



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 628.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028



АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Евгений Николаевич Неверов ¹, Екатерина Сергеевна Михайлова ²,
Ирина Вадимовна Тимошук ³, Роман Юрьевич Схаплок ⁴

^{1, 2, 3, 4, 5} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² e_s_mihaylova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>

³ irina190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

⁴ sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

Аннотация. С увеличением требований к соблюдению экологических норм и ростом объемов угольной добычи сегодня становится очевидно, что проблема утилизации угольных отходов приобретает всё более критический характер. Этот контекст требует разработки инновационных решений и их интеграции в существующие технологии для эффективного управления угольными отходами. В представленной статье рассмотрена не только классификация методов обработки сточных вод горной и угольной промышленности, но и предложен проект мобильной установки для очистки сточных вод данных предприятий. Определены основные технические аспекты данной установки, включая ее ключевые элементы, схему взаимодействия между ними, а также предложены технологические решения и возможные варианты работы. Внедрение такой установки в угольной промышленности не только позволит положительно оценить процессы очистки сточных вод, но и предоставит возможность рассмотреть меры по оптимизации использования ресурсов и снижению негативного влияния на биосферу.

Ключевые слова: угольные отходы, сточные воды, физико-химическая очистка, экологические стандарты, водоочистные сооружения, инновационные разработки.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15–2022- 1201 от 30.09.2022 г.

Для цитирования: Анализ проекта мобильной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий / Е. Н. Неверов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 191 – 199. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028, EDN: <https://elibrary.ru/HVUEQU>.

Original article

ANALYSIS OF THE PROJECT OF A MOBILE INSTALLATION OF PHYSICO-CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT OF COAL ENTERPRISES

Evgeny N. Neverov ¹, Ekaterina S. Mikhaylova ²,
Irina V. Timoshchuk ³, Roman Yu. Skhaplok ⁴

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

² e_s_mihaylova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>,

³ irina190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

© Неверов Е. Н., Михайлова Е. С., Тимошук И. В., Схаплок Р. Ю., 2024

⁴ sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

Abstract. *With the increasing requirements for compliance with environmental standards and the growth of coal mining, it is now becoming obvious that the problem of coal waste disposal is becoming more and more critical. This context requires the development of innovative solutions and their integration into existing technologies for effective management of coal waste. In the presented article, not only the classification of wastewater treatment methods in the mining and coal industries is considered, but also a project for a mobile wastewater treatment plant for these enterprises is proposed. The main technical aspects of this installation are defined, including its key elements, the scheme of interaction between them, as well as technological solutions and possible work options are proposed. The introduction of such an installation in the coal industry will not only allow a positive assessment of wastewater treatment processes, but also provide an opportunity to consider measures to optimize the use of resources and reduce the negative impact on the biosphere.*

Keywords: *coal waste, wastewater, physico-chemical treatment, environmental standards, water treatment plants, innovative developments.*

Acknowledgements *The research was carried out within the framework of a comprehensive scientific and technical program of a full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 05/11/2022 No.1144-r, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement No. 075-15-2022- 1201 dated 30.09.2022.*

For citation: E. N. Neverov, E. S. Mikhaylova, I. V. Timoshchuk, R. Yu. Skhaplok (2024). Analysis of the project of a mobile installation of physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 191-199. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/HVUEQU>.

ВВЕДЕНИЕ

Угольная промышленность является значимым сектором экономики, который объединяет множество различных видов предприятий, начиная от горнодобывающих шахт и завершая перерабатывающими фабриками и предприятиями машиностроения. Шахты и разрезы занимают добычей угольных пластов, в то время как обогатительные и брикетные фабрики осуществляют переработку сырья в конечные продукты. Машиностроительные и ремонтные заводы обеспечивают необходимое оборудование и услуги для поддержания работы угольных предприятий, а предприятия стройиндустрии и промышленного транспорта обеспечивают инфраструктуру и транспортные решения для перевозки и обработки угля.

В процессе своей деятельности каждое из угольных предприятий вырабатывает значительные объемы сточных вод, обладающих различным химическим составом и физико-химическими свойствами. Состав этих сточных вод зависит в значительной степени от характеристик добываемого и перерабатываемого угля, а также от применяемых технологических процессов и методов очистки.

Процесс добычи угля часто сопровождается откачкой воды из горных выработок для обеспечения безопасности и эффективности горных работ. На некоторых месторождениях с высоким уровнем водообильности используются методы предварительного осушения для создания благоприятных условий угледобычи.

Вода, откачиваемая с месторождений и поступающая на угольные предприятия, обычно рассматривается как сточная, поскольку она подвергается загрязнению при контакте с угольными пластами и промышленными процессами.

Данные откачиваемые сточные воды, хотя и имеют естественное происхождение, однако могут значительно отличаться по составу от природных водных источников из-за воздействия угольной деятельности. При добавлении химических реагентов, которые используются для выщелачивания, вымывания минеральных компонентов из горных пород, при процессах обогащения угля, наблюдается изменение химического состава воды.

Следовательно, эффективное управление сточными водами в угледобывающей промышленности требует разработки и внедрения прогрессивных технологий деонтаминации, способных удалять разнообразные загрязнения и обеспечивать соответствие строгим экологическим стандартам.

Цель работы заключается в исследовании и рекомендации к использованию эффективной технологии обработки сточных вод угольных предприятий с использованием мобильной установки, в том числе анализе основных технических аспектов установки, а также в оценке потенциала данного технологического решения для оптимизации использования ресурсов и снижения негативного влияния на биосферу в угольной индустрии.

АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сточные воды горнодобывающей про-

мышленности дифференцируют на следующие категории (рисунок 1).

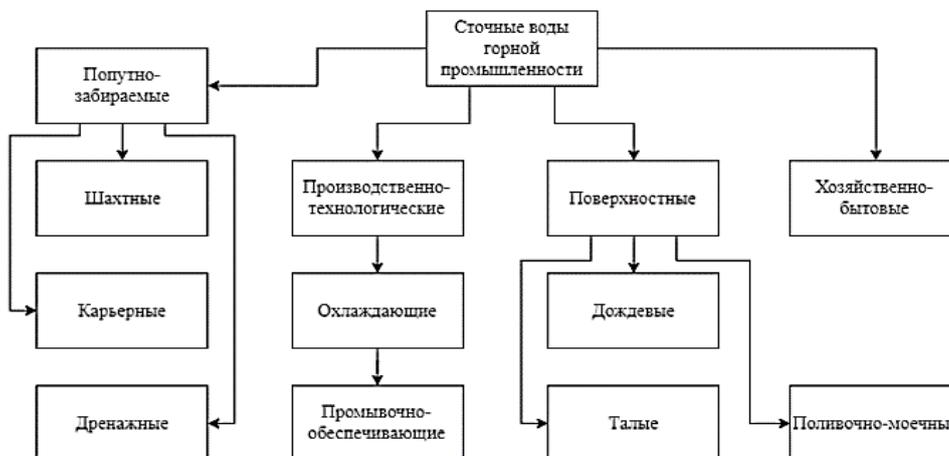


Рисунок 1 – Категории сточных вод горнодобывающей индустрии

Figure 1 – Categories of wastewater from the mining industry

К поверхностным сточным водам относят дождевые, талые и поливочно-мочечные. Дождевые стоки формируются атмосферными осадками - дождями, стекающими с территории промышленных площадок. Талые – при таянии снега или льда. Поливочно-мочечные стоки образуются при поливе территории с целью обеспыливания, санитарной уборки, орошения зеленых насаждений. Все виды поверхностных сточных вод загрязнены в той или иной степени и нуждаются в деkontаминации.

Производственно - технологические воды являются рабочей средой в технологических процессах. К таким технологическим процессам относят: мокрое обогащение углей и сланцев, гидродобычу, гидротранспорт, гидрозолоудаление, гальванические процессы в машиностроении и т.д. Охлаждающие воды образуются при охлаждении машин и аппаратов (кондиционеров, компрессоров, дегазационных установок), а также деталей машин при термообработке и т.д. Эти воды в основном имеют так называемые "температурные" загрязнения, их иначе называют "условно чистые". Они нуждаются в охлаждении и могут повторно использоваться в процессах. Промывочно-обеспыливающие воды формируются в результате промывки деталей и узлов машин на ремонтных заводах и мастерских, продувки котлоагрегатов, а также для удаления пыли на предприятиях. Все производственно-технологические сточные воды при их использовании и сбросе в водоемы требуют предварительной очистки.

Попутно забираемые сточные воды включают шахтные, карьерные и дренажные. Шахтные воды образуются в результате фильтрации подземных и поверхностных вод в подземные горные выработки. Проходя горные выработки, вода подвергается различного рода загрязнениям. Такая вода не может быть сброшена в водоемы без

очистки и использована для технического водоснабжения без соответствующей обработки. Карьерные воды образуются за счет поверхностных, а также подземных вод. Попавшая вода в горные выработки, подобно шахтной, загрязняется и должна подвергаться деkontаминации перед сбросом в водотоки или техническим водоснабжением. Дренажные воды формируются из поверхностных и подземных вод откачиваются на поверхность через дренажные горные выработки или сооружения с целью осушения шахтных или карьерных полей. Дренажные воды не имеют контакта с загрязняющими их объектами горнодобывающего производства и поэтому могут быть использованы в хозяйственно-бытовом и техническом водоснабжении как с деkontаминацией, так и без нее.

Хозяйственно - бытовые сточные воды образуются при работе санузлов, прачечных, от автомойки. Данные сточные воды также, как и выше рассмотренные, загрязнены и нуждаются в очистке.

Шахтные воды отличаются большим разнообразием химического состава, что вызывает необходимость их дифференциации по химическому составу для упрощения оценки питьевых, технических и ирригационных качеств, а также свойств, оказывающих отрицательное влияние на поверхностные и подземные водные источники. Известно, что суммарное содержание растворенных солей в шахтных водах находится в значительных пределах от 500 до 100 000 мг/л и выше.

Однако при анализе шахтных вод наиболее значимой и широко применяемой является следующая классификация, учитывающая уровень минерализации и особенности воды в контексте горных работ и промышленных процессов.

Дифференциация сточных вод по степени минерализации включает:

– рассолы - содержат более 50 грамм солей на литр;

- сильносоленые воды - содержат от 25 до 50 грамм солей на литр;
- соленые воды: содержат от 10 до 25 грамм солей на литр;
- сильносолончатые воды - содержат от 5 до 10 грамм солей на литр;
- солончатые воды - содержат от 3 до 5 грамм солей на литр;

- слабосолончатые воды - содержат от 1 до 3 грамм солей на литр;
- пресные воды - содержат менее 1 грамма солей на литр.

Шахтные воды разделяются на три характерных вида исходя из их состава (рис. 2):



Рисунок 2 – Классификация шахтных вод
Figure 2 – Classification of mine waters

Степень кислотности шахтных вод определяется наличием свободной серной кислоты и выражается через концентрацию ионов водорода (pH). Около 10 % шахтных вод относят к кислым, в том числе 2,5 % с минерализацией более 3 г/л и 6,0 % с минерализацией более 5 г/л. В целом около 50 % шахтных вод характеризуются минерализацией более 1 г/л.

Наличие кислых шахтных вод показывает, что нельзя отождествлять подземные и шахтные воды. Кислых подземных вод в районе угольных месторождений не существует, в то время как кислые шахтные воды образуются преимущественно в старых в выработках вследствие окисления сульфидов серы (в виде пирита) под действием воды и кислорода воздуха. Они обычно содержат бурую взвешенную муть - окись и закись железа.

Шахтные воды отличаются большим разнообразием химического состава, непригодны для питья и обладают свойствами, исключающими их использование в технических целях без предварительной обработки.

Карьерные воды образуются при открытой выемке угля, а в их формировании участвуют поверхностные стоки, поверхностные водоемы и водотоки, а также подземные воды. В период весенних и осенних паводков при достаточно больших площадях водосбора преобладающее значение имеют поверхностные стоки, а в сухие периоды года - подземные воды.

При добыче угля открытым способом часто используют взрывные работы, которые в условиях обводненности вскрышных пород не только усложняются и удорожаются, но и оказывают существенное влияние на качество карьерных вод.

В настоящее время объемы взрывания обводнённых пород достигают 35 % от общего количества вскрыши, что в объеме аммиачно-

селитренных взрывчатых веществ составляет до 3,5 тыс. тонн в год, которые при растворении в обводнённых условиях разрезов оказывают влияние на контаминацию подземных вод азотистыми соединениями. У карьерных вод относительно шахтных вод минимальные различия по составу и показателям загрязнения, к исключению относится показатель кислотности pH.

Основные загрязнения сточных вод угольных предприятий можно разделить на три группы:

1. «Органические загрязнения», которые выражены показателями: БПКполн, нефтепродукты, фенол.
2. «Металлы»: железо, цинк, хром, марганец, кальций, магний.
3. «Соли»: нитраты, нитриты, фосфаты, сульфаты, хлориды.

Загрязнители 1-й и 2-й группы хорошо удаляются из сточных вод методами коагуляции, флотации и сорбции. Загрязнители 3-й группы не коагулируются, за исключением фосфатов, и, соответственно, могут быть удалены только с использованием технологии обратного осмоса.

Таким образом, в состав пилотной установки для очистки сточных вод угледобывающей промышленности должны входить этапы реагентной обработки, флотации, сорбции и обратного осмоса.

На основе анализа состава сточных вод была разработана технологическая схема пилотной установки физико-химической очистки (ФХО) сточных вод угольных предприятий (рис. 3).

Сточная вода поступает в гидроциклон, который позволяет произвести очистку воды от механических примесей защищая насосную станцию первого подъёма от увеличенного износа всей системы.

Сточная вода накапливается в емкости объемом 1,5 м³ (поз. П1), которая обеспечивает

АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

равномерную подачу сточных вод на установку физико-химической очистки. Накопительная емкость (поз. П1), оборудована гидростатическим датчиком уровня, который включа-

ет/отключает насос первого подъема (поз. П2), при достижении определенного уровня сточных вод, задаваемого со щита управления.

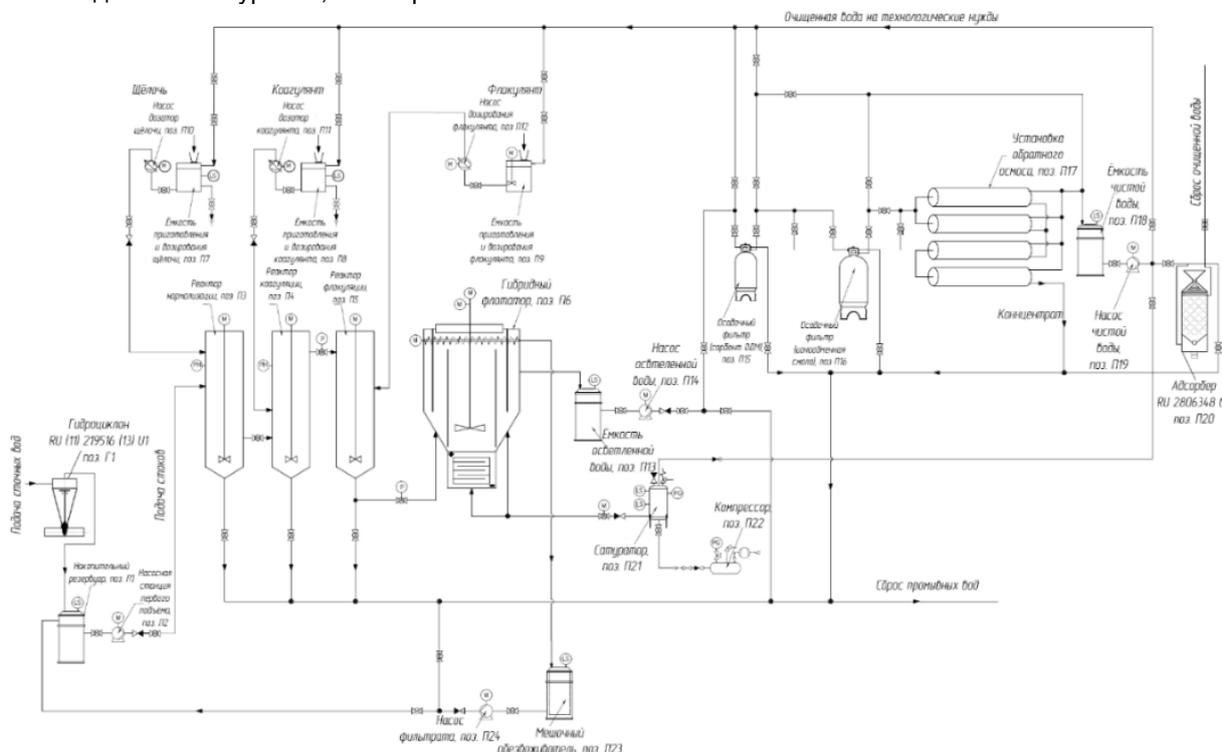


Рисунок 3 – Технологическая схема пилотной установки физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий

Figure 3 – Technological scheme of a pilot plant for physico-chemical wastewater treatment of coal enterprises

Далее сточные воды подаются в реактор гидратообразования (поз. П10), оборудованный насосом дозатором (поз. П10), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется гидроксид натрия из емкости приготовления раствора (поз. П7), оборудованной ультразвуковым датчиком уровня.

При введении щелочи достигается оптимальное значение pH для удаления тяжелых металлов, образуются нерастворимые гидроксиды.

Значения pH гидратообразования металлов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения pH осаждения гидроксидов металлов

Table 1 – pH values of metal hydroxide deposition

Вид катиона	Значения pH	
	начало осаждения	полное осаждение
Цинк Zn^{2+}	6,4	9,3
Медь Cu^{2+}	5,5	9,5
Железо Fe^{3+}	2,3	4,1

Далее сточные воды самотеком поступают в реактор коагуляции (поз. П14), оборудованный насосом дозатором (поз. П11), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется коагулянт.

Используя соли алюминия в качестве коа-

гулянта, в результате реакции гидролиза образуется гидроксид с малой растворимостью, молекулы гидроксида алюминия укрупняются в частицы аморфной фазы в результате агрегации, которые адсорбируют разные вещества, такие как коллоидные, мелкодисперсные и взвешенные, в результате формируется осадок.

Далее сточные воды самотеком поступают в реактор флокуляции (поз. П15), оборудованный насосом дозатором (поз. П12), и датчиком pH. В реактор автоматически дозируется флокулянт. Добавление флокулянта способствует повышению плотности и прочности образующихся хлопьев.

Далее обработанная вода поступает во флотатор (поз. П6), оборудованный электрохимическим реактором и сатуратором (поз. П21).

Электрохимический реактор обеспечивает образование газонасыщенных флокул, которые самостоятельно поднимаются на поверхность в виде шламового слоя.

Шлам удаляется с помощью скребкового механизма и направляется в мешочный обезвоживатель (поз. П23), оборудованный насосом сухой установки (поз. П24), для возврата фильтра в накопительную емкость (поз. П1).

Далее условно чистая вода накапливается в емкости осветленной воды (поз. П13), объе-

мом 120 литров, которая оборудована двумя поплавковыми датчиками уровня.

После наполнения емкости по датчику уровня включается центробежный насос, который направляет осветленную воду на блок фильтрации и сорбции.

Блок состоит из четырех ступеней фильтрации:

1. Колонна с сорбционной загрузкой (поз. П15);
2. Колонна с ионообменной смолой (поз. П16);
3. Адсорбер (патент RU 2806348 С1) (поз. П20);
4. Установка обратного осмоса (поз. П17).



Рисунок 4 – Пилотная установка ФХО
Figure 4– Pilot installation of the FCO



Рисунок 5 – Пилотная установка ФХО
Figure 5 – Pilot installation of the FCO

Проведение опытно-промышленных испытаний на реальном стоке позволяют получить все необходимые данные о работе очистных сооружений предприятия до того, как они будут построены и, самое главное, нивелировать риск

того, что промышленное оборудование локальных очистных сооружений не сможет обеспечить требуемую степень очистки.

Контейнер также оборудован системами освещения, отопления и вентиляции. Вид внутреннего устройства представлен на рис. 3 и 4 «Пилотная установка ФХО».

Пилотная установка размещается в утепленном 20-футовом контейнере, что позволяет проводить испытания практически в любые погодные условия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения предельного значения снижения концентраций загрязняющих веществ после всех ступеней физико-химической очистки, имеется возможность после каждой ступени очистки отбирать пробы, а конкретнее:

- После реагентной обработки и флотации (позиции П3, П4, П5 и П6);
- После фильтрации на сорбенте ОДМ-2Ф (поз. П15);
- После ионного обмена на катионообменной смоле (поз. П16);
- После обратного осмоса (поз. П17);
- После адсорбера (поз. П20).

В состав установки входят ступени фильтрации и сорбции, которые требуют периодическую промывку, вследствие чего образуются промывные воды. Таким образом, с целью оценки возможности возврата промывных вод в голову процесса, испытания можно разделить на 2 этапа:

1. без возврата промывных вод в голову процесса;
2. с возвратом промывных вод в голову процесса;

В процессе исследования определены ориентировочные операционные издержки на очистку 1 м³ сточных вод при различных технологических схемах.

1. Концентрации и доза рабочих растворов реагентов определены в ходе лабораторных испытаний:

- 2 % раствор гидроксида натрия NaOH: 0,12 л/м³;
- 2 % раствор коагулянта UltraPAC 30-V-2: 1 л/м³;
- 0,1 % раствор флокулянта Zetag 4125: 0,3 л/м³;

2. Объемы сорбента и активного угля для осадочных фильтров рассчитаны из условия производительности оборудования 1000 м³ в сутки или 42 м³ в час:

- объем сорбента ОДМ-2Ф 3000 литров, что в денежном выражении составляет 150 тыс. руб., периодичность замены 1 раз в 3 года;
- объем активного угля 3000 литров, что в денежном выражении составляет 750 тыс. руб., периодичность замены 1 раз в 3 года;

Рассчитаем объем очищенной воды за 3 года:

АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

$$1000 \text{ м}^3/\text{сутки} \times 365 \text{ суток} \times 3 \text{ года} \\ = 1\,095\,000 \text{ м}^3$$

Рассчитаем удельные эксплуатационные расходы на замену сорбента и угля:

- сорбент ОДМ-2Ф: 0,14 руб./м³;
- активный уголь: 0,68 руб./м³.

3. Стоимость замены мембран обратного осмоса на установке производительностью 1000

Таблица 2 – Расход реагентов

Table 2 – Reagent consumption

Расходные материалы	Щелочь NaOH	Коагулянт UltraPAC	Флокулянт Zetag 4125	Сорбент ОДМ-2Ф	Уголь	Мембраны
на 1 л	2,4 мг	20 мг	0,3 мг	-	-	-
на м ³	2,4 г	20 г	0,3 г	-	-	-
на 1000 м ³	2,4 кг	20 кг	0,3 кг	-	-	-
стоимость за 1 кг	380 руб./кг	200 руб./кг	314 руб./кг	42 руб./л	220 руб./л	-
удельная стоимость на м ³	0,92 руб./м ³	4 руб./м ³	0,1 руб./м ³	0,14 руб./м ³	0,68 руб./м ³	5,6 руб./м ³

Предусматриваемый уровень автоматизации позволяет эксплуатировать очистные сооружения с минимальным использованием ручного труда обслуживающего персонала. Штатная численность персонала очистных сооружений принята на основании нормативов численности рабочих по обслуживанию единицы оборудования. Фактическая численность персонала определяется с учетом сложившихся конкретных условий эксплуатации установки по очистке сточных вод. Диспетчерский пункт располагается на территории предприятия.

Таблица 3 – Электрические нагрузки

Table 3 – Electrical loads

№	Наименование потребителей	Установленная мощность	Коэффициент спроса	Расчетная мощность
		Р _у , кВт	К _с	Р _р =Р _у *К _с , кВт
1	pH-метр стационарный MAPK- 902A/1	0,01	1,0	0,01
2	Насос-дозатор VMS MF 0215 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
3	Насос-дозатор VMS MF 0215 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
4	Насос-дозатор VCO 0116 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
5	Насос-дозатор VCO 0116 FP 230VAC	0,013	1,0	0,013
6	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0
7	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0,18
8	Мотор-редуктор NMRW 030-54- FA1-0.18-B3	0,18	1,0	0,18
9	Мотор-редуктор DRW 030/063-900- 1.5-FA1-0.12-AS1 (f.s.=0.9)	0,12	0,3	0,18
10	Мотор-редуктор NMRW 030-23-FA1-0.06-B3	0,06	1,0	0,036
11	Мотор-редуктор NMRW 040-57- FA1-0.25-B3	0,25	0,3	0,06
12	Выпрямитель UNIV-50A/12B (электронный реверс, интерфейс RS-485)	0,12	1,0	0,075
13	Насос CDM1-7FSWPC	0,37	0,3	0,12
14	Насос CHLF2-40LSWSC	0,55	0,3	0,111
15	Насос CHLF2-40LSWSC	0,55	0,3	0,165
16	Насос CHLF2	1,1	1	1,1
17	Насос PK 60 41PNK60A	0,37	0,3	0,165
Всего		4,092	0,75	2,545

м³ в сутки или 42 м³ в час составляет 6 120 000 руб., периодичность замены 1 раз в 3 года.

Таким образом, удельные эксплуатационные расходы на замену мембран обратного осмоса составят 5,6 руб./м³.

Общий расход реагентов и удельные затраты на 1 м³ очищенной воды приведены в таблице 2.

Максимальное необходимое количество персонала для обслуживания площадки очистных сооружений в соответствии с группой санитарной характеристики производственного процесса является 6 человек со следующими должностями: эколог (1 чел.), оператор ОС, слесарь АВП (аварийно-восстановительных работ) / электромонтер – 1 чел. со 2 гр. допуска по электробезопасности.

Были произведены расчеты удельных электрических нагрузок пилотной установки.

Средняя стоимость электроэнергии, согласно предоставленным данным, составляет 5,5 руб./кВт*ч с НДС.

Общие затраты электроэнергии на очистку 1 м³ технической воды с учетом коэффициента спроса составят 2,55 кВт/м³.

Удельные затраты на электроэнергию составят: 14 руб./м³ или 14 000 руб. в сутки или 5 110 000 руб./год при производительности локальных очистных сооружений 1000 м³ в сутки.

Себестоимость очистки 1 м³ сточной воды складывается из суммарных затрат на расходные материалы, электроэнергию и оплату труда персонала станции физико-химической очистки сточных вод угольных предприятий и составляет: 10,76 руб./м³ + 8,5 руб./м³ + 14 руб./м³ = 33,3руб./м³ в сутки при производительности локальных очистных сооружений 1000 м³ в сутки. Общие эксплуатационные затраты на обработку сточной воды, при средней производительности локальных очистных сооружений 1000 м³/сутки составят 33 300,00 руб /сут. или 12 154 500,00 руб/год.

Себестоимость очистки 1 м³ сточной воды может быть снижена за счет применения оптимальной схемы очистки воды: рекомендовано блок обратного осмоса консервировать, данная ступень очистки может быть активирована при залповых максимальных концентрациях и проскоке загрязняющих веществ. Основная очистка и удаление большей части контаминантов производится на стадии физико-химической очистки и фильтрации. Однако, без ступени обратного осмоса невозможно достигнуть требуемой степени очистки сточных вод от солей (сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, фосфатов) в соответствии с нормами ПДК.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная технологическая схема позволяет достичь снижения содержания контаминантов в стоках ниже норм ПДК, и может быть оптимизирована использованием ступеней очистки выборочно с учетом сезонности и состава сточных вод исследуемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неверов, Е. Н. Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки / Е. Н. Неверов, А. К. Горелкина, Р. Ю. Схаплок // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 215-225. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30.
2. Гидроциклон повышенной эффективности: пат. 219222. Рос. Федерация № 2023105915 ; заявл. 14.03.2023; опубл. 05.07.2023, Бюл. № 19.
3. Малолетнев, А. С. Получение из углеотходов подмосковного угольного бассейна коагулянта для очистки воды / А. С. Малолетнев, Л. А. Зекель, Н. В. Краснобаева, М. Я. Шпирт, К. И. Наумов, И. М. Шведов // Химия твёрдого топлива. 2010. №6. С. 17–21.

4. Неверов, Е.Н. Проект установки для очистки шахтных вод угольного разреза / Е.Н. Неверов, А.К. Горелкина, Е.С. Михайлова, И.В. Тимощук, Р.Ю. Схаплок // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 169-178. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020.

5. Очистка сточных вод угледобывающих предприятий / А. К. Горелкина, Е. С. Михайлова, И. В. Тимощук, Л.А. Иванова, Е.Н. Неверов // Уголь. – 2023. № S12(1175). С. 63-66. DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

6. Роствинская В.С. Изучение методов очистки сточных вод // Трибуна ученого. 2020. № 7. С. 78–84.

7. Иванов Д. Б. Методы очистки нефтесодержащих сточных вод // Наукосфера. 2021. № 7-1. С. 175-180.

8. Бузин И.С. Современные методы очистки сточных вод // MSULab. URL : <https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennye-metody-ochistki-stochnykh-vod/> (дата обращения: 22.04.2024).

9. Горелкина А.К. Серосодержащие загрязнители и способы снижения их концентрации / А.К. Горелкина, И.В. Тимощук, Е.Н. Неверов, Н.С. Голубева, Л.А. Иванова// Ползуновский вестник. – 2023. № 4. С. 244-248. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031.

10. Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на компактных установках / Ф.А. Афанасьева, А.П. Иванов, А.Е. Ловцов // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 34–39.

Информация об авторах

Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

Е. С. Михайлова кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, директор Института НБИКС технологий Кемеровского государственного университета.

И. В. Тимощук – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

Р. Ю. Схаплок – магистрант, лаборант-исследователь "Молодежной лаборатории фундаментальных исследований физико-химических методов очистки воды" Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Neverov, E.N., Gorelkina, A.K., & Skhaplok, R.Yu. (2023). Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 215-225. (In Russ.). DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30.
2. High-efficiency hydrocyclone: pat. 219222.

АНАЛИЗ ПРОЕКТА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ros. Federation No. 2023105915 ; application no. 03/14/2023; publ. 07/05/2023, Bul. no. 19.

3. Maloletnev, A.S., Zekel', L.A., Krasnobaeva, N.V., Shpirt, M.Y., Naumov, K.I., & Shvedov, I.M. (2010). Preparation of a coagulant for water treatment from waste coal from the moscow coal basin. *Solid fuel chemistry*, 44(6). 382-386. (In Russ.).

4. Neverov, E.N., Gorelkina, A.K., Mikhailova, E.S., Tymoshchuk, I.V., & Shaplok, R.Yu. (2024). The project of an installation for cleaning mine waters of a coal mine. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 169-178. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020.

5. Gorelkina, A.K., Mikhaylova, E.S., Tymoshchuk, I.V., Ivanova, L.A., & Neverov, E.N. (2023). Wastewater treatment of coal mining enterprises. *Ugol*, S12(1175). 63-66 (In Russ.). DOI 10.18796/0041-5790-2023-S12-63-66.

6. Rostvinskaya, V.L. (2020). Study of wastewater treatment methods. *Tribune of the scientist*, (7), 78–84. (In Russ.).

7. Ivanov, D.B., & Uraleva, A.I. (2021). Methods of purification of oily wastewater. *Naukosfera*, (7-1). 175-180. (In Russ.).

8. Buzin, I.S. (2022). Sovremennyye metody ochistki stochnykh vod. Retrieved from <https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennyye-metody-ochistki-stochnykh-vod/> (In Russ.).

9. Gorelkina, A.K., Timoshchuk, I.V., Neverov, E.N., Golubeva, N.S. & Ivanova, L.A. (2023). Sulfur-

containing pollutants and ways to reduce their concentration. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 244-248. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031.

10. Afanasieva, A.F., Ivanov, A.P., & Lovtsov, A.E. (2003). Purification of domestic wastewater in compact installations. *Water supply and sanitary engineering*. (11), 34-39 (In Russ.).

Information about the authors

E. N. Neverov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.

E. S. Mikhaylova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Director of the Institute of NBICS Technologies of Kemerovo State University.

I. V. Timoshchuk – is a Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

R. Yu. Skhaplok – Master's student, laboratory researcher at the Youth Laboratory for Fundamental Research of Physical and Chemical Methods of Water Purification at Kemerovo State University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.