



Научная статья

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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.035



ПРИМЕНЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФЛОТАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫЧИ

Евгений Николаевич Неверов ¹, Алёна Константиновна Горелкина ²,
Ирина Вадимовна Тимошук ³, Людмила Анатольевна Иванова ⁴,
Анатолий Леонидович Майтаков ⁵

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

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

² alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

³ irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

⁴ lyuda_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

⁵ may585417@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью эффективной очистки сточных вод угледобывающих предприятий, поскольку их состав содержит значительное количество органических и неорганических загрязнений. В условиях ужесточения экологических требований и увеличения объемов добычи угля традиционные методы очистки не обеспечивают достаточную степень очистки и требуют совершенствования. В данной статье проведен анализ технологии очистки сточных вод с использованием напорного флотатора, который позволяет значительно повысить эффективность удаления загрязняющих веществ с рассмотрением возможности применения очищенных сточных вод в АПК. Представлена технологическая схема очистки, включающая основные и дополнительные этапы. Рассмотрены принципы работы напорного флотатора, его ключевые конструктивные особенности и механизмы удаления примесей. Проведена оценка эффективности данного метода на основе экспериментальных данных, выявлены оптимальные параметры работы оборудования, позволяющие минимизировать содержание взвешенных частиц и нефтепродуктов в очищенной воде до параметров позволяющих использовать очищенную воду в некоторых секторах АПК. Внедрение данной технологии позволит оптимизировать водоочистные процессы, снизить нагрузку на окружающую среду и повысить экологическую безопасность угольной промышленности.

Ключевые слова: Агропромышленный комплекс, охрана окружающей среды, 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: Применение в агропромышленном комплексе схемы на основе флотатора при очистке сточных вод угледобычи / Е. Н. Неверов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2025. № 4, С. 203–211. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.035. EDN: <https://elibrary.ru/QHURJV>.

Original article

APPLICATION IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX SCHEMES BASED ON A FLOTATION DEVICE FOR COAL MINING WASTEWATER TREATMENT

Evgeny N. Neverov ¹, Alena K. Gorelkina²,
Irina V. Tymoshchuk ³, Lyudmila A. Ivanova ⁴, Anatoly L. Maytakov ⁵

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

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

² alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

³ irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

© Неверов Е. Н., Горелкина А. Н., Тимошук И. В., Иванова Л. А., Майтаков А. Л., 2025

⁴ lyuda_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

⁵ may585417@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Abstract. The relevance of the study is due to the need for effective wastewater treatment of coal mining enterprises, since their composition contains a significant amount of organic and inorganic pollutants. In the context of stricter environmental requirements and an increase in coal production, traditional purification methods do not provide a sufficient degree of purification and require improvement. This article analyzes wastewater treatment technology using a pressure flotation device, which significantly improves the efficiency of pollutant removal, considering the possibility of using treated wastewater in agriculture. The technological scheme of cleaning is presented, including the main and additional stages. The principles of operation of a pressure flotation device, its key design features and mechanisms for removing impurities are considered. The effectiveness of this method was evaluated based on experimental data, and optimal operating parameters of the equipment were identified, allowing minimizing the content of suspended particles and petroleum products in purified water to the parameters allowing the use of purified water in some sectors of the agroindustrial complex. The introduction of this technology will optimize water treatment processes, reduce the burden on the environment and increase the environmental safety of the coal industry.

Keywords: Agro-industrial complex, environmental protection, 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: Application in agro-industrial complex schemes based on a flotation device for coal mining wastewater treatment *Polzunovskiy vestnik*, (4), 203-211. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.035. EDN: <https://elibrary.ru/QHURJV>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие угледобывающей промышленности сопровождается образованием значительных объемов сточных вод, содержащих широкий спектр загрязняющих веществ, включая взвешенные частицы, нефтепродукты, соли тяжелых металлов и органические соединения. В условиях ужесточения экологических требований очистка таких сточных вод становится приоритетной задачей для обеспечения рационального водопользования и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Одним из перспективных методов глубокой очистки сточных вод является напорная флотация, обеспечивающая эффективное удаление загрязняющих веществ за счет образования мелкодисперсных пузырьков воздуха и их взаимодействия с частицами загрязнений. [1-4]

Из обзора литературы следует, что в настоящее время широко применяются различные методы очистки сточных вод угледобычи, включая механические, химические, биологические и комбинированные технологии. Однако традиционные методы, такие как отстаивание и коагуляция, имеют ограниченную эффективность при удалении мелкодисперсных и гидрофобных загрязнений. Напорные флотаторы уже успешно применяются в ряде отраслей, включая нефтепереработку и пищевую промышленность, но их использование в угледобывающей промышленности остается недостаточно изученным. Это требует детального анализа эффективности данного метода в условиях специфического состава сточных вод угледобычи. [5-9]

Постановка исследования заключается в необходимости разработки и анализа технологической схемы очистки сточных вод угледобычи на основе напорного флотатора, которая позволит повысить степень очистки и минимизировать экологические риски.

Цель исследования – оценка эффективности применения напорного флотатора для очистки сточных вод угледобывающих предприятий и разработка технологической схемы на его основе с рассмотрением возможности применения очищенных сточных вод в АПК.

Задачи исследования:

- Провести анализ состава сточных вод предприятий по добыче угля.
- Разработать технологическую схему очистки сточных вод с использованием напорного флотатора.
- Оценить эффективность предложенной схемы и определить оптимальные параметры работы оборудования.

Результаты исследования позволят обосновать применение напорного флотатора в угледобывающей промышленности и разработать эффективную систему очистки с возможностью применения в агропромышленном комплексе, соответствующую современным экологическим стандартам.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Формирование сточных вод осуществляется практически на всех этапах технологического процесса добычи угля.

По степени загрязнения сточные воды разделяются на неочищенные (совсем не очищаемые от загрязняющих веществ), недостаточно очищенные (очищенные, но не доведенные до качества, соответствующего правилам отведения сточных вод), нормативно очищенные (сточные воды, отведение которых не приводит к нарушению норм качества воды в водном объекте).

К сточным водам, образующимся на территории угольных разрезов, относят карьерные, шахтные, дренажные; хозяйственно-бытовые сточные воды и поверхностные стоки с территорий (дождевые и талые). Состав шахтных и карьерных вод изменяется в широком диапазоне в зависимости от горно-геологических, гидрологических и технологических условий. Дренажные воды в большинстве случаев относятся к нормативно-чистым.

Шахтные и карьерные воды составляют более 90 % от массы сточных вод горных предприятий. Они содержат взвешенные вещества (неорганическую пыль), нефтепродукты, нитриты и нитраты, сульфаты, железо,

ПРИМЕНЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФЛОТАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫЧИ

марганец, цинк. Большой объем этого типа вод объясняется их формированием за счет поверхностного, грунтового и подземного стока. При этом под шахтами и разрезами формируются депрессионные воронки, в которые собираются подземные и поверхностные воды с большой территории. Источником поступления органических веществ могут быть частицы угля, минеральные масла, применяемые для смазки машин и механизмов. Эти загрязнения находятся в сточных водах в растворенном и взвешенном состоянии.

Наличие в воде взвешенных веществ, нитритов и нитратов обусловлено техническими факторами: проведение взрывных и погрузочно-разгрузочных работ, распыление мелкодисперсных минеральных фракций при транспортировании. В горнодобывающей промышленности при добыче руды открытым способом с применением буровзрывных работ формируются карьерные и дренажные воды, загрязненные неорганическими соединениями азота (ионы аммония, нитрит- и нитрат-ионы), представляющими продукты разложения и неполного расходования взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры. Сброс сточных карьерных вод в открытые водоемы приводит к их эвтрофикации, провоцирует активное развитие микрофлоры, усиливает анаэробные процессы в донном грунте, способствует интенсивному накоплению продуктов распада органических веществ, таких как сероводород и аммиак, что приводит к гибели гидробионтов, утрате их рекреационной функции.

Увеличение концентрации нитратных ионов наблюдается в летнее время в период массового отмирания фитопланктона и высокой активности нитрификаторов. Другим важным источником обогащения поверхностных вод нитратами являются образующиеся при атмосферных электрических разрядах окислы азота, которые после поглощения атмосферными водами попадают на земную поверхность. Содержание нитратов в атмосферных осадках достигает нередко 1 мг. Нитраты являются конечным продуктом биохимического окисления аммиака, образующегося главным образом в результате распада белковых веществ. В поверхностных водах нитраты обычно присутствуют в заметных количествах за исключением периода интенсивного развития фитопланктона в водоемах, когда содержание нитратов может падать до крайне низких значений.

Хлориды в воде могут быть минерального и органического происхождения. Хлориды органического происхождения образуются в воде при разложении сточных вод. На органическое происхождение хлоридов в воде указывают повышенная окисляемость, наличие аммиака, нитритов и нитратов. Хлориды также попадают в воду с промышленными и бытовыми стоками, так как хлор и его соединения широко используются для обеззараживания стоков. Установлено, что большие концентрации хлоридов нарушают активность микроорганизмов. При высокой концентрации хлоридов, попадающим в резервуар со сточными водами, концентрация активного осадка сокращается более чем в 2 раза.

В случае с открытыми горными работами сульфаты вымываются из горных пород и искусственно в сточные воды не привносятся.

Одним из значительных загрязнений сточных вод, в результате работы угольных предприятий, является загрязнение этих вод маслами и нефтепродуктами. К нефтепродуктам относят неполярные и малополярные соединения, растворимые в гексане. В это определение входят практически все топлива, раство-

рители и смазочные масла, кроме тяжелых смол и асфальтенов нефти и битумов. Основные товарные виды жидких нефтепродуктов - углеводородные фракции, получаемые из нефти в процессе перегонки и вторичной переработки: бензины (C4–C16, т. кип. 40–200°C), керосины (C12–C16, 200–300°C), дизельные топлива (C16–C20, 300–400°C), котельные топлива, масла разнообразного назначения, мазуты. Основные компоненты этих нефтепродуктов – углеводороды. Наряду с углеводородами в нефтепродуктах, как и в нефтях, содержатся соединения с атомами S, N и O. Помимо этого постоянными компонентами товарных нефтепродуктов являются различные добавки, улучшающие их эксплуатационные свойства.

Водообильность шахт определяется климатическими и гидрологическими условиями месторождения, глубиной разработки, схемой вскрытия и отработки шахтного поля, системой разработки, способом управления кровлей и другими горно-геологическими и горнотехническими факторами. Притоки воды в шахты, в зависимости от этих факторов, изменяются в очень широких пределах – от 10 до 4000 м³/ч, а коэффициент водообильности – от 0,3 до 20 м³/т.

По абсолютной величине водопритоков шахты Сибирского региона относятся к группе обводненных и весьма обводненных. Величина притоков воды на большинстве шахт не остается постоянной в течение года. Заметное увеличение притоков (до 1,5-2 раз) наблюдается в весенний период, что связано с таянием снега, и в период интенсивного выпадения дождей. Превышение максимальных притоков над нормальными притоками тем больше, чем меньше глубина разработки и теснее связь подземных водоносных горизонтов с поверхностными водами.

Шахтные, карьерные и дренажные воды подразделяются по значению pH: нейтральные (pH = 6,5 – 8,5); кислые (pH < 6,5) и щелочные (pH > 8,5).

По степени минерализации различают пресные (содержание сухого остатка до 1 г/дм³), слабосоленые (1 – 3 г/дм³), соленые (3 – 5 г/дм³), сильно соленые (5 – 10 г/дм³), соленые (10 – 25 г/дм³), сильно соленые (25 – 50 г/дм³) воды, а также рассолы – более 50 г/дм³. Чем выше минерализация шахтных, карьерных и дренажных вод, тем выше их жесткость.

Содержание взвешенных веществ в шахтных и карьерных водах обычно не превышает 1000 мг/л, а нефтепродуктов от следов до 0,2 – 0,8 мг/л и выше.

Усредненный состав сточных вод предприятий по добыче угля открытым способом, расположенных на территории Кемеровской области -Кузбасса, полученный на основе данных количественного анализа сточных вод, проведенного аккредитованной лабораторией в 2022-2023 годах, представлен в таблице 1.

Для выбора оптимального оборудования и разработки эффективной технологической схемы очистки необходимо учитывать состав сточных вод, их физико-химические характеристики и концентрацию загрязняющих веществ. Анализ полученных данных позволяет определить ключевые параметры, влияющие на выбор метода очистки, а также подобрать оборудование, наиболее соответствующее условиям эксплуатации. На основании этих данных проводится обоснование выбора оборудования, его конфигурации и технологической эффективности.

Оборудование поставляется в полной заводской готовности, что обеспечивает возможность его оперативного монтажа и ввода в эксплуатацию без необходимости дополнительных доработок.

Таблица 1 – Состав сточных вод / Table 1 – Wastewater composition

Показатели	Единица измерения	ПДК	Максимум
Аммоний-ионы*	мг/дм ³	0,5	до 3 ПДК
БПКполное*	мгО ₂ /дм ³	3,0	менее 3
Водородный показатель	ед./рН	6,5-8,5	6,8-8,2
Взвешенные вещества	мг/дм ³	10,0	до 12 ПДК
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	менее 0,05
Нитрат-ионы	мг/дм ³	40	до 3 ПДК
Нитрит-ионы	мг/дм ³	0,08	до 9 ПДК
Сульфат-ионы	мг/дм ³	100	до 8 ПДК
Сухой остаток	мг/дм ³	1500	менее 1500
Фосфор общий	мг/дм ³	0,2	менее 0,2
Фенол	мг/дм ³	0,001	менее 0,001
Цветность	градус цветности	20	менее 10
Железо	мг/дм ³	0,1	до 35 ПДК
Железо растворенное	мг/дм ³	0,1	до 47 ПДК
Кальций	мг/дм ³	180,0	менее 100
Магний	мг/дм ³	40,0	менее 40
Марганец растворенный	мг/дм ³	0,01	до 21 ПДК
Марганец	мг/дм ³	0,01	до 13 ПДК
ПАВ(анионактивные)	мг/дм ³	0,5	менее 0,01
Хлорид-ион	мг/дм ³	300	менее 100
Хром общий	мг/дм ³	0,02	менее 0,001
Хром общий растворенный	мг/дм ³	0,02	менее 0,001
Цинк	мг/дм ³	0,01	до 4 ПДК
Цинк растворенный	мг/дм ³	0,01	до 2 ПДК

Все узлы и элементы спроектированы с учетом удобства сборки на месте, что обусловлено габаритами и конструктивными особенностями оборудования. Комплект поставки включает все необходимые компоненты в соответствии с требованиями технического задания, конструкторской документации и технологических особенностей изделия. Детальная комплектация оборудования представлена в таблице 2.

Комплектность установки определяется не только требованиями технического задания, но и конструктивными решениями, которые обеспечивают как простоту сборки, так и надежность дальнейшей эксплуатации при соблюдении технических показателей. Установка физико-химической очистки сточных вод включает ключевые узлы, обеспечивающие выполнение всех этапов процесса очистки.

Таблица 2 – Детальная комплектация оборудования / Table 2 – Detailed equipment configuration

№ п/п	Наименование оборудования	Характеристики оборудования	Кол-во, шт.
1	Отстойник-усреднитель – «СПЕЦХИММАШ» ОВ 100МЗ	Расчетный объем м ³ – 100	1
2	Насос для подачи сточных вод Waterstry SWQ 65-15	Максимальный расход, м ³ /ч – 109	1
2.1	Самовсасывающий насос АНС-130	Подача, м ³ /ч – 130	2
3	Сатуратор – ССТ-420/7К 304	Мощность, кВт – 140	1
4	Винтовой компрессор Fini K-MAX TS 315-07 VS	Максимальное давление – 7 атм. Мощность двигателя – 315 кВт	1
5	Напорный флотатор – ВТП-100	Производительность – 100 м ³ /час, Мощность двигателя – 30,5 кВт	1
6	Фильтр зернистой загрузки – Ручеек 1-3 / 6.8	Объем загрузки, л – 700	1
7	Адсорберы – АKN 200	Пропускная способность, м ³ /ч – 145	2
8	Емкость для очищенной воды – РГС-100	Объем – 100 м ³	1
9	УФ-обеззараживатель – ОДВ-100СА	Производительность, м ³ /час – 100, Потребляемая мощность, Вт – 3000	1
10	Бак-накопитель для осадка – RO-Tank	Объем – 80 м ³	1
11	Фильтр-пресс – NP20-6DT	Производительность – 8 м ³ /час	1
12	Насос-дозатор VMS MF 0215 FP 230VAC	16 л/мин, 220 В	6
13	Емкость под реагент NaOH	Расчетный объем м ³ – 0,1	1
14	Емкость под реагент коагулянт	Расчетный объем м ³ – 0,1	1
15	Емкость под реагент флокулянт	Расчетный объем м ³ – 0,1	1
16	Емкость под реагент известь	Расчетный объем м ³ – 0,1	1
17	Емкость под реагент H ₂ O ₂	Расчетный объем м ³ – 0,1	1
18	Емкость под реагент HCl	Расчетный объем м ³ – 0,1	1

Для эффективной очистки сточных вод и обеспечения соответствия требованиям экологических стандартов используется комплекс оборудования, включающий различные узлы и установки. Каждое из устройств выполняет свою уникальную функцию, последовательно участвуя в процессах механической,

физико-химической и биологической обработки воды.

Ниже представлена подробная информация о комплектности ключевых элементов системы очистки, обеспечивающей высокую надежность, эффективность и удобство эксплуатации.

ПРИМЕНЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФЛОТАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫЧИ

Отстойник-усреднитель представляет собой резервуар из коррозионностойких материалов, предназначенный для усреднения состава сточных вод и осаждения взвешенных частиц. Конструкция включает систему ввода и равномерного распределения воды, а также выпускные каналы для осветленной жидкости и накопившегося осадка. Ёмкость устанавливается на устойчивой металлической раме, обеспечивающей надёжность в эксплуатации.

Насос для подачи сточных вод выполнен в герметичном корпусе из материалов, устойчивых к абразивному и химическому воздействию. Он оснащён мощным электродвигателем, системой защиты от перегрузок и обратным клапаном для предотвращения обратного потока воды.

Самовсасывающий насос предназначен для транспортировки жидкостей с низким уровнем. Он выполнен в компактном корпусе и оснащён встроенным механизмом самозапуска, что обеспечивает удобство эксплуатации и минимальные затраты времени на обслуживание.

Сатуратор представляет собой герметичный резервуар с системой насыщения воды газами. Конструкция включает газораспределительный блок, компрессор для подачи газа и систему контроля давления и уровня жидкости. Корпус сатуратора изготовлен из нержавеющей стали, что обеспечивает его устойчивость к коррозии.

Винтовой компрессор оснащён двухроторным механизмом, который обеспечивает стабильную подачу воздуха для процессов флотации и насыщения воды. Устройство имеет систему автоматической регулировки давления и встроенный охладитель для предотвращения перегрева. Корпус выполнен из прочных материалов, устойчивых к износу.

Напорный флотатор состоит из прочного резервуара с системой насыщения воды пузырьками воздуха, насосной станции и механизма для сбора пены. Его конструкция обеспечивает равномерное распределение воды и удаление загрязнений, что повышает эффективность очистки. Флотатор устанавливается на стальную раму, что упрощает монтаж и транспортировку.

Фильтр зернистой загрузки выполнен в виде цилиндрической ёмкости с загрузкой из кварцевого песка или антрацита. Устройство оснащено системой обратной промывки, регулирующими клапанами и датчиками давления, обеспечивающими надёжную работу фильтра на всех этапах очистки.

Адсорберы представлены в виде колонн, заполненных активированным углем. Конструкция включает входные и выходные патрубки, систему равномерного распределения потока и клапаны для регенерации сорбента. Корпус адсорберов изготовлен из устойчивого к коррозии материала, что обеспечивает долговечность оборудования.

Ёмкость для очищенной воды выполнена из химически стойкого материала, предотвращающего загрязнение содержимого. Она оборудована системой контроля уровня воды и сливным клапаном, что обеспечивает удобство эксплуатации.

УФ-обеззараживатель состоит из корпуса с встроенными лампами ультрафиолетового излучения. Конструкция включает кварцевые защитные трубки, систему охлаждения и датчики интенсивности УФ-излучения, обеспечивающие эффективность обеззараживания.

Бак-накопитель для осадка предназначен для временного хранения осадков, образующихся в процессе очистки. Он выполнен из коррозионностойкого

материала, имеет коническое дно для удобства выгрузки осадка и оснащён переливными клапанами.

Фильтр-пресс состоит из рам, фильтрующих пластин и гидравлической системы для создания давления. Конструкция обеспечивает эффективное обезвоживание осадка. Устройство оснащено системой автоматической промывки и сбора фильтрата, что повышает производительность и снижает трудозатраты.

Предназначен для точного введения химических реагентов в систему очистки сточных вод. В комплект оборудования входит основной насосный блок, выполненный из химически стойкого материала, механизм регулировки подачи с высокой точностью, шланги подачи и обратки с фитингами для подключения к системе, установочные элементы для надёжного крепления и электрический привод с защитой от перепадов напряжения.

Для хранения различных реагентов, таких как NaOH (гидроксид натрия), коагулянты, флокулянты, известь, перекись водорода (H_2O_2) и соляная кислота (HCl), предусмотрены специализированные ёмкости. Все ёмкости изготовлены из химически стойких материалов, устойчивых к воздействию агрессивных веществ. Каждая ёмкость оснащена герметичной крышкой, индикаторами уровня для контроля объёма, штуцерами для подключения насосного оборудования, а также элементами крепления, обеспечивающими безопасное и стабильное размещение. Ёмкости для перекиси водорода дополнительно оснащены системой вентиляции для предотвращения накопления газов, а баки для соляной кислоты имеют усиленную защиту от утечек.

Такой подход к комплектности обеспечивает надёжность работы оборудования, упрощает эксплуатацию и повышает безопасность при использовании химических реагентов в процессе очистки сточных вод.

Рекомендуемая технологическая схема очистки сточных вод с использованием вышеописанного оборудования представлена на рисунке 1.

Отстойник-усреднитель (п.1) предназначен для выполнения ряда ключевых функций в технологических процессах очистки сточных вод.

Основная задача устройства – усреднение состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения, что обеспечивает выравнивание химического состава, концентрации загрязняющих веществ и физических характеристик, таких как плотность и температура. Это создаёт стабильные условия для последующих этапов очистки и повышает их эффективность.

Одновременно отстойник (п.1) выполняет функцию первичного осаждения взвешенных частиц, которые оседают на дно под действием силы тяжести. Это снижает нагрузку на следующие этапы очистки, такие как фильтрация или химическое осаждение.

Устройство также служит для регулирования гидравлической нагрузки, действуя как буферный резервуар. Оно накапливает избыточные объёмы воды при пиковых нагрузках и подаёт её равномерно на следующие стадии очистки, что предотвращает перегрузки и сбои в работе оборудования.

В процессе работы отстойник (п.1) обеспечивает предварительное удаление органических и неорганических загрязнений, что способствует защите чувствительных элементов системы очистки и повышению общей надёжности. Кроме того, он минимизирует влияние резких изменений состава сточных вод и аварийных сбросов, обеспечивая стабильность технологического процесса и оптимальную работу оборудования.

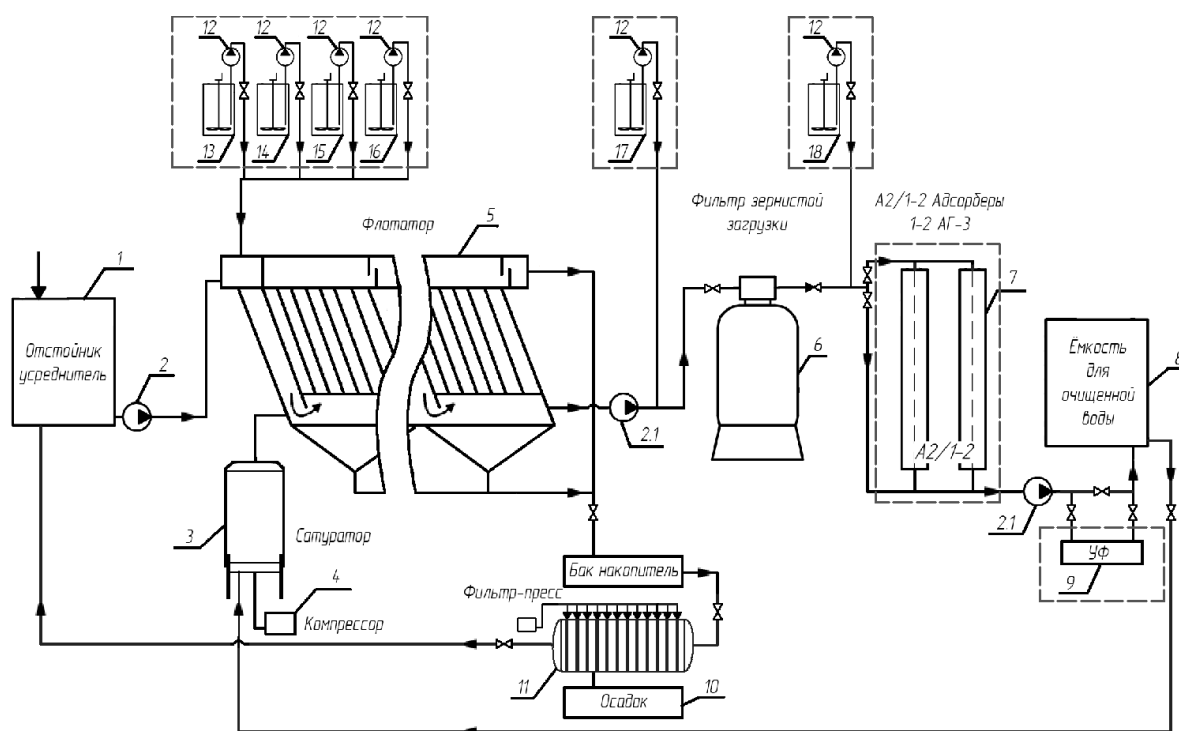


Рисунок 1 – Рекомендуемая технологическая схема очистки сточных вод с использованием напорного флотатора

Figure 1 – Recommended technological scheme of wastewater treatment using a pressure flotation device

Для подачи воды из отстойника в систему напорной флотации используется насос (п.2), но перед этим вода предварительно насыщается мелкодисперсными пузырьками газа с очищенной водой из сатуратора (п.3). Этот процесс улучшает последующую флотацию, позволяя эффективно удалить оставшиеся взвешенные частицы и остаточные загрязнения в напорном флотаторе.

Однако перед этим в воду вводятся при помощи насосов-дозаторов (п.12) определённые химические реагенты, такие как гидроксид натрия (NaOH) (п.13), коагулянты (п.14), флокулянты (п.15) и известь (п.16).

Впрыскивание NaOH (п.13) необходимо для регулирования уровня pH воды. Оптимальный уровень pH способствует улучшению работы коагулянтов и предотвращает коррозию оборудования. Коагулянты (п.14) вводятся для агрегации мелкодисперсных частиц в более крупные агрегаты, которые легче удаляются на стадии флотации. Флокулянты (п.15), в свою очередь, усиливают этот процесс, образуя стабильные хлопья из агрегированных частиц, что ускоряет их удаление. Известь (п.16) добавляется для нейтрализации кислотности воды, а также для осаждения растворённых тяжёлых металлов и фосфатов.

Дозировки реагентов рассчитываются на основании текущих параметров воды, таких как уровень pH, мутность, концентрация взвешенных веществ и содержание органических соединений. Например, уровень pH корректируется до диапазона 6,5–8,0 для обеспечения максимальной эффективности коагуляции, а количество коагулянтов и флокулянтов варьируется в зависимости от концентрации загрязнений и качества воды на входе. Автоматизированные системы дозирования с использованием насосов-дозаторов обеспечивают точность ввода реагентов, минимизируя перерасход и обеспечивая стабильность технологического процесса.

Следующим компонентом является сатуратор (п.3), он предназначен для выполнения ключевых функций в процессе очистки сточных вод, обеспечивая эффективное насыщение воды газами и стабилизацию химических процессов.

Основное назначение сатуратора (п.3) заключается в насыщении сточных вод воздухом или другими газами (например, углекислым газом) для оптимизации физико-химических процессов очистки. Это способствует активизации процессов коагуляции, флотации или нейтрализации, что повышает эффективность удаления загрязнений.

Сатуратор (п.3) также выполняет функцию стабилизации химического состава воды, обеспечивая равномерное распределение газа по объёму жидкости. Это способствует поддержанию оптимального уровня pH и других химических параметров, необходимых для эффективной работы оборудования на последующих этапах очистки.

Устройство обеспечивает равномерность процесса благодаря продуманной конструкции, которая способствует высокой степени перемешивания воды и газа. Это снижает вероятность образования застойных зон и повышает общую производительность системы. Его применение обеспечивает надёжную работу оборудования, соответствие параметров очищенной воды установленным требованиям и повышенную эффективность работы всей системы очистки.

Отдельный компрессор (п.4) для сатуратора играет важную роль в обеспечении эффективности работы системы напорной флотации. Его основная задача заключается в подаче воздуха, необходимого для создания мелкодисперсных пузырьков газа в процессе насыщения воды. Эти пузырьки образуются в результате смешивания воды с подаваемым компрессором воздухом под высоким давлением, что достигается в сатураторе.

ПРИМЕНЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФЛОТАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫЧИ

Одним из главных компонентов является напорный флотатор (п.5), предназначенный для эффективного удаления взвешенных частиц, масел и жиров из сточных вод с использованием технологии напорной флотации.

Основное назначение флотатора (п.5) заключается в разделении твердых и жидких фаз путем подачи воды, насыщенной мелкодисперсными пузырьками воздуха. В процессе флотации частицы загрязнений и легкие вещества (масла, жиры) прикрепляются к пузырькам и поднимаются на поверхность, образуя пену, которая легко удаляется специальными скребковыми механизмами.

Устройство обеспечивает высокую степень очистки благодаря равномерному распределению пузырьков воздуха и оптимальному перемешиванию потока. Это минимизирует образование застойных зон и обеспечивает стабильную производительность.

Флотатор (п.5) также служит для регулирования и стабилизации гидравлической нагрузки на другие этапы очистки, что снижает риск перегрузки оборудования. Его конструкция и принцип работы позволяют адаптироваться к изменениям состава сточных вод, сохраняя высокую эффективность очистки при переменных условиях.

Применение этого компонента способствует значительному снижению содержания взвешенных веществ, масел и жиров в сточных водах, что обеспечивает соответствие показателей очищенной воды установленным нормативам. Устройство интегрируется в комплекс очистного оборудования, повышая надежность всей системы и эффективность обработки сточных вод.

Насос (п.2.1), установленный после флотатора, выполняет ключевую функцию транспортировки очищенной воды на следующий этап обработки — фильтрацию через зернистую загрузку (п.6). Его использование обусловлено как технологическими, так и эксплуатационными требованиями системы очистки.

Перед подачей воды в фильтр зернистой загрузки (п.6) вводится насосом-дозатором (п.12) реагент — перекись водорода (H_2O_2) (п.17), который занимает роль в улучшении качества последующей фильтрации. Перекись водорода является сильным окислителем, и её добавление способствует разрушению оставшихся органических соединений, токсичных веществ и микроорганизмов, которые могут быть в воде после стадии флотации. Это особенно важно для удаления растворённых органических загрязнителей, которые могут быть недостаточно эффективно удалены только механическими методами, такими как флотация или фильтрация.

При взаимодействии с органическими веществами перекись водорода разлагается на воду и кислород, что способствует дополнительному очищению воды и снижению концентрации растворённых примесей. Кроме того, кислород, выделяющийся в процессе, помогает разрушать сложные молекулы и разлагать остаточные загрязнители, что улучшает эффективность фильтрации через зернистую загрузку.

После прохождения стадии напорной флотации, сточные воды поступают на фильтры зернистой загрузки (п.6). Эти фильтры выполняют важную функцию тонкой механической очистки, устраняя остаточные мелкодисперсные частицы, которые не были удалены на предыдущих стадиях.

Фильтры зернистой загрузки (п.6) представляют

собой колонны или резервуары, заполненные специальным фильтрующим материалом, например, кварцевым песком, антрацитом или гранулированным материалом с высокой пористостью. Вода проходит через слой фильтрующей загрузки, где под действием фильтрации механические примеси оседают, а мелкодисперсные частицы задерживаются между зёрнами материала. Такая очистка значительно снижает мутность воды и обеспечивает необходимый уровень прозрачности, что критически важно для следующих этапов обработки.

После фильтрации сточные воды направляются в систему адсорберов (п.7), которая выполняет функцию удаления растворённых органических веществ, в том числе остаточных нефтепродуктов, токсичных соединений и вызывающих запахи или привкус. В адсорберах используются сорбционные материалы, такие как активированный уголь, обладающие высокой поглощающей способностью. Активированный уголь эффективно улавливает органические молекулы и тяжёлые металлы благодаря своей пористой структуре и большой площади поверхности.

Процесс адсорбции обеспечивает глубокую доочистку сточных вод, улучшая их химический состав и устраняя вещества, которые могли бы повлиять на дальнейшие стадии обработки или качество конечного результата. Несмотря на высокую эффективность, система адсорберов не завершает процесс очистки.

После прохождения стадии адсорбции вода направляется на дальнейшие этапы обработки, включающие обеззараживание и регулирование её качества в соответствии с установленными требованиями.

Насос (п.2.1), установленный после адсорберов, выполняет функцию транспортировки очищенной воды на следующий этап обработки. Его использование обусловлено как технологическими, так и эксплуатационными требованиями системы очистки.

На следующей стадии вода проходит через УФ-обеззараживатель (п.9), где с помощью ультрафиолетового излучения уничтожаются патогенные микроорганизмы. После обеззараживания очищенная вода поступает в резервуар для хранения (п.8), откуда она может быть использована по назначению, если очистка не требуется, то вода подается в емкость для очищенной воды.

Часть очищенной воды из резервуара направляется на сатуратор (п.3), где происходит насыщение воды газами для последующих технологических операций.

Одновременно с этим пена и загрязнения из флотатора (п.5), удаленные на стадии флотации, поступают на фильтр-пресс (п.11), через бак накопитель. Этот этап предназначен для обезвоживания осадка, отделенного на флотаторе (п.5). После прессования фильтрат, полученный на выходе из фильтр-пресса (п.11), возвращается в отстойник-усреднитель (п.1) для повторной обработки, что обеспечивает замкнутый цикл и минимизацию потерь воды в системе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выбор контролируемых показателей, периодичность отбора проб и их анализа должны осуществляться в соответствии с согласованной программой производственного экологического контроля. Рекомендуемые контролируемые показатели, частота контроля и методы определения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Контроль химического состава сточной воды поступающей на очистку

Table 3 – Control of the chemical composition of wastewater entering the treatment

Наименование объекта исследования	Периодичность контроля	Контролируемые показатели	Методика выполнения измерений	Метод испытания
Сточная вода, поступающая в очистной модуль на очистку	1 раз в 1 месяц (10 -12 раз в год)	рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	Потенциометрический
		взвешенные вещества	ПНД Ф 14.1:2:4.110 -97(изд. 2016 г.)	Гравиметрический
		ХПК	ПНД Ф 14.1:2:4.210-05	Титриметрический
		Биологическая активность		
		нефтепродукты	ПНД Ф 14.1:2:116-97 (изд.2004)	Колоночная хроматография с гравиметрическим окончанием
		Хлорид -ион	ПНД Ф 14.1:2:4.132-98 (изд.2008)	Ионная хроматография
		Сульфат-ион	ПНД Ф 14.1:2:4.132-98 (изд.2008)	Ионная хроматография
		Нитрит-ион	ПНД Ф 14.1:2:214- 06 (изд. 2011)	Атомно-абсорбционная спектроскопия
		Нитрат-ион	ПНД Ф 14.1:2:214- 06 (изд. 2011)	Атомно-абсорбционная спектроскопия
		Железо (общ.)	ПНД Ф 14.1:2:214- 06 (изд. 2011)	Атомно-абсорбционная спектроскопия
		Марганец	ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	Атомно-абсорбционная спектроскопия
		Медь	ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	Атомно-абсорбционная спектроскопия
		Цинк	ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	Атомно-абсорбционная спектроскопия

Контроль состава сточных вод, поступающих на очистку, должен осуществляться в собственной и (или) привлекаемой испытательной лаборатории,

аккредитованной в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Таблица 4 – Сточные воды после мобильной установки очистки сточных вод угольных предприятий

Table 4 – Waste water after mobile wastewater treatment plant of coal enterprises

Наименование сбрасываемых сточных вод, отделение, аппарат	Место сбрасывания	Количество стоков, м ³ /час	Периодичность сброса	Характеристика стоков		Примечание
				Содержание вредных веществ в сбросах (по компонентам), мг/л	Допускаемое количество сбрасываемых вредных веществ, кг/сутки	
Очищенный сток, направляемый в пруд (емкость очищенной воды)						
Блок-контейнер установки Очищенная вода после установки	Через сборную емкость стоков - на сброс в водоем 1 категории	1	Постоянно, при работе установки	Соответствует требованиям для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения, в т.ч.: - аммоний менее 0,5 мг/л; - БПК менее 3 мг/л; - взвешенные менее 0,25 мг/л. - нитраты менее 40 мг/л; хлориды менее 300 мг/л;	-	

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение напорного флотатора в технологических схемах очистки сточных вод позволяет добиться высокой степени очистки сбрасываемой воды с возможностью применения в агропромышленном комплексе.

Результаты исследования позволяют обосновать применение напорного флотатора в угледобывающей промышленности и разработать эффективную систему очистки стоков с применением в АПК, соответствующую современным экологическим стандартам.

Внедрение данной технологии позволит оптимизировать водоочистные процессы для АПК, снизить нагрузку на окружающую среду и повысить эко-

логическую безопасность угольной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серосодержащие загрязнители и способы снижения их концентрации / А. К. Горелкина [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 244–248. doi: 10.25712/ASTU.2072- 8921.2023.04.031.
2. Технологический регламент на проведение работ по утилизации жидких отходов АО «Новомет-Пермь» на вакуумно-дистилляционной установке. Акционерное общество «Новомет-Пермь» Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Пермь. 2018. С. 61.
3. Гора Н.В. Анализ способов повышения эффек-

ПРИМЕНЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ФЛОТАТОРА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫЧИ

тивности процесса обезжелезивания природных вод сорбционными методами / Н.В. Гора Н.В. [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127), С. 123-129.

4. Домрачева В.А. Адсорбция нефтепродуктов углеродными сорбентами в динамических условиях / В.А. Домрачева, В.В. Трусова // Вестник ИрГТУ. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2012. № 7. С. 135-138.

5. Гальперина А.Р. Разработка приемов биоремедиации сточных вод с остаточной замасленностью // Юг России: экология, развитие, 2010. №4. с.109-112.

6. Алексеев Г.В. Совершенствование процесса выделения кератина путем гидролиза сырья в ультразвуковом поле / Г. В. Алексеев [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 182-187.

7. Закиров Д.Г. Эффективный энергоменеджмент как направление повышения энергетической эффективности в целях модернизации экономики региона и увеличения конкурентоспособности выпускаемой продукции / Д.Г. Закиров [и др.] // Уголь. 2016. №11. С. 56-59.

8. Угарова И.М. Применение сорбционной доочистки воды в период гидрологической чрезвычайной ситуации / И.М. Угарова, Л.А. Иванова, Е.Н. Неверов // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 167–172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.025.

9. Неверов Е.Н. Проект установки для очистки шахтных вод угольного разреза / Е.Н. Неверов [и др.]. Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 169–178. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020.

Информация об авторах

Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Мехатроники и автоматизации технологических систем Кемеровского государственного университета.

А. К. Горелкина – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферной безопасности» Кемеровского государственного университета.

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

Л. А. Иванова – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.

А. Л. Майтаков – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления качеством Кемеровского государственного университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2025; одобрена после рецензирования 24 ноября 2025; принята к публикации 28 ноября 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2025; approved after editing on 24 Nov 2025; accepted for publication on 28 Nov 2025.

REFERENCES

1. Gorelkina A.K. [et al.] (2023). Sulfur-containing pollutants and ways to reduce their concentration. Polzunovskiy vestnik. 4, 244-248. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031. (In Russ.).

2. Technological regulations for the disposal of liquid waste of JSC Novomet-Perm at a vacuum distillation unit. (2018). Novomet-Perm Joint Stock Company Perm National Research Polytechnic University. Perm. 61 p. (In Russ.).

3. Gora N.V. [et al.] (2023). Analysis of ways to increase the efficiency of the process of degreasing natural waters by sorption methods. International Scientific Research Journal. 1 (127), 123-129. (In Russ.).

4. Domracheva V.A., Trusova V.V. (2012). Adsorption of petroleum products by carbon sorbents under dynamic conditions. Bulletin of the IrGTU. Irkutsk: Publishing House of IrGTU. 7. 135-138. (In Russ.).

5. Galperina A.R. (2010). Development of bioremediation techniques for wastewater with residual contamination // South of Russia: ecology, razvitie. 4. 109-111. (In Russ.).

6. Alekseev G.V. [et al.] (2021). Improving the process of keratin extraction by hydrolysis of raw materials in an ultrasonic field. Polzunovskiy vestnik. 2. 182-187. (In Russ.).

7. Zakirov D.G. [et al.] (2016). Effective energy management as a direction of increasing energy efficiency in order to modernize the region's economy and increase the competitiveness of products. Coal. 11. pp. 56-59. (In Russ.).

8. Ugarova I.M. Ivanova L.A. & Neverov E.N. (2024). Application of sorption water purification during a hydrological emergency. Polzunovsky Bulletin. 4. 167-172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.025. (In Russ.).

9. Neverov E.N. [et al.]. (2024). The project of an installation for cleaning mine waters of a coal mine. Polzunovsky bulletin. 1, 169-178. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.020. (In Russ.).

Information about the authors

E. N. Neverov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems of Kemerovo State University.

A. K. Gorelkina – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

I. V. Tymoshchuk – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety at Kemerovo State University.

L. A. Ivanova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University.

A. L. Maytakov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Quality Management, Kemerovo State University.