Г. Е. Оценка компетентности работников с учетом аттестации рабочих мест // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №1. – С. 50-54.
4. Ширяева Е.А., Беднов П.В., Любская О.Г. Актуальность вопросов создания здоровых и безопасных условий труда на производстве // Universum: технические науки : электрон.научн. журн. 2021. 2(83). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11279> (дата обращения: 25.02.2021)

УДК 628.312.1 : 519.85

### **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД**

*Р. Н. Вострова<sup>1</sup>, А. Н. Пехота<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Доцент кафедры Водоснабжение, химия и экология Учреждения образования Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь, [vostrova@tut.by](mailto:vostrova@tut.by)

<sup>2</sup> Зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, [pehota.an@bntu.by](mailto:pehota.an@bntu.by)

## **Аннотация**

При сжигании брикетов на основе осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений важным фактором является определение вредных веществ, попадающих в атмосферу с отходящими газами в зависимости от различных долей компонентов топлива с учетом технических параметров топливосжигающей установки.

**Ключевые слова:** вредные вещества, альтернативное топливо, осадок сточных вод, брикетирование, твердое топливо.

## **CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF EMISSIONS FORMATION DURING COMBUSTION OF TWO-COMPONENT SOLID FUEL BASED ON SEWAGE SLUDGE**

*R. N. Vostrova<sup>1</sup>, A. N. Pekhota<sup>2</sup>*

### **Abstract**

When burning briquettes based on sewage sludge from treatment plants, an important factor is the determination of harmful substances entering the atmosphere with waste gases, depending on different proportions of components and fuel humidity.

**Keywords:** harmful substances, alternative fuels, sewage sludge, briquetting.

**Введение.** Наиболее доступным элементом комплексной схемы обращения с ОСВ является энергосберегающая технология брикетирования осадков с получением топливных брикетов. В этом случае ОСВ могут рассматриваться в качестве вторичного сырьевого энергетического ресурса, который можно подвергать дальнейшему сжиганию в котельных.

Но создаваемое альтернативное топливо должно соответствовать экологическим требованиям, поэтому вопрос определения спектра вредных веществ, поступающих в атмосферу при сжигании брикетов, а также их концентраций в зависимости от соотношения двух компонентов (ОСВ и древесных опилок) и влажности является весьма актуальным и составляет цель исследований.

Известно построение модели сжигания многокомпонентного твердого топлива [1,2], используя которое в данном исследовании произведено построение математической модели для определения вредных веществ, попадающих в атмосферу при сжигании твердого топлива на основе ОСВ в зависимости от различных долей компонентов и влажности.

**Материалы и методы.** Построение модели сжигания основывается на методиках, изложенных в [1,2,3,4]. Модель сжигания топлива, включающая несколько компонентов подобна модели для случая двухкомпонентного твердого топлива.

**Результаты и обсуждение.** В процессе горения топлива, наряду с выделением теплоты, с отходящими газами удаляется ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Их характеристики представлены в таблице 1.

В результате проведения экспериментального исследования процесса брикетирования получено уравнение регрессии и установлено, что производительность этого процесса достигает максимального значения при влажности поступающей в шнековый пресс смеси  $42,1 \pm 0,9$  %, в диапазоне изменения доли древесных опилок от 10 до 30 % в смеси [5,6,7,8,9].

**Таблица 1**–Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Наименование	Характеристика
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	Вызывает окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для генерации ряда химикатов и консервирования фруктов
Оксид азота (NO <sub>2</sub> )	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека, способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно. Вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Моноксид углерода (CO)	Выделяется при неполном сгорании топлива, взаимодействует с другими веществами, оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ). Является высококалорийным топливом в процессе газификации угля
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	Наличие CO <sub>2</sub> – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Однако экологические законы ограничивают уровень выбросов CO <sub>2</sub> , так как он способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности.
Твердые частицы (PM)	Пыль (аэрозоль, сажа и т.п.) недифференцированная по составу, имеющая твердое агрегатное состояние, органического и неорганического происхождения, выбрасываемая в атмосферный воздух.

Возникает задача изучения влияния различных долей древесных опилок и осадка сточных вод в брикете при условии обеспечения экологических требований при их сжигании.

Низшая рабочая теплота сгорания двухкомпонентного брикета  $Q$ , МДж/кг, определяется по формуле

$$Q(x_1, x_2) = Q_1 x_1 + Q_2 x_2, \quad (1)$$

где  $x_1$  – массовая доля осадка сточных вод в брикете;  
 $x_2$  – то же древесных отходов в брикете.

Расчетный расход  $B$ , кг/с, топлива-брикетов при максимальной нагрузке котла выражается формулой

$$B = \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_2)] \eta_k}, \quad (2)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка котла при сжигании брикетов, МВт;  
 $\eta_k$  – коэффициент полезного действия котла,  $\eta_k = 67 - 90$  %.

Принимаем  $\eta_k = 80 \%$ .

Для расчета максимального количества оксидов азота  $G_{1,NO_x}$ , кг/с, при сгорании древесный отходов использовалась формула [3]

$$G_{1,NO_x} = B_{1,s} Q_1 K_{1,NO_x} \beta_p, \quad (3)$$

где

$$B_{1,s} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) x_1 B, \quad (4)$$

где  $q_{41}$  – коэффициент, зависящий от типа топки и топлива,  $q_{41} = 1,5$ ;

$K_{1,NO_2}$  – удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяемый по формуле

$$K_{1,NO_x} = 10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{B_{1,s} Q_1^3}, \quad (5)$$

где  $H_{1,T}$ ,  $K_{1,T}$ ,  $\alpha_T$  и  $\beta_p$  – коэффициенты [2, п. 6.2.2.2].

**Таблица 2** - Используемые коэффициенты различных видов топлива и горючих отходов

Топливо	$H_{1,T}$
Уголь	16,5
лигнин, торф	15,4
опилки, стружки, дрова	14,3
отходы древесные	13,2
костра, солома, сланцы	12,1

**Таблица 3** – Используемые коэффициенты для котлов различной мощности

Мощность	$\alpha_T$
до 0,3 МВт включая	3,0
св. 0,3 до 2 МВт включая	2,5
св. 2 до 10 МВт включая	2,0
св. 10 до 25 МВт включая	1,5

Примечание:  $NO_x$  – собирательное название оксидов азота  $NO$  и  $NO_2$ .

$\beta_p$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование азота оксидов. Значения коэффициента  $\beta_p$  приведены в [2, таблиц А Б.2 (приложение Б)].

Расчет максимального расхода оксидов азота  $G_{1,NO_x}$ , кг/с, сгорания в котлах производительностью до 25 МВт древесных отходов принимает вид

$$G_{1,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} \times \\ \times x_1 Q_1 \left[ 10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 Q_1^3} \right] \beta_p. \quad (6)$$

где  $H_{1,T} = 14,3$ ;  $K_{1,T} = 0,4$ ;  $\alpha_T = 1,5$ ;  $\beta_p = 1$  [2].

В случае сгорания в котлах производительностью до 25 МВт осадка сточных вод максимальный расход  $G_{2,NO_x}$ , г/с, оксидов азота определяем по формуле, структура которой подобна формуле (6):

$$G_{2,NO_x} = \left(1 - \frac{q_{42}}{100}\right) (1 - x_1) \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} \times \\ \times Q_2 \left[ 10^{-3} H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k}} (1 - x_1) Q_1^3 \right] \beta_p, \quad (7)$$

где согласно [2]  $q_{42} = 0$ ,  $H_{2,T} = 14,3$ ;  $K_{2,T} = 0,4$ ;  $\alpha_T = 1,5$ ;  $\beta_p = 1$ .

Для максимального расхода диоксидов серы (диоксида серы) при сгорании древесных отходов справедлива формула, г/с

$$G_{1,SO_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} x_1 S_{1,r} (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (8)$$

где: согласно [2]  $\eta_{s_1} = 0,55$ ,  $S_{1,r} = 0,05$ .

Подобная формула для максимального расхода диоксида серы (диоксида серы) при сгорании осадка сточных вод имеет вид, г/с

$$G_{2,SO_2} = 20 \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} (1 - x_1) S_{2,r} (1 - \eta_{s_1}) (1 - \eta_{s_2}), \quad (9)$$

где  $\eta_{s_2} = 0,1$ ;  $S_{2,r} = 1,55$  [2].

Максимальный расход монооксида углерода при сгорании древесных отходов рассчитываем по формуле, г/с

$$G_{1,CO} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} x_1 C_{1,CO}, \quad (10)$$

а при сгорании осадка сточных вод – по формуле

$$G_{2,CO} = \frac{100N}{[Q_1x_1 + Q_2(1 - x_1)]\eta_k} (1 - x_1) C_{2,CO}, \quad (11)$$

где  $C_{1,CO} = q_{13} R_1 Q_1$ ;  $q_{13} = 0,3$ ;  $R_1 = 1$ ;  $C_{2,CO} = q_{23} R_2 Q_1$ ;  $q_{23} = 0,2$ ;  $R_2 = 0,825$ .

Для расчета выбросов твердых частиц РМ, г/с, применяем формулу [2]

$$G = 10B (1 - \eta_{1c}) \left( \alpha_{ab} A_r + q_{ab} \frac{Q}{\tau} \right), \quad (12)$$

где  $A_r$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях,  $A_r = 5$ ;  $\tau$  – безразмерная константа,  $\tau = 32,68$ .

В случае сгорания древесных отходов эта формула принимает вид

$$G_{1,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} x_1 (1 - \eta_{1,c}) \left( \alpha_{1,ab} A_r + q_{1,ab} \frac{Q_1}{\tau} \right), \quad (13)$$

а в случае сгорания осадка сточных вод

$$G_{2,PM} = 10 \frac{100N}{[Q_1 x_1 + Q_2 (1 - x_1)] \eta_k} (1 - x_1) (1 - \eta_{2,c}) \left( \alpha_{2,ab} A_r + q_{2,ab} \frac{Q_2}{\tau} \right), \quad (14)$$

где: согласно [2, приложение В]  $\alpha_{1,ab} = 0,2$ ;  $q_{1,ab} = 0,7$ ;  $\eta_{1,c} = 0,9$ ;  $\alpha_{2,ab} = 0,05$ ,  $q_{2,ab} = 0,02$ ;  $\eta_{2,c} = 0,5$ .

**Заключение.** Таким образом, получена математическая модель для расчета расхода выбросов оксидов азота, диоксидов серы (диоксида серы), монооксида углерода и твердых частиц при сжигании двухкомпонентного твердого топлива на основе осадка сточных вод, обеспечивающая возможность определения оптимальных составов многокомпонентного твердого топлива с учетом технических особенностей топливосжигающих устройств и долей компонентного состава в топливе [5,6,7,8,9].

### Список цитированных источников

1. Б. М. Хрусталева Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Хрусталева Б. М. – Минск : Витпостер, 2014. – 488 с.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности :ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. от 18.07.2017 № 5-Т. (в ред. постановлений Минприроды от 20.12.2018 N 9-Т, от 18.12.2019 N 6-Т, от 21.09.2021 N 7-Т) //Нац реестр правовых актов, 2021 – № 7-Т – 8/32307.
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс] // НИИ Атмосфера. – СПб., 2005. – Режим доступа: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/46/46202/](http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46202/). – Дата доступа: 05.09.2023.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт : ТКП 17.08-01–2006 (02120). – Введ. 28.02.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 49 с.
5. Хрусталева, Б.М. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота, НгаТхуНгуен, ФапМиньБу// Наука и техника : междунар. науч.-практ. журнал. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 58–65.

6. Пехота, А.Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота [и др.]// Энергетика. Изв. высш. учеб.заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
7. Пехота, А.Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника : Междунар. науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 164–174.
8. Пехота, А.Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэф-фективность : ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 5. – С. 26–32.
9. Пехота, А.Н. Оценка эффективности технологии многокомпонентного брикетирования топлива с использованием осадков сточных вод / А.Н. Пехота, Б.М. Хрусталев // Промышленная теплоэнергетика: ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 6. – С. 40–50.

УДК 628.316.12:663.43

## **К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА**

*Э. А. Тур<sup>1</sup>, С. В. Басов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Заведующий кафедрой инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, tur.elina@mail.ru

<sup>2</sup> Доцент кафедры инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, basovs@mail.ru

### **Аннотация**

Объектом исследования являлись сточные воды, образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Определены фактические значения рН, фосфат-ионов, ХПК и взвешенных веществ. Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах. Подобран реагент и диапазон оптимальных доз реагента для удаления фосфатов. Разработаны технологические рекомендации, позволяющие проводить локальную очистку сточных вод на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений.

**Ключевые слова:** сточные воды, лабораторные исследования, технологические рекомендации.

## **ON THE QUESTION OF THE PURIFICATION OF WASTE WATER GENERATED IN THE PRODUCTION OF MALT**

*E. A. Tur<sup>1</sup>, S. V. Basov<sup>2</sup>*

## **Abstract**

The object of the study was wastewater generated at different stages of barley soaking for malt production. The actual values of pH, phosphate ions, COD and suspended solids were determined. Conducted laboratory studies aimed at reducing the content of pollutants in wastewater. The reagent and the range of optimal doses of the reagent for removing phosphates were selected. Technological recommendations have been developed that allow for local wastewater treatment on the territory of the enterprise without the construction of separate treatment facilities.

**Keywords:** waste water, laboratory research, technological recommendations.

**Введение.** Очистка производственных сточных вод является важнейшей задачей промышленных предприятий наряду с выпуском высококачественной и востребованной продукции. Предприятия пищевой промышленности уделяют особое внимание соблюдению нормативов содержания различных веществ в сточных водах. После реконструкции, корректировки технологического процесса и снижению объемов сбрасываемых сточных вод в городскую канализационную сеть, в сточных водах ОАО «Белсолгод» (предприятия Брестской области, производящего солод) периодически возникали превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Объектом исследования являлись сточные воды, образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Целью исследований являлся анализ сточных вод на всех этапах технологического процесса производства солода, а также разработка мероприятий по недопущению превышения ПДК загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод на выпуске в сети коммунальной канализации без строительства локальных очистных сооружений.

**Материалы и методы.** В процессе работы были исследованы сточные воды на различных стадиях технологического процесса (рН, содержание фосфат-ионов, ХПК, взвешенных веществ). Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах до нормативных. Разработаны технологические рекомендации и технологические схемы, позволяющие проводить локальную очистку стоков на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений. Исследования проводили стандартными методами [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Сброс сточных вод предприятия производится по наружным сетям канализации в резервуар-усреднитель вместимостью 1000 м<sup>3</sup>. Так как сбросы сточных вод является залповыми, в резервуаре происходит усреднение расходов стоков и концентрации их загрязнения. Для равномерного поступления сточных вод в городскую канализацию, стоки подаются собственной канализационной станцией производительностью 142 м<sup>3</sup>/ч, расположенной на промплощадке предприятия в городскую канализацию по одной из веток Ø200 мм на очистные сооружения. Работа насосов автоматизирована по уровню воды в приемном резервуаре. Установленный лимит сброса сточных вод составляет 250 м<sup>3</sup>/ч или 1400000 м<sup>3</sup>/год.

Процесс замачивания ячменя является периодическим и происходит в три стадии. В каждой стадии задействованы 8 чанов объемом 85 м<sup>3</sup>. Расход воды на заполнение чанов составляет 240,3 м<sup>3</sup>.

**Результаты и обсуждение.** Были исследованы пробы сточных вод, образующихся на различных стадиях технологического процесса (таблица 1).

**Таблица 1** – Исследованные пробы сточных вод

№ пробы	Наименование пробы
1	Слив замочки ячменя на 3-е сутки (ячмень пр-во Дания)
2	Слив замочки ячменя на 1-е сутки
3	Сточная вода из резервуара-усреднителя (смешанная проба слива замочки после 1 и 3 суток)
4	Сточная вода из контрольного колодца на выпуске в сеть городской канализации (смешанная с бытовыми стоками предприятия)
5	Слив замочки ячменя на 1-е сутки (ячмень пр-во Дания)
6	Слив замочки ячменя на 1-е сутки (ячмень пр-во Дания)
7	Сточная вода из резервуара-усреднителя (смешанная проба слива замочки после 1 и 3 суток)

Результаты исследования pH, содержания взвешенных веществ и содержания фосфат-ионов (в пересчете на P) отобранных проб сточных вод приведены в таблицах 2, 3, 4.

**Таблица 2** - Определение pH

№ пробы	Величина pH (фактическая)	Нормативное значение pH
1 (3-е сутки)	6,21	6,5-8,5
2 (1-е сутки)	5,65	
3 (усреднитель)	5,98	
4 (выпускной колодец)	6,07	
5 (1-е сутки, второй отбор проб)	5,85	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	6,92	
7 (усреднитель)	5,65	

**Таблица 3** – Содержание взвешенных веществ

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм <sup>3</sup>	Нормативное значение, мг/дм <sup>3</sup>
1 (3-е сутки)	317	не более 450,0
2 (1-е сутки)	410	
3 (усреднитель)	379	
4 (выпускной колодец)	347	
5 (1-е сутки, второй отбор)	354	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	364	
7 (усреднитель)	224	

**Таблица 4** – Содержание фосфат-ионов (в пересчете на P)

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм <sup>3</sup>	Нормативное значение, мг/дм <sup>3</sup>
<b>1</b> (3-е сутки)	10,4	не более 11,4
<b>2</b> (1-е сутки)	13,4	
<b>3</b> (усреднитель)	12,4	
<b>4</b> (выпускной колодец)	11,6	
<b>5</b> (1-е сутки, новый отбор)	20,5	
<b>6</b> (1-е сутки, третий отбор проб)	14,7	
<b>7</b> (усреднитель)	17,9	

Согласно проведенным исследованиям, наиболее кислыми являются сточные воды, образующиеся после 1-й замочки ячменя. В выпускном колодце разбавление бытовыми сточными водами положительно влияет на рН стока. В исследованных пробах не обнаружено превышения содержания взвешенных веществ. Ранними исследованиями было определено, что превышения по содержанию взвешенных частиц наблюдается при использовании ячменя, поставляемого из Украины.

Превышение содержания фосфат-ионов имеют сточные воды, образующиеся после первой замочки (1-е сутки) ячменя. После 2-й замочки (3-е сутки) содержание фосфат-ионов находится в пределах допустимого значения. В усреднителе после смешения стоков имеется небольшое превышение, а в выпускном колодце после разбавления промышленных сточных вод бытовыми превышения практически нет (0,2 мг/дм<sup>3</sup> – в пределах допустимой погрешности измерений). Ранее определено, что превышения по содержанию фосфат-ионов имеют сточные воды, образующиеся при использовании ячменя, поставляемого из Украины и Беларуси. При смеси стоков замочки датского и белорусского, а также датского и украинского сырья превышения по содержанию фосфат-ионов не наблюдалось. Проба №5 (датское зерно) дала превышение по содержанию фосфат-ионов. Установлено, что наиболее критичными и дающими превышения по всем параметрам являются сточные воды пробы №2, т.е. воды слива 1-й замочки ячменя (через 1 сутки замачивания). Кроме того, для отобранных проб определяли химическое потребление кислорода (ХПК). Результаты исследований приведены в таблице 5.

**Таблица 5** – Определение ХПК

№ пробы	Фактическое значение, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Нормативное значение, мг/дм <sup>3</sup>
<b>1</b> (3-е сутки)	1247,5	не более 1500,0
<b>2</b> (1-е сутки)	1414,2	
<b>3</b> (усреднитель)	1397,6	
<b>4</b> (выпускной колодец)	1287,2	
<b>5</b> (1-е сутки, новый отбор)	1319,5	
<b>6</b> (1-е сутки, третий отбор проб)	1390,5	
<b>7</b> (усреднитель)	1490,2	

В исследованных пробах не обнаружено превышения по показателю «химическое потребление кислорода» (ХПК). Наиболее высокое значение ХПК имеет проба №2 (сточные воды после 1-х суток замочки). Все приведенные результаты касаются сточных вод замочки датского ячменя.

Ранними исследованиями было определено, что превышения по ХПК характерны при использовании в производстве только украинского или только белорусского ячменя. При смеси стоков замочки украинского и датского и белорусского и датского ячменя превышения не наблюдается.

Поскольку основной объем ПСВ имеет кислую среду, для нейтрализации стока было принято использовать щелочные реагенты. В качестве такого реагента использовался СаО. При исследовании в сточные воды добавляли различные количества реагента, начиная с минимальной дозы 0,1 г/л СаО и выше, до 5 г/л СаО. Рекомендуется использовать в качестве нейтрализующих реагентов именно соединения кальция, т.к. ПСВ имеют повышенное содержание фосфат-ионов и взвешенных веществ, которые при действии  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  способны образовывать осадки.

В процессе проведенных исследований определено, что видимый процесс образования осадков ПСВ начинается при минимальных дозах СаО, а именно, от 0,1 кгСаО на 1 м<sup>3</sup> сточной воды. Установлено, что при малых дозах СаО (0,1 и 0,5 кг на м<sup>3</sup>), процесс образования и осаждения осадков протекает медленно и требует интенсификации, а именно, использование гидроциклона. В лаборатории данный процесс интенсифицировали при помощи центрифуги лабораторной. Кроме того, процесс образования осадков ПСВ первоначально приводит к увеличению содержания взвешенных веществ с 379 мг/дм<sup>3</sup> (исходная проба №3) до 828 – 1073 мг/дм<sup>3</sup> (при введении различных доз реагента).

Однако, даже при неполном осаждении осадков ПСВ наблюдается снижение содержания фосфат ионов с 13,4 мг/л (проба №2) до 5 мг/л, после известкования максимальной дозой 5 кг на 1 м<sup>3</sup> содержание фосфат ионов снижается до 2,5 мг/л (зерно датского производства 1-е сутки замачивания, проба №2). В результате исследований установлено, что оптимальным значением является добавление 0,5г/л СаО.

Результаты проведенных исследований позволили предложить несколько технологических схем, которые рекомендовано внедрить на ОАО «Белсолод»:

1) технологическая схема с использованием системы оборотной очищенной воды с целью разбавления концентрированного стока;

2) технологическая схема очистки производственных сточных вод (ПСВ) с использованием реагента СаО с целью нейтрализации кислого стока и снижения содержания взвешенных веществ в концентрированном стоке [9, 10].

Предложенные технологические схемы не нарушают основной технологический процесс производства солода и не оказывают отрицательного воздействия (в том числе коррозионного) на состояние технологического оборудования и трубопроводов.

Технологическая схема включает следующие сооружения:

1. усреднитель сточных вод;

2. реагентное хозяйство;
3. батарею гидроциклонов и вспомогательное оборудование;
4. отстойник;
5. сборник осадков (контейнеры для вывоза или сушки).

**Заключение.** В связи с этим можно рекомендовать несколько возможных вариантов обработки ПСВ:

1) Перед сбросом в усреднитель, при низких значениях рН, сточная вода смешивается с реагентом, до достижения нормативного значения, затем, поступает в отстойник. После чего, очищенная до нормативов сточная вода поступает в усреднитель расхода ПСВ, разбавляя каждый следующий сброс до установленных нормативов.

2) При значениях рН, близких к нормативным с высоким содержанием взвешенных веществ, сточная вода из усреднителя, смешивается с реагентом, затем поступает на физико-механическую обработку в напорные гидроциклоны, после чего возвращается в усреднитель, разбавляя следующий сброс.

3) Реконструировать усреднитель, оборудуя его секцией для отстаивания сточных вод. Это связано с тем, что усреднитель в данное время (после реконструкции предприятия) не используется на полную мощность, имеется значительный резерв по объёму. При оборудовании в нём секции для отстаивания объёмом 250 м<sup>3</sup> не потребуется возведения или устройства отдельно стоящего резервуара-отстойника [10].

Рекомендовано на территории предприятия рядом с резервуаром-усреднителем разместить и привязать резервуар для осаждения осадков (горизонтальный отстойник) на открытом воздухе и/или гидроциклон (в помещении). Рядом с резервуаром-усреднителем имеется достаточно большая свободная площадка, на которой можно разместить и резервуар для осаждения осадков (горизонтальный отстойник) и/или гидроциклон. Образующиеся осадки не будут вызывать коррозию трубопроводов. Их можно высушивать и реализовывать как минеральное удобрение, содержащее кальций и фосфор. Предложенные инженерные решения обеспечат повышение экологичности производства солода без строительства отдельных очистных сооружений на данном промышленном предприятии.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность руководству ОАО «Белсолод» за информационную поддержку, оказанную в ходе написания статьи.

#### **Список цитированных источников**

1. Колунянц, К. А. Химия солода и пива. / К.А. Колунянц. — М.: Агропромиздат, 1990. — 175 с.
2. Кульский, Л. А. Основы химии и технологии воды / Л. А. Кульский. — Киев: Наукова Думка, 1991. — 568 с.
3. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды / Л. С. Алексеев. — М.: ВШ, 2004. — 153 с.

4. СТБ ИСО 10523-2009 Качество воды. Определение pH.
5. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ.
6. СТБ ИСО 6878-2005 Качество воды. Определение фосфора спектрометрическим методом с молибдатом аммония №1.2.1.79-0013.
7. ГОСТ 31859-2012 Метод определения химического потребления кислорода.
8. ПИДФ 14.1.:2:4.190-03. Москва. 2003 г. Методика определения бихроматной окисляемости (химического определения кислорода) в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02».
9. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. — Барнаул: ГИПП Алтай, 2000. — 391 с.
10. Тур, Э.А. Проблемы очистки сточных вод, образующихся на стадии замачивания зерна при производстве солода, и пути их решения/ Э.А. Тур, Н.В. Левчук, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2018. — № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. — С. 117-122.

## **СЕКЦИЯ 3**

# **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ УСТАНОВОК ВОДОПОДГОТОВКИ С НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ МЕМБРАНАМИ

*В. Н. Ануфриев<sup>1</sup>, А. С. Шпакова<sup>2</sup>, Г. А. Волкова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Доцент, к.т.н., Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь, e-mail vladimir.anufriev@bntu.by

<sup>2</sup> Магистрант, Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь, e-mail nastja.shpakova@mail.ru

<sup>3</sup> Доцент, к.т.н., Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь, volga-brest@mail.ru

### **Аннотация**

Одним из основных преимуществ нанофильтрации, как метода умягчения воды, является то, что в процессе удаления ионов кальция и магния одновременно пропускаются мембраной гидратированные одновалентные ионы. При этом при нанофильтрации не добавляется дополнительное количество ионов натрия, как это происходит при ионном обмене. Нанофильтрация позволяет обрабатывать большие расходы воды в непрерывном режиме. Вместе с тем, существуют ограничения по применению технологии. Основным недостатком нанофильтрации, как и всех технологий мембранного разделения, является стоимость и обслуживание используемых мембран.

**Ключевые слова:** нанофильтрация, мембраны, давление, расход, мембранные модули, пермеат, концентрат.

## DESIGN AND CALCULATION OF WATER TREATMENT INSTALLATIONS WITH NANOFILTRATION MEMBRANES

*V. N. Anoufriev<sup>1</sup>, A. S. Shpakova<sup>2</sup>, G. A. Volkova<sup>3</sup>*

### **Abstract**

One of the main advantages of nanofiltration as a method of water softening is that in the process of removing calcium and magnesium ions, hydrated monovalent ions are simultaneously passed through the membrane. Moreover, during nanofiltration no additional sodium ions are added, as happens in ion exchange. Nanofiltration allows you to process large flows of water in a continuous mode. However, there are restrictions on the use of technology. The main disadvantage of nanofiltration, as with all membrane separation technologies, is the cost and maintenance of the membranes used.

**Keywords:** nanofiltration, membranes, pressure, flow, membrane module, permeate concentrate.

## **Введение.**

Процессы микрофльтрации (МФ) с размерами пор мембран – 1,50-0,15  $\mu\text{м}$ , ультрафльтрации (УФ)– 0,15-1,0  $\times 10^{-3}$   $\mu\text{м}$ , нанофльтрации (НФ)–1,0  $\times 10^{-3}$ -10,0  $\times 10^{-3}$   $\mu\text{м}$ , и обратного осмоса (ОО) являются наиболее распространенными мембранными процессами [1,2,3]. Применение установок с мембранами зависит от состава исходной воды и требований к очищенной воде.

Обработка воды нанофльтрацией основана на проникновении нескольких компонентов смеси через полупроницаемую мембрану под действием разности давления. Мембраны, применяемые для нанофльтрации, имеют размер пор от 1 до 10 нм, что меньше, чем в мембранах, используемых при микро- и ультрафльтрации.

Мембраны преимущественно изготавливают из тонких полимерных пленок, таких как ацетилцеллюлоза, полиамид, полиэтилентерефталат, фторопласты. Также применяются мембраны из керамики, металлов. Металлические мембраны изготавливают из оксида алюминия путем электрохимического окисления из металлического алюминия в кислой среде.

Определенный интерес вызывает применение нанофльтрации для умягчения технической воды. Мембраны, применяемые для нанофльтрации, задерживают примеси диаметром от 1 нм, органические вещества с молекулярной массой 200-400, 90-99% солей двухвалентных металлов, 80-90% сульфатов. Селективность к ионам натрия, хлора и других одновалентных элементов намного ниже. Мембраны пропускают до 85% солей одновалентных металлов. Давление, необходимое для процесса нанофльтрации, составляет 0,35-1,60 МПа. И, таким образом, нанофльтрация может рассматриваться как способ умягчения воды, наряду с ионным обменом и реагентной обработкой.

**Материалы и методы.** При умягчении воды посредством процесса нанофльтрации предусматривают предварительную водоподготовку (осветление, обезжелезивание). Учитывая малые размеры пор нанофльтрационных мембран, требуется удаление из воды взвешенных веществ (содержание в обрабатываемой воде – не более 5 мг/дм<sup>3</sup>), соединений железа (не более 0,3 мг/дм<sup>3</sup>), марганца (не более 5 мг/дм<sup>3</sup>), нефтепродуктов (не более 0,5 мг/дм<sup>3</sup>), которые ускоряют забивание пор, а также ограничивают содержание в воде сильных окислителей (активный хлор, озон, перманганат калия – не более 0,1 мг/дм<sup>3</sup>), которые оказывают негативное воздействие на материал мембраны. Усредненные данные по составу исходной воды, которая направляется на нанофльтрацию, приведены в СН 4.01.01 [4]. Требования к исходной воде указывают производители мембран и производители мембранных модулей.

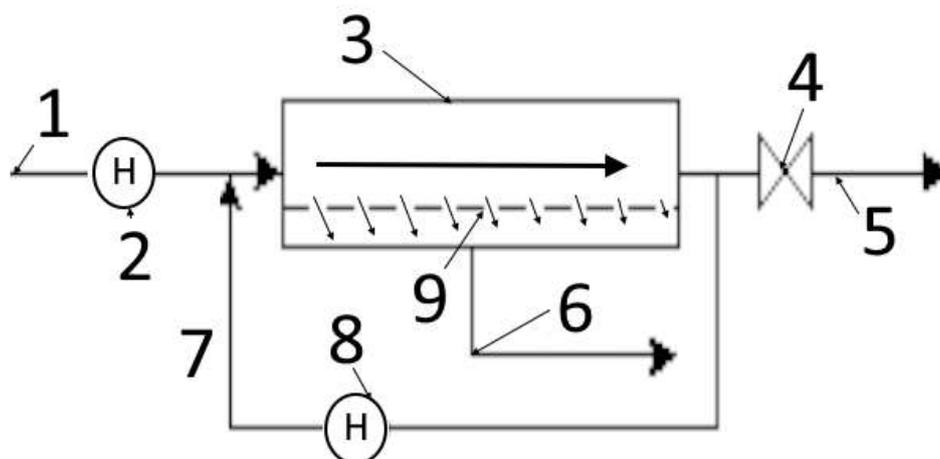
Мембранные модули включают: мембраны, организованные в определенном порядке; корпус; устройства, подводящие исходную воду, отводящие пермеат и концентрат; вспомогательные элементы. Наиболее распространены рулонные, плоские, трубчатые, капиллярные (половолоконные) мембранные модули.

Установка нанофльтрации представляет совокупность мембранных модулей, соединенных друг с другом последовательно или параллельно.

При разделении пермеата и концентрата используют тангенциальное фильтрование. Входящий поток исходной воды подается вдоль поверхности мембраны, и по мере прохождения над ее поверхностью разделяется на два потока: прошедший через мембрану очищенный пермеат и концентрат. Выходящий со стороны, противоположной вводу воды, концентрат, не прошедший через мембрану, содержит большую часть задержанных мембраной примесей.

Соотношение расходов пермеата и концентрата указывают производители мембран. При тангенциальном фильтровании по длине аппарата объемный расход разделяемого потока воды уменьшается из-за прохождения пермеата через мембрану. Также пропорционально снижается скорость концентрата вдоль мембраны, растет концентрация задерживаемых мембраной компонентов, и, соответственно, повышается и концентрация их в пермеате.

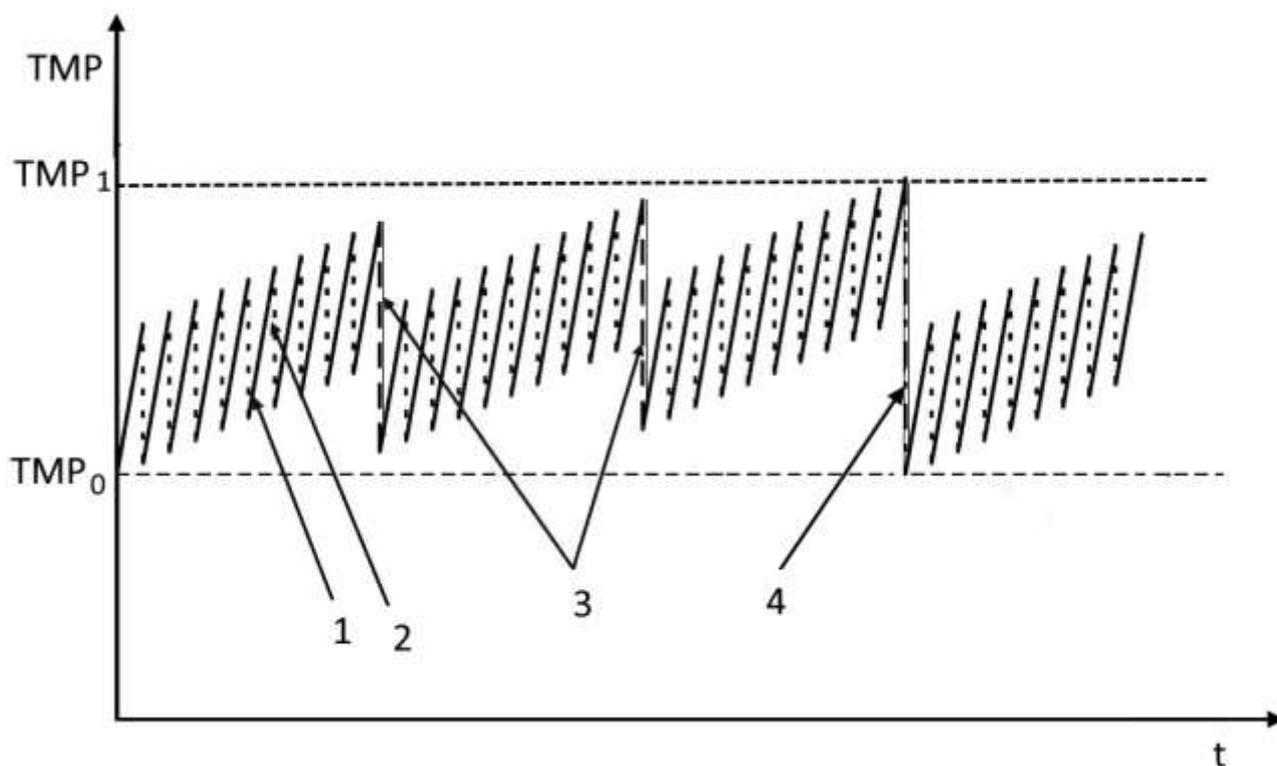
По длине аппарата давление в потоке концентрата над мембраной падает из-за возрастания гидравлического сопротивления, что ведет к уменьшению расхода воды в пермеате. Для снижения расхода питательной воды применяют одноступенчатые и многоступенчатые схемы с циркуляцией концентрата (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Принципиальная схема циркуляционной одноступенчатой мембранной установки

1 – подача исходной воды, 2 – питательный насос исходной воды, 3 – мембранный модуль, 4 – вентиль, 5 – отведение концентрата, 6 – отведение пермеата, 7 – контур циркуляции концентрата, 8 – циркуляционный насос, 9 – мембрана

Таким образом процесс мембранного разделения при нанофильтрации является не стационарным, и дополнительно следует учитывать изменения состояния мембраны. При эксплуатации мембранного модуля происходит снижение проницаемости из-за отложений и забивания пор мембран. Типичный режим работы мембранного модуля приведен на рисунке 2 и включает рабочий режим фильтрования, обратные промывки мембраны водой, обратные промывки мембраны водой и реагентами, реагентную регенерацию мембраны.



**Рисунок 2** – Типовой режим работы мембранного модуля

1–рабочий режим фильтрации, 2 –обратная промывка мембраны водой, 3–обратные промывки мембраны водой и реагентами, 4–реагентная регенерация мембраны,  $TMP_0$ –трансмембранное давление в начальный момент эксплуатации, МПа,  $TMP_1$ – допустимое максимальное трансмембранное давление, МПа

Трансмембранное давление (TMP), МПа, определяется как разность между средним давлением в полости концентрата и давлением в полости пермеата и рассчитывается по формуле

$$TMP = 0,5(P_{исх} + P_{кон}) - P_{пер} \quad (1)$$

где  $P_{исх}$ –давление со стороны подачи исходной воды, МПа;

$P_{кон}$ – давление со стороны отведения концентрата, МПа;

$P_{пер}$ – давление со стороны отведения пермеата, МПа.

Обратная промывка мембраны водой производится с поверхностной нагрузкой, равной или большей чем при фильтрации при продолжительности от 30 до 120 мин. Обратная промывка мембраны водой и реагентами применяется для удаления отложений, которые невозможно удалить водой. Для удаления неорганических отложений используют кислоты (соляную и серную), для удаления органических веществ используют щелочи (гидроксид натрия) и окислители. При этом после обработки мембраны кислотой, как правило, проводится промывка щелочью. Продолжительность обработки мембран реагентами составляет от 5 до 15 мин. Интервалы между промывками принимают от шести часов до нескольких суток, в соответствии с рекомендациями производителей.

Реагентная регенерация мембран производится при снижении проницаемости ниже предельных значений, оцениваемых по трансмембранному давлению.

Интервалы между реагентными регенерациями назначают от нескольких недель до нескольких месяцев. После реагентной регенерации мембраны ее проницаемость должна почти вернуться к исходному значению. Реагентная регенерация мембраны производится непосредственно в мембранном модуле или же вне модуля. Для реагентной регенерации мембран используются:

- раствор NaOH с  $\text{pH} > 11,5$ ;
- соляная или серная кислота с  $\text{pH} < 2,5$ ;
- гипохлорит натрия с концентрацией более 50 мг/л по активному хлору;
- лимонная кислота с концентрацией более 2 г/л.

**Результаты и обсуждение.** Таким образом, при проектировании установок нанофильтрации определяют требуемую производительность с учетом режима работы, включая затраты времени на промывки и регенерации мембран, а также соотношения между расходами концентрата и пермеата. Расход пермеата, который является полезной производительностью, определяют в зависимости от удельного расхода на единицу площади мембраны ( $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ). Гидравлический КПД установки нанофильтрации определяется как отношение расхода пермеата к суммарному расходу подаваемой на установку исходной воды и рассчитывается по формуле

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{пер}}t_{\text{пер}} - Q_{\text{пром}}t_{\text{пром}}}{Q_{\text{пер}}t_{\text{пер}}} 100\% \quad (2)$$

где  $Q_{\text{пер}}$  – расход пермеата,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{\text{пер}}$  – продолжительность фильтрования, ч;

$Q_{\text{пром}}$  – расход обратной промывки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{\text{пром}}$  – продолжительность обратной промывки, ч.

Таким образом, чем чаще для установки проводится обратная промывка, тем ниже гидравлический КПД установки.

При проектировании установок нанофильтрации требуются системы измерений для определения давления (концентрата, пермеата, исходной воды), расхода (концентрата, пермеата). Кроме того, система фильтрации должна оснащаться контрольно-измерительными приборами для измерения: мутности исходной воды, температуры исходной воды, давления при обратной промывке, расхода раствора для промывки и регенерации, pH и температуры раствора для промывки и регенерации.

### **Заключение.**

1. Положительным качеством технологии нанофильтрации, как метода умягчения воды, является задержание кальция и магния без увеличения мине-

рализации обработанной воды, не требуются затраты тепловой энергии на нагрев воды.

2. Технология нанофильтрации для умягчения воды считается безреагентным способом, поскольку реагенты не используются в рабочем режиме. Вместе с тем, эксплуатация установок нанофильтрации требует периодических промывок и химических регенераций мембран. Таким образом, технология нанофильтрации может быть отнесена к безреагентной только условно.

3. Существенное ограничение при использовании нанофильтрации для умягчения производственных вод связано с проблемами отведением сбросных минерализованных вод (концентрата мембранных установок). При обработке значительных расходов производственных вод нанофильтрацией образуются большие объемы минерализованных сточных вод, которые требуют отдельной обработки.

### Список цитированных источников

1. Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 213-5 (A), Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 5: Membranfiltration. Bonn, April 2019, 32s.
2. Технический справочник по обработке воды: [в 2 т.: перевод с французского] / [Л. Андриамирадо и др.; науч. ред.: М. И. Алексеев и др.]. – 2-е изд. – Санкт-Петербург: Водоканал Санкт-Петербурга: «Новый журн.», 2007, 1775 с.
3. Первов А.Г. Новые тенденции в разработке современных нанофильтрационных систем для подготовки питьевой воды высокого качества: обзор / А.Г. Первов, А.П. Андрианов, Р.В. Ефремов, Ю.В. Козлова // Серия. Критические технологии. Мембраны, 2005, № 1 (25), с.18-34.
4. СН 4.01.01-2019 Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Минск, 2020, 78 с.

УДК 662.7, 628.4

## АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

*А. Н. Пехота<sup>1</sup>, Б. М. Хрусталева<sup>2</sup>, Р. Н. Вострова<sup>3</sup>, Г. И. Маматисаев<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, [pehota.an@bntu.by](mailto:pehota.an@bntu.by)

<sup>2</sup> Профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, [tg\\_v\\_fes@bntu.by](mailto:tg_v_fes@bntu.by)

<sup>3</sup> Доцент кафедры «Водоснабжение, химия и экология» УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь, [vostrova@tut.dy](mailto:vostrova@tut.dy)

<sup>4</sup> Зав. кафедрой «Строительство инженерных коммуникаций», Ферганский политехнический институт, Фергана, Республика Узбекистан

## **Аннотация**

Рассмотрены технологические особенности получения брикетированного топлива на основе применения горючих отходов. Дана комплексная оценка проведенным исследованиям с использованием математических методов расчета и моделирования с оптимизацией составов топлива по физико-химическим и теплоэнергетическим характеристикам, позволяющей применять альтернативное топливо в эксплуатируемых установках.

**Ключевые слова:** твердое топливо, многокомпонентные составы, осадок сточных вод, отходы, дифференциально-термический анализ, выбросы, ПДК.

## **ASPECTS OF CREATION OF BRIQUETTED SOLID FUEL WITH THE POSSIBILITY OF ITS APPLICATION IN OPERATED HEAT GENERATING INSTALLATIONS**

*A. N. Pehota<sup>1</sup>, B. M. Khrustalev<sup>2</sup>, R. N. Vostrova<sup>3</sup>, G. I. Mamatisaev<sup>4</sup>*

### **Abstract**

The technological features of producing briquetted fuel based on the use of combustible waste are considered. A comprehensive assessment was given of the research carried out using mathematical methods of calculation and modeling with optimization of fuel compositions according to physical, chemical and thermal energy characteristics, which allows the use of alternative fuels in operating installations.

**Keywords:** solid fuel, multicomponent compositions, sewage sludge, waste, differential thermal analysis, emissions, maximum permissible concentrations.

**Введение.** Основными принципами и приоритетами государственной политики для многих стран, является рациональное использование природных ресурсов и энергосбережение. Эти направления позволяют формировать механизмы повышения ресурсной и энергетической безопасности, решать вопросы формирования экологически безопасной среды обитания для будущих поколений, а также способствуют развитию направлений реализующих использование в энергетических целях горючих отходов различных производств.

С начала двухтысячных годов, вводимые энергоустановки в рамках реализации программы увеличения уровня использования местных видов топлива, преимущественно были ориентированы на традиционные виды ископаемого топлива и твёрдые биотоплива. Их ассортимент формировался в основном за счет применения щепы, гранулированного и брикетированного твердого топлива. Так как финансовые затраты на возведение энергогенерирующих установок тратятся немалые, а запасы традиционно применяемых видов топлива на близлежащих от энергоустановок территориях со временем будут уменьшаться, появится необходимость их замещения резервными источниками топлива. Однако при решении вопросов перевода энергетических установок на местные и аль-

тернативные виды топлива возникает ряд проблем связанных с обеспечением приемлемых параметров обеспечивающих качественное сжигание.

В настоящее время одной из перспективных технологий получения топлива с целью обеспечения устойчивой эксплуатации энергоустановок, может стать внедрение технологий брикетирования, позволяющих получать твёрдое топливо на основе многокомпонентных составов из различных малоиспользуемых и некондиционных отходов, не нашедших применения.

**Материалы и методы.** Определение качественных параметров и соответствия требованиям произведенных многокомпонентных топливных брикетов выполнялись в соответствии с действующими стандартами на твердое топливо: СТБ 2055-2010, СТБ 1867-2009, с применением: атомно-абсорбционного спектрометра марки «МГА – 915М», дериватографа МОМ-1500, ИК-спектрометрии в лабораториях НАН Беларуси, БГУ и УО «БелГУТ.

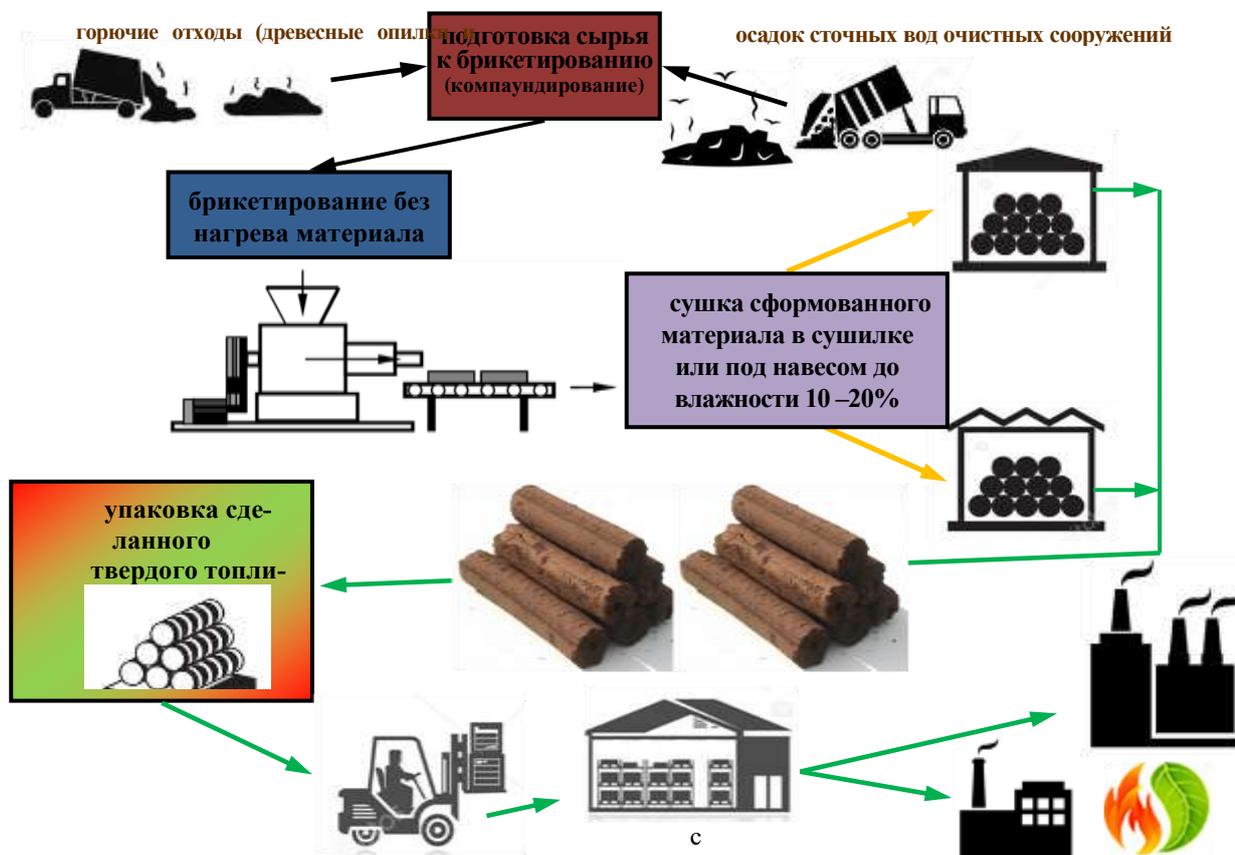
**Результаты и обсуждение.** В исследовании использованы образующиеся и накопленные горючие отходы производственного сектора и коммунального хозяйства.

В составе брикетированного топлива в исследованиях использовался осадок сточных вод (ОСВ), образующихся в результате очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. В свою очередь, как показали различные проведенные исследования, осадок является энергетически насыщенным горючим отходом, состоящим из органических (до 80%) и минеральных (около 20%) веществ[1].

Значительный энергетический эффект также можно получить от использования нефтесодержащих, древесных, сельскохозяйственных и иных вторичных горючих отходов, не нашедших технологического применения в других технологиях. Поэтому комплексная переработка таких отходов путём получения многокомпонентного твердого топлива является эффективным решением актуальных задач, имеющих научную новизну и важное практическое значение для увеличения доли местных топливно-энергетических ресурсов, создания дополнительных рабочих мест, стабильной сырьевой базы для энергетических установок [2-4].

В ходе исследований были разработаны четыре базовых состава брикетов, на основе которых производились математические расчеты, моделирование и определялись диапазоны и оптимальные соотношения химического состава, соответствующего критериям качества по энергетическим и экологическим показателям. Вместе с тем, рассматривался вопрос пригодности сжигания полученного топлива твердотопливных котлоагрегатах, мощностью 0,5 и 4,0 МВт. Разработанные составы были представлены на исследования в следующих соотношениях компонентного состава: «Марка-1» – ОСВ-50% и опилки древесные 50%; «Марка-2» – ОСВ-75% и опилки древесные 25%; «Марка-3» – ОСВ-100%; «Марка-4» – ОСВ-33% и опилки древесные 67% [2,3].

Разработанная технология производства многокомпонентного твердого топлива [4] позволяет получать твердое топливо с использованием образующихся и накопленных горючих отходов. Преобразованная схема брикетирования некондиционных отходов представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Принципиальная схема разработанной опытно-промышленной установки брикетирования MSF топлива

Расчет и подбор оптимальных соотношений многокомпонентных составов производится с применением общепринятой теории построения эксперимента и с использованием современных математических инструментов, например, программы STATISTICA 7, которая позволяет, с помощью модуля расчета смесей, в разделе «промышленная статистика», получать и обрабатывать результаты и прогнозировать получаемые в ходе эксперимента факторные зависимости, с учетом их относительной ошибки.

В результате обработки экспериментальных данных определены дисперсия выходного параметра производительности  $P$ , среднеквадратичные ошибки, доверительные интервалы, значение критерия Фишера  $F_p$ . Из результата сравнения значения  $F_p$  и табличного значения критерия Фишера  $F_t$  при выбранном уровне значимости  $\alpha = 0,05$  следует, что представленная модель адекватна изучаемому процессу.

Получено уравнение регрессии максимально эффективной производительности  $P$  брикетирования при следующем долевом соотношении горючих отходов в составе топлива:

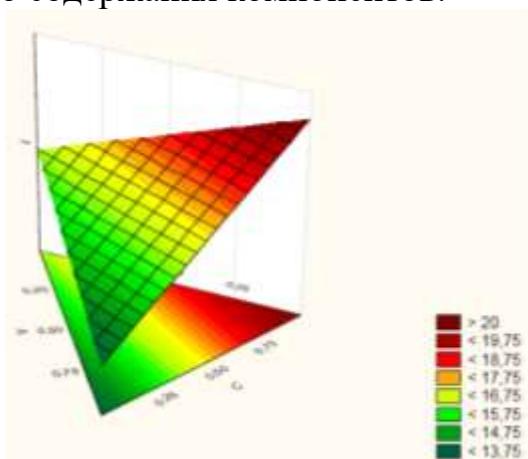
$$P(A,B,C,D)=5,08253A+20,87668B+20,69155C+11,02850D+15,11772AC +19,50741AD, \text{ кг/мин} \dots\dots\dots(1)$$

где, А – влажности смеси, В – осадок сточных вод, С – измельчённые древесные отходы, D – нефтешламы.

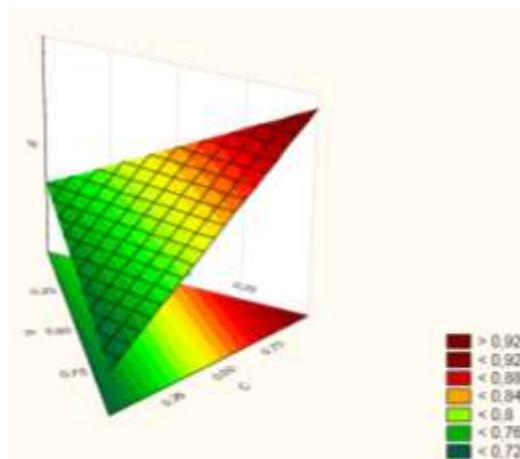
Получено уравнение регрессии для определения плотности *U* брикетированного топлива в виде:

$$U(A,B,C,D) = 0,525977A+0,922431B+0,924242C+0,594141D, \text{ т/м}^3 \quad (2)$$

С использованием полученных уравнений регрессии были построены поверхности отклика, с применением метода Гиббса–Розебома. На рисунках 2-3 представлены зависимости производительности и плотности брикетов от долевого содержания компонентов.



**Рисунок 2** – Зависимость производительности установки брикетирования (кг/мин) от долевого содержания влажности смеси (А), древесных отходов (С) и нефтешламов (D)



**Рисунок 3** – Зависимость плотности брикетов (т/м³) от долевого содержания влажности смеси (А), древесных отходов (С) и нефтешламов (D)

Совместный анализ полученных факторных зависимостей, представленных на рисунках 2 и 3, позволяет наглядно определить, что при массовых долях в составе топлива с содержанием влажности (А) 24-38% в составе смеси с осадком сточных вод (В) в пределах 45-23% и древесных отходов (С) 48,6-53% обеспечивается функция желательности, которая удовлетворяет условиям: производительность брикетирования установки 17-18 кг/мин, а плотность получаемого брикета 0,84-0,86 т/м³ [5,6].

Также в ходе исследований отмечено, что смешивание ОСВ с горючими материалами (отходами) растительного происхождения позволяет в значительной степени снижать содержание зольности и серы (нормирование – содержание серы в топливе – не более 1%; зольность топлива – не более 23%).

**Заключение.** Проведенные научные исследования, математическое моделирование, факторный анализ и накопленный практический опыт подбора много-

компонентных составов, а также комбинированный подбор составов, позволяет определять оптимальное соотношение различных горючих компонентов в составе топлива, при которых теплотехнические характеристики и выбросы вредных веществ взаимно скоррелированы и соответствуют техническим характеристикам топливосжигающего оборудования со слоевыми топками, мощностью от 0,01 до 4МВт.

### Список цитированных источников

1. Ануфриев В.Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В.Н. Ануфриев // Экология на предприятии. - 2017. - № 5. - С. 84-95.
2. Пехота, А.Н. Исследование теплотехнических свойств брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений/ А.Н. Пехота, Р.Н. Вострова, В.Н. Грибанов // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы II-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск : Институт ЖКХ НАН Беларуси, 2020. – Т. 2. – С. 99-108
3. Пехота, А.Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, МиньФалВу, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, ТхунгаНгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб.заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525-537.
4. Способ получения топлива твердого многокомпонентного: пат. 18408 Респ. Беларусь, МПК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (ВУ), № а 20120656; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтры інтэлектуал. уласнасці. 2014. № 3. С. 174.
5. Пехота, А.Н. Многокомпонентное твердое топливо : [монография] / А.Н. Пехота ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус.гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021.– 243 с.
6. Пехота, А.Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А.Н. Пехота // Наука и техника : междунар. науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

УДК 004.942, УДК 628.1, УДК 696.1

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

*М. А. Таратенкова<sup>1</sup>, С. В. Андреев<sup>2</sup>, И. А. Адамов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, taratenkava@mail.ru

<sup>2</sup> Заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, БрГТУ, Брест, Беларусь, svandreyuk@g.bstu.by

<sup>3</sup> Студент, БрГТУ, Брест, Беларусь, ilya.adamov.03@gmail.com

## **Аннотация**

Проектирование и моделирование систем водоснабжения и водоотведения является неотъемлемой частью строительства. Сооружения водоснабжения являются объектами при проектировании, строительстве и эксплуатации которых предъявляются высокие требования по степени надежности. Поэтому ошибки и неточности, могут существенно затянуть сроки сдачи объект в эксплуатацию. Оптимальным вариантом решения может стать создание модели этих систем, что позволит повысить точность и надежность проектирования систем, упростить процесс монтажа и эксплуатации в дальнейшем. В статье содержится описание применения программного комплекса Autodesk Revit, на основе которого разработана 3D-модель и запроектирована станция водоподготовки для промышленного предприятия.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, инженерные водохозяйственные системы, водоснабжение, водоотведение.

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN DESIGN AND MODELING OF ENGINEERING WATER SYSTEMS**

*M. A. Taratenkova<sup>1</sup>, S. V. Andreyuk<sup>2</sup>, I. A. Adamov<sup>3</sup>*

### **Abstract**

Design and modeling of water supply and wastewater systems is an integral part of construction. Water supply structures are objects in the design, construction and operation of which high demands are placed on the degree of reliability. Therefore, errors and inaccuracies can significantly delay the commissioning of a facility. The optimal solution may be to create a model of these systems, which will improve the accuracy and reliability of system design and simplify the process of installation and operation in the future. The article contains a description of the use of the Autodesk Revit software package, on the basis of which a 3D-model was developed and a water treatment station for an industrial enterprise was designed.

**Keywords:** information modeling, engineering water systems, water supply, sanitation.

**Введение.** В настоящее время остро стоит проблема обеспечения водохозяйственной и строительной отрасли компетентными кадрами, владеющими современными технологиями проектирования. Все больший интерес приобретают технологии информационного моделирования, об эффективности которого уже известно и написано достаточное количество трудов. Информационное моделирование здания — цифровая модель, которая позволяет возводить, эксплуатировать, ремонтировать и утилизировать здание [1, 2].

Сооружения водоснабжения являются объектами при проектировании, строительстве и эксплуатации которых предъявляются высокие требования по степени надежности. Поэтому ошибки и неточности, могут существенно затя-

нуть сроки сдачи объект в эксплуатацию. Оптимальным вариантом решения может стать создание модели этих систем, что позволит повысить точность и надежность проектирования систем, упростить процесс монтажа и эксплуатации в дальнейшем [3].

Проектирование систем водоснабжения ведется преимущественно в программных комплексах, позволяющих получить архитектурно-строительные и технологические чертежи сооружений и оборудования. Зачастую, именно опыт проектировщика определяет точность этих чертежей. Применение информационного моделирования позволит свести к минимуму ошибки и неточности при проектировании, а также позволит визуализировать проект и в полной мере представить его заказчику.

Применение данных технологий в Республике Беларусь сопряжено с рядом факторов, которые требуют тщательного подхода и проработки. Основной вопрос заключается в том, что для информационного моделирования необходимо программное обеспечение. Отсутствие отечественных стандартов, а также привязка зарубежных программных комплексов к особенностям строительства и проектирования в этих странах приводит к формированию 3D-модели, которую не всегда можно применить на практике [6].

Еще одним фактором, препятствующим применению информационного моделирования в строительстве не только сооружений водоснабжения, так же в целом отрасли – это отсутствие нормативной базы, которая регламентировала бы применение данных технологий.

Известны исследования по применению технологий информационного моделирования (BIM-технологий) в образовательном процессе при подготовке выпускников направления «Природообустройство и водопользование». В рамках предметной подготовки важно создать среду обучения, приближенную к профессиональной. Приводятся примеры практико-ориентированных учебных заданий, которые выполняют студенты в ходе самостоятельной работы с использованием программного комплекса BIM Renga [4].

На кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ задачей исследования стало изучение возможностей создания моделей инженерных водохозяйственных систем в рамках специальности «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений» (профилизация «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов») с целью внедрения в учебный процесс информационного моделирования систем водоснабжения и водоотведения, а также применения его при проектировании для увеличения точности и упрощения монтажа данных систем [5].

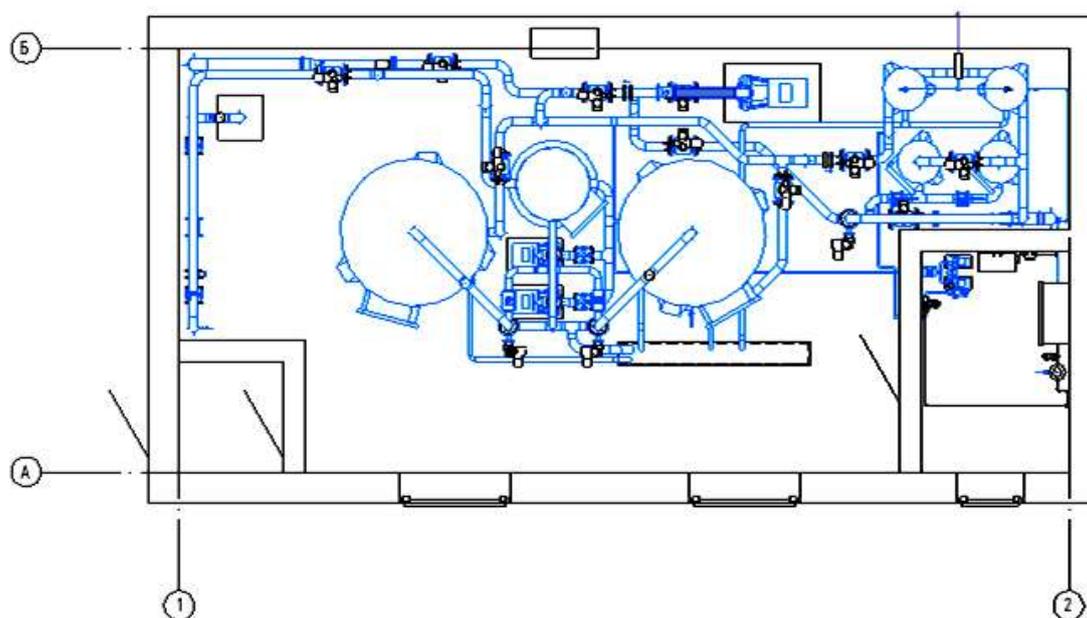
**Основная часть.** По заказу предприятия, производящего кухонные плиты, была разработана схема подготовки воды для технологических нужд [6].

Исходная вода из артезианской скважины подается в аэрационную колонну, где происходит насыщение воды кислородом воздуха, а также отдувка из воды сероводорода. Кислород воздуха окисляет хорошо растворимый в воде гидрокарбонат железа (II), при этом образуется нерастворимый гидроксид железа (III). За

время пребывания воды в аэрационной колонне происходит укрупнение частиц гидроксида железа, выделившихся в воде при окислении двухвалентного железа. Далее насосы консольного типа подают воду из аэрационной колонны в скорые напорные фильтры с зернистой загрузкой. В скорых напорных фильтрах, загруженных кварцевым песком, происходит задержание гидроксида железа (III). После обезжелезивания вода обрабатывается озоном. Часть воды, прошедшей фильтры обезжелезивания, забирается с помощью насоса, подающего воду под необходимым напором в пневмогидравлический диспергатор газа. В данный диспергатор также подается озono-кислородная смесь от озонатора. После пневмогидравлического диспергатора газодводная эмульсия подается в трубопровод, где смешивается с основным потоком обезжелезенной воды. Затем весь поток озонированной воды попадает в контактные резервуары, обеспечивающие необходимое время контакта обрабатываемой воды с озоном. В деструкторе осуществляется разложение озона. После контактных резервуаров вода поступает в «мокрые деструкторы», где происходит деструкция озона, растворенного в воде. Затем вода поступает в резервуары чистой воды (РЧВ). Периодически скорые напорные фильтры промываются обратным током воды (снизу вверх). Воду для промывки берут из РЧВ и с помощью промывного насоса подают в нижнюю часть фильтров. Промывная вода из верхней части фильтров отводится в канализацию.

По разработанной технологии были выполнены расчеты и определены размеры сооружений, а по рассчитанным характеристикам подобрано необходимое оборудование.

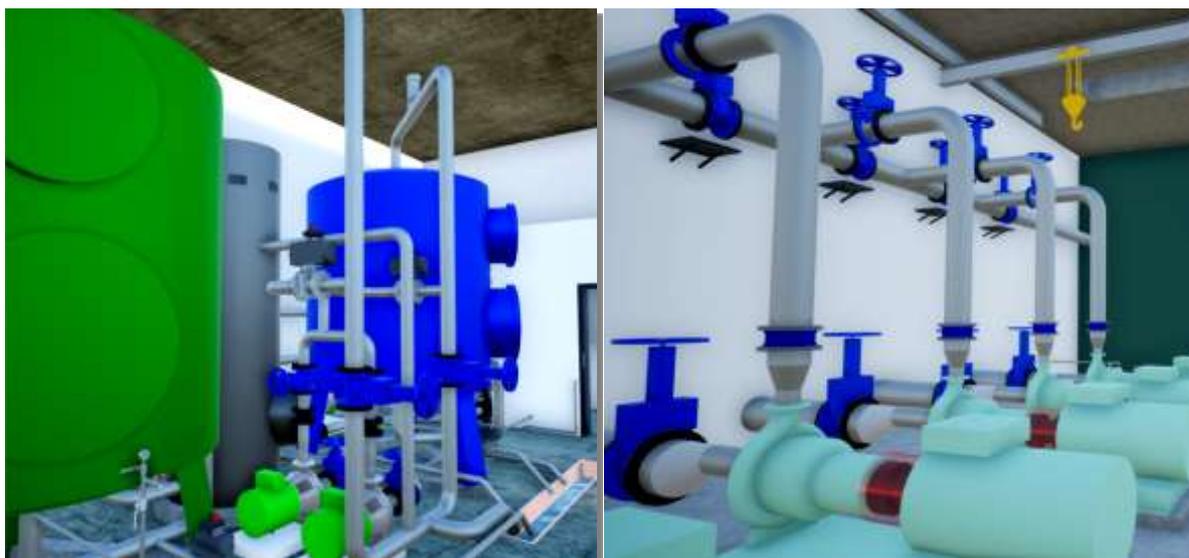
Основываясь на вышеперечисленные данные на базе программного комплекса Autodesk Revit разработана 3D-модель и запроектирована станция водоподготовки для промышленного предприятия. Станция водоподготовки представляет собой прямоугольное здание в плане с размерами 12,84 на 6,58 м (рисунок 1).



**Рисунок 1** – План здания станции водоподготовки

Внутри станции запроектировано все необходимое оборудование, которое включает артезианскую скважину, аэрационный бак, фильтры обезжелезивания, насосы подачи обезжелезенной воды на технологические нужды, промывные насосы, подводящие и отводящие коммуникации фильтров, оборудование для обеззараживания воды озонированием.

Модель подключения приборов и оборудования представлена на рисунке 2. Для реализации данного проекта в Autodesk Revit авторами были созданы семейства скорых напорных фильтров, аэрационных колонок, лотков, контактных резервуаров, деструкторов озона, озонаторов, концентраторов кислорода, газовых счетчиков и вантузов.



**Рисунок 2** – Модель здания станции водоподготовки

**Заключение.** На основе информационной модели получены архитектурно-строительные чертежи планов и разрезов здания. В ходе выполнения проекта были получены кроме того спецификации санитарно-технического оборудования, фасонных частей и трубопроводов, запроектированных на станции. Программный комплекс также позволяет получить и предварительные сметные расчеты по возведению станции водоподготовки.

Применение информационного моделирования сооружений позволяет получить информационную модель, благодаря которой сводятся к минимуму ошибки и неточности при проектировании сооружений водоснабжения и водоотведения. При необходимости корректировки проекта внесенные изменения в модели автоматически отображаются во всех спецификациях проекта, что, в свою очередь, снижает издержки при строительстве и проектировании.

Наличие 3D-модели значительно упрощает проектировочные и монтажные работы всех трубопроводов и оборудования на станции. Однако остается открытым вопрос нормирования данных проектов, так как для полноценного применения подобных технологий необходима тщательно проработанная нормативная база.

### Список цитированных источников

1. Статья - Что такое технология BIM? Ее применение в строительстве - <http://fb.ru/article/324833/что-такое-tehnologiya-bim-ee-primenenie-v-stoitelstve>.
2. Гримитлин, А.М. Энергетическое моделирование – инструмент повышения энергоэффективности зданий / А.М. Гримитлин, Денисихина Д.М. // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской научно-практической конференции; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – С. 93-97.
3. Андреюк, С. В. Моделирование процессов подготовки воды для технического и питьевого водоснабжения / С. В. Андреюк, М. А. Таратенкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2 (34). – С. 46–57. – DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-46-57.
4. Скрипник, А.В. Технологии информационного моделирования в водохозяйственном проектировании / А.В. Скрипник, Л.А. Беховых // Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. – Москва: Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. – 2019. – № 15. – С. 39–43.
5. Таратенкова, М.А. Применение информационного моделирования при проектировании внутренних инженерных систем / М.А. Таратенкова, И.А. Адамов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, 7-8 октября 2021 года, Брест, Республика Беларусь / ред. кол. А.А. Волчек, О.П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 303–310.
6. Адамов, И.А. Проектирование и моделирование систем водоснабжения и водоотведения / И.А. Адамов, М.А. Таратенкова // Сб. конкурсных науч. работ студентов и магистрантов / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест: Издательство БрГТУ, 2023.

## Оглавление

### СЕКЦИЯ 1

<b>ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД</b> .....	3
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОДОПОДГОТОВКИ И ВОДООЧИСТКИ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ <i>С. В. Андрееук, Б. Н. Житенев, Т. И. Акулич, Д. В. Каперейко</i> .....	4
КОНТАКТНО-СТАБИЛИЗАЦИОННЫЕ АЭРОТЕНКИ С МУЛЬТИСТРУЙНЫМИ АЭРАТОРАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД <i>С. Г. Белов, Е. И. Дмухайло, М. А. Таратенкова</i> .....	11
ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО БРИКЕТИРОВАННОГО ТОРФА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Б. Н. Житенёв, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук</i> .....	17
ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ <i>Б. Н. Житенёв, Е. С. Рыбак</i> .....	32
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СКРЫТЫХ УТЕЧЕК НА ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МИНСКА <i>Э. И. Михневич, Е. И. Ермакович</i> .....	46
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. АЛУШТА ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА <i>И. В. Николенко, Н. С. Мельникова, Э. А. Каримов</i> .....	54
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО МОЮЩЕГО РАСТВОРА РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>И. В. Николенко, С. И. Мовчан</i> .....	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ СВИНЦА ИЗ ПРОМЫВНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА <i>М. М. Рипная</i> .....	70
МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ВОДЫ <i>А. О. Сухова, И. В. Хорохорина, А. В. Нехорошева, Ю. С. Савченкова, А. А. Дубовицкий</i> .....	75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ <i>А. О. Сухова, И. В. Хорохорина, А. В. Нехорошева, Ю. С. Савченкова, А. Н. Корнеев</i> .....	80
К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДКА ПРОИЗВОДСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ЕГО УТИЛИЗАЦИИ <i>Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Т. И. Акулич</i> .....	85
К ВОПРОСУ ОСВЕТЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В СТАТИЧЕСКИХ ОСВЕТИТЕЛЯХ <i>Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Т. И. Акулич</i> .....	91
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ <i>Е. С. Велюго, В. Д. Ющенко</i> .....	95
<b>СЕКЦИЯ 2</b>	
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> .....	102
ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ <i>В. Д. Аверченкова, А. В. Козачек</i> .....	103
РАЗВИТИЕ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ <i>Е. Г. Беликова</i> .....	112
ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО- СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА <i>Н. Е. Беспалько, Д. В. Сорокин</i> .....	117
ПРОФИЛАКТИКА НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ –КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ И ЗДОРОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ <i>Н. Е. Беспалько, Е. В. Хапрова</i> .....	122
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД <i>Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота</i> .....	126

К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА <i>Э. А. Тур, С. В. Басов</i> .....	132
--	-----

### **СЕКЦИЯ 3**

<b>ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ..</b>	<b>139</b>
---	------------

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ УСТАНОВОК ВОДОПОДГОТОВКИ С НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ МЕМБРАНАМИ <i>В. Н. Ануфриев, А. С. Шпакова, Г. А. Волкова</i> .....	140
---	-----

АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ <i>А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева, Р. Н. Вострова, Г. И. Маматисаев</i> .....	145
--	-----

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ <i>М. А. Таратенкова, С. В. Андреюк, И. А. Адамов</i> .....	150
---	-----

Научное издание

# ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сборник научных статей  
Международной научно-практической конференции

26-27 октября 2023 г.

*Текст печатается в авторской редакции, пунктуации и орфографии*

Ответственный за выпуск: Андреюк С.В.

Редактор: Митлошук М.А.

Компьютерная верстка: Соколюк А. П.

Корректор: Волкова Г.А., Андреюк С.В.

---

ISBN 978-985-493607-9



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от  
16.10.2017 г. Подписано в печать 20.11.2023 г.

Гарнитура «TimesNewRoman». Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага «Performer». Уч. изд. л. 9,94. Усл. печ. л. 9,24.

Заказ № 1268. Тираж 30 экз. Отпечатано на ризографе  
Учреждения образования “Брестский государственный  
технический университет”. 224017, г. Брест,  
ул. Московская, 267.

---