

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.93.36.010

УДК 628.31

© Л.А. Иванова, И.М. Угарова, И.В. Тимощук, А.К. Горелкина, Е.С. Михайлова, 2023

**Л.А. ИВАНОВА**

канд. техн. наук,  
доцент кафедры  
КемГУ, г. Кемерово  
e-mail:



**И.М. УГАРОВА**

аспирант  
КемГУ, г. Кемерово



**И.В. ТИМОЩУК**

д-р техн. наук, доцент,  
профессор кафедры  
КемГУ, г. Кемерово  
e-mail: irina\_190978@mail.ru



**А.К. ГОРЕЛКИНА**

д-р техн. наук,  
доцент кафедры  
КемГУ, г. Кемерово  
e-mail: alengora@yandex.ru



**Е.С. МИХАЙЛОВА**

канд. хим. наук,  
начальник управления по реализации КНТП  
КемГУ г. Кемерово



## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДЕСУЛЬФАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

*В статье рассматривается проблема очистки сточных вод, загрязненных сульфатами. Сульфат является важным первичным ионом, присутствующим в природной воде, муниципальных и промышленных сточных водах. Основными источниками сульфата в природной воде являются химическое выветривание и процессы окисления серосодержащих минералов. Сточные воды, сбрасываемые из многих отраслей промышленности, таких как фармацевти-*

ческие сточные воды, производство алюминия, полиграфия и крашение, угольные предприятия со временем увеличивают концентрацию сульфата в воде. Его часто считают нетоксичным, хотя высокие концентрации сульфата в воде влияют на баланс его естественного круговорота в окружающей среде и могут привести к последствиям для здоровья человека при длительном приеме внутрь, образованию накипи в трубах и общественном водоснабжении; когда концентрация превышает 600 мг/дм<sup>3</sup>, это может вызвать слабительный эффект, обезвоживание и расстройство желудка. Поэтому сульфат-ион необходимо удалить из сточных вод до того, как он будет сброшен в окружающую среду. В работе проведен анализ способов десульфации сточных вод, а также рассмотрены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: СУЛЬФАТЫ, СТОЧНЫЕ ВОДЫ, СПОСОБЫ ДЕСУЛЬФАЦИИ, ОБРАТНЫЙ ОСМОС, МЕТОД ИОННОГО ОБМЕНА, ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА, АДСОРБЦИЯ, РЕАГЕНТНАЯ ОЧИСТКА, ГАШЕНАЯ ИЗВЕСТЬ, ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЯ.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема безопасности окружающей среды и рационального природопользования водных ресурсов неразрывно связана с социально-экономическим развитием общества, что и является одной из главных экологических задач. Высокие требования санитарных и рыболовных органов к сбросам сточных вод и рост потребности предприятий в водоснабжении все чаще ставят перед собой задачу максимального использования чистых сточных вод в системах водооборота и разработки высокоэффективных методик по их очистке. Очистка сточных вод — одна из самых актуальных проблем современной жизни как в нашей стране, так и за рубежом.

Поскольку вода естественным образом течет под землей, то она собирает некоторые минералы, которые растворяет из окружающей почвы и горных пород. Эти минералы нередко включают сульфаты, которые присутствуют почти во всех типах воды, встречающихся в природе, включая подземные, океанские и дождевые воды. Сульфаты — это соли серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, неорганического и органического происхождения. Неорганический сульфат является ионным соединением, содержащим анион SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Когда концентрация аниона увеличивается, образуются кальциевые сульфаты и магниевые сульфаты.

## СУЛЬФАТЫ, ИХ ОБРАЗОВАНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ

Сульфат является естественным компонентом, входящим в состав природной воды,

а его содержание будет зависеть от состава подстилающей структуры грунта. Для здоровья человека питьевая вода, содержащая сульфат, не представляет никакой опасности. В случае увеличения его содержания в 250–400 мг/л возникает своеобразный горьковатый привкус. В свою очередь, это может привести к существенному ухудшению уровня органолептических показателей воды (вкус, запах, прозрачность). Более высокий уровень концентрации сульфатов приводит к нарушению работы пищеварительного тракта.

Также нельзя использовать воду с высоким содержанием сульфатов и для хозяйственных целей. Существуют жесткие требования и к водам, питающим паросиловые установки. С повышением температуры сульфат кальция становится нерастворимым в воде и образует стойкую накипь, а это, в свою очередь, приводит к снижению прочности труб, разрушает их. Сульфатная накипь тяжело растворима, ее сложно предотвратить.

В ходе технологических процессов некоторых предприятий образуются сточные воды с достаточно высоким уровнем содержания сульфатов. Чаще всего это можно наблюдать на тех производствах, где используется серная кислота, а именно:

- горнодобывающее производство: шахтовые воды, а также воды уже после обогащения полиметаллических серосодержащих руд;
- целлюлозно-хлопчатобумажное производство, в случае если при переработке древесины применяется сульфатный процесс;

- нефтеперерабатывающее производство, когда во время очистки нефти и нефтепродуктов образуются сернисто-щелочные сточные воды;

- производство органических удобрений, в частности сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;

- реагентная обработка сточной воды, в результате которой образуются сульфат-ионы.

Именно по этой причине многие промышленные предприятия стремятся удалить сульфаты, независимо от того, планируется ли выпуск воды в окружающую среду или повторное использование в производственном процессе предприятия.

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СУЛЬФАТОВ

Во время выбора метода очистки сточных вод от сульфатов следует принимать во внимание концентрацию анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и объем очищаемых стоков. В случае если концентрация анионов превышает 2000 мг/л, то эффективнее всего будет применение реагентного метода с последующим отстаиванием и фильтрацией либо с помощью вакуумного выпаривания. Если же концентрация ниже 2000 мг/л, то наиболее эффективными методами станут нанофильтрация, а также обратный осмос. Имеются и менее распространённые методы очистки сульфатсодержащих вод, которые применяются для определенного производства или технологического процесса.

1. *Мембранные методы очистки. Обратный осмос*

Как правило, в воде содержатся 3 базовых аниона — это сульфат, хлорид-ион, гидрокарбонат. Избыток сульфата, как правило, происходит одновременно со всеми показателями его солевого состава, включая и общую жесткость. Таким образом, при очистке воду нужно частично обессоливать, т. е. скорректировать все без исключения, растворенные в воде соли. В особенности это имеет значение, если очищенные воды присутствуют в оборотном водоснабжении, где сульфаты являются источниками жесткой накипи. Для достижения данной цели

широкое распространение получили технологии мембранной очистки.

Процесс обратного осмоса — один из самых эффективных способов получения чистой воды. Обратный осмос — это передовой метод фильтрации воды. Данный метод наиболее эффективно может справиться с удалением сульфатов из сточных вод. Осмос требует дополнительной энергии в виде давления, чтобы заставить воду двигаться из области с высокой концентрацией частиц в область с низкой концентрацией частиц. В результате загрязняющие вещества концентрируются на одной стороне полупроницаемой мембраны (поток сточных вод), а на другой стороне образуется пресная вода для питья (продукт пресной воды) [1, 2].

Сам обратный осмос включает только прохождение воды через полупроницаемую мембрану. Однако системы обратного осмоса всегда содержат дополнительные фильтры предварительной обработки и часто фильтры последующей обработки. Технологическая схема обратного осмоса представлена на рис. 1.

Проблему использования этих методов составляет наличие концентратов — растворов, содержащих избыточные соли и удаляемые загрязнения.

Обратноосмотические установки способны почти полностью очистить загрязненную воду от примесей. Данные установки имеют еще несколько преимуществ:

- состав воды, поступающей на очистку, не влияет на качество очистки;

- отсутствие в технологическом процессе химического реагента делает рассматриваемую методику экологически безопасной;

- малогабаритный размер оборудования позволяет разместить ее на небольшом участке;

- совместно с утилизацией сульфатов снижают показатели жесткости воды, удаляют неприятный запах, осветляют и очищают от других химических веществ;

- простая и безопасная в использовании установка, возможно длительное время эксплуатации.

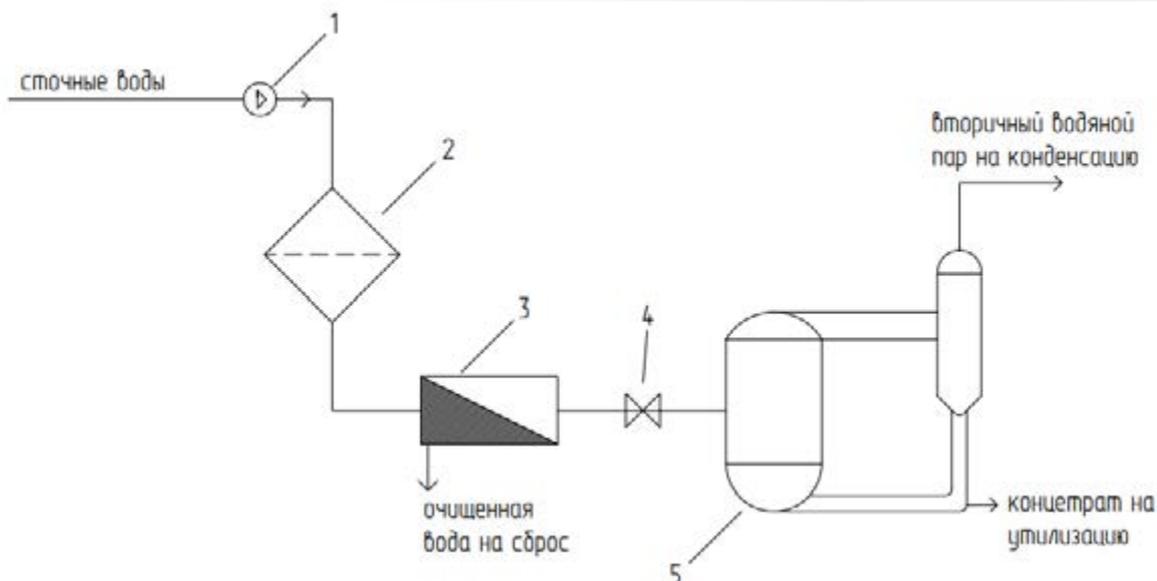


Рис. 1. Схема очистки воды с установкой обратного осмоса для получения воды питьевого качества: 1 — насос, 2 — фильтр грубой очистки, 3 — установка обратного осмоса, 4 — клапан регулировки давления, 5 — вакуум-выпарная установка

Недостатком обратноосмотического обору- дования может быть большие материаль- ные затраты, однако эффективность очистки компенсирует расходы на его приобретение.

## 2. Метод ионного обмена

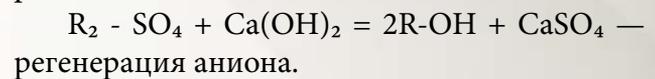
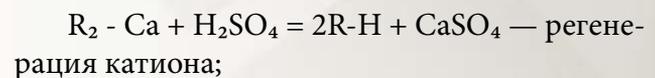
Ионообменные системы используют- ся в различных отраслях промышленности для умягчения, очистки и разделения воды. Общая схема обессоливания воды методом ионного обмена представлена на рис. 2. Ио- нообмен представляет процесс обработки, при котором растворенные ионы заменяют- ся другими, более желательными ионами с аналогичным электрическим зарядом. Для рассматриваемого метода используются ио- нообменные смолы с сильным основанием — аниониты. Они присоединяют анионы сое- динений, растворенных в воде избирательно, имеют относительное родство по отношению к тем ионам, которые удаляются из раствора, по следующему ряду:



Основным условием протекания реакции обмена является расположение в этом ряду анионитов в растворе слева от анионов, кото- рые находятся в смоле.

Сульфат кальция, как анион, замещается на гидроксил на положительно заряженной ионообменной смоле, а катион кальция заме- щается на водород на отрицательно заряжен- ной катионообменной смоле.

Формула:



Эта реакция обычно протекает в колон- не или сосуде, где технологический поток или поток отходов пропускают через специализи- рованную смолу, которая облегчает обмен ио- нами.

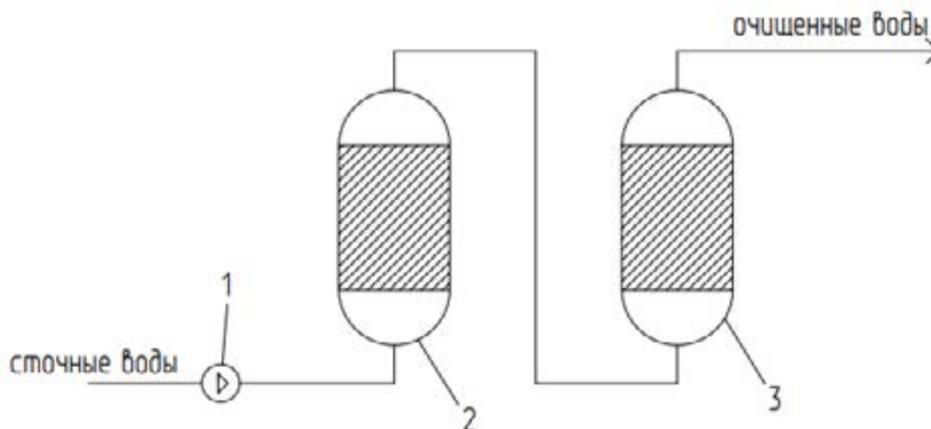


Рис. 2. Схема обессоливания воды методом ионного обмена: 1 — насос, 2 — Н-катионированный фильтр, 3 — ОН-анионитный фильтр

Метод ионного обмена применим к загрязненным водам с содержанием высокой концентрации сульфата. В целях восстановления смолы используют относительно недорогие химические реагенты, например, известь и серную кислоту. Также рассматриваемый метод применяется для того, чтобы подготовить воду, используемую при производстве легкого пива без вкуса горчинки [3].

Однако рассматриваемый метод не лишен недостатков:

- следует тщательно наблюдать за процессом очищения. Связано это с тем, что может возникнуть риск внезапного попадания сульфата в очищенную воду (сульфат, накопленный в смоле, вытесняется сульфатом-анионом, поступающим из исходных вод);
- необходимо строго контролировать очищенную и исходную воду;
- требуется более жесткое нормирование сульфата в технологическом процессе.

### 3. Электродиализ

Метод электродиализа — это процесс частичного переноса ионов за счет электротока через мембраны (перегородки), состоящие из ионитов. Как правило, используются группы чередующихся ионно-, а также катионообменных мембран. Через ионообменные мембраны способны пройти только те ионы, которые имеют одинаковый знак. Катионы перемещаются к катоду, проходят сквозь катионитовые мембраны, а анионитовые мембраны удерживают их. В свою

очередь, анионитовые мембраны пропускают ионы, которые перемещаются к аноду и останавливают катионы. После прошедшего электротока соль перемещается из положительных камер в отрицательные. Очищение воды осуществляется в положительных камерах, а в отрицательных — накапливается осадок.

В ходе реверса тока меняется полярность электродов, положительно заряженный электрод (анод) становится отрицательно заряженным электродом (катодом) и наоборот. Кроме того, камеры опреснения и концентрации осадка меняются местами. Все это способствует наибольшему удалению отложений, которые образовались при электродиализе, что, в свою очередь, приводит к уменьшению применения ингибиторов, уменьшается количество промывки [1].

Принципиальная схема электродиализной очистки сточных вод представлена на рис. 3.

Среди основных преимуществ метода электродиализа с реверсом электротока можно выделить:

- использование при любых температурах сточных вод и pH;
- уменьшение капитальных затрат с помощью снижения давления рабочего тока;
- использование очищенной воды в оборотном водоснабжении;
- получение высокого качества очистки.

Недостатками электродиализной очистки сточных вод можно назвать дефицит и

высокие цены на мембраны, большие энергоемкости. Вместе с тем, при неправильном

использовании может образоваться накипь калийного сульфата.

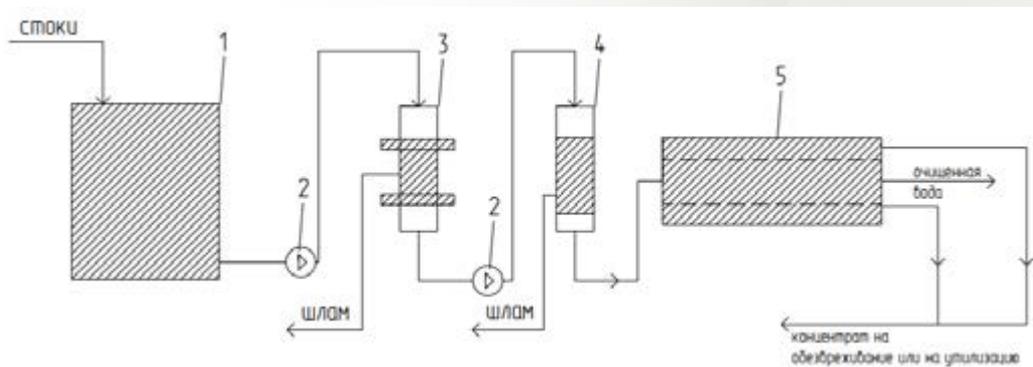


Рис. 3. Схема электродиализной очистки сточных вод: 1 — накопитель стоков, 2 — насос, 3 — механический фильтр, 4 — сорбционный фильтр, 5 — электродиализатор

#### 4. Физико-химические методы

Реагентная очистка сточных вод от сульфатов заключается в гравитационном осаждении крупных частиц, тонкодисперсные же частицы размером  $< 10$  мкм осаждаются с применением коагуляции. Реагентом, как правило, выступает известковое молоко  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В результате сульфат кальция осаждается и затем отделяется от очищенной воды.

Технологический процесс известкования заключается в добавлении известкового молока в загрязненный водный раствор и осаждении нерастворимых осадков под воздействием силы тяжести. Это делает реагентный метод очистки сточных вод эффективным [4].

На хлопьях гидроксида происходит сорбция, затем вводится флокулянт, который снижает дозу коагулянта и образует компактный хлопьевидный конгломерат, легко выделяемый из водного раствора.

Часто коагулянтом служит сульфат двухвалентного железа (железный купорос)  $\text{FeSO}_4$ . Вступая в реакцию с ионами гидроксида и хлорат-ионами хлорной извести, окисляется до трехвалентного гидроксида железа, при этом поглощает осажденные нерастворимые соли кальция. Железный купорос можно заменять сульфатом  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  или хлоридом трехвалентного железа  $\text{FeCl}_3$ , но по причине чрезмерной способности вызывать коррозию данные соединения не получили широкого применения.

Наиболее эффективным коагулянтом является оксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ , т. к. для осаждения сульфат-ионов не требуется дополнительного внесения хлорид-ионов. Кроме того, он увеличивает скорость коагуляции, не подкисляет воду и дает высокое качество очистки с минимальным содержанием остаточного алюминия в воде.

Не стоит использовать сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , который имеет аморфную структуру и при pH среды выше 8, что неизбежно при известковании, образует алюминаты, для выделения которых из водного раствора необходима дополнительная обработка.

Реагентный метод очистки сточных вод от сульфатов имеет свои плюсы и минусы. В качестве недостатков можно выделить:

- крупногабаритное спецоборудование;
- огромное потребление реагентов;
- очищенная вода требует дополнительной доочистки;
- невозможно применение в оборотном водоснабжении из-за высокого содержания солей.

Из числа положительных сторон стоит отметить универсальность и простоту эксплуатации, качество очистки не зависит от начальных концентраций.

#### 5. Удаление сульфатов с помощью гашеной извести

Многие предприятия предпочитают удалять сульфаты, особенно в больших концентрациях, добавляя гашеную известь

(Ca(OH)<sub>2</sub>), которая осаждает сульфат в виде гипса. Это может быть полезно для предприятий, в отходах которых также содержится большое количество тяжелых металлов, поскольку сульфат может осаждаться при pH ниже того, который необходим для осаждения металлов. Многие предприятия увидят снижение содержания сульфатов на 80 % с помощью гашеной извести еще до того, как им придется беспокоиться о металлах, что сведет к минимуму токсичность исходных вторичных отходов и осадка, образующихся в процессе осаждения.

Часто это первый этап, используемый в хорошо известном и экономически эффек-

тивном процессе удаления сульфатов, который может быть интегрирован во многие системы очистки сточных вод.

После завершения начальной стадии (восстановление сульфатов осаждением, вызванным гидратированной известью) процесс обычно продолжается с регулировкой pH, направленной на удаление металлов, и последующей стадией удаления сульфатов с повышением pH, добавлением второй извести и обработкой любых вторичных отходов. Схема реагентной очистки известняком известью представлена на рис. 4. Многие предприятия удаляют сульфаты известью, потому что она относительно недорогая и легкодоступная [4].



Рис. 4. Схема реагентной очистки известняком известью

Более эффективный метод очистки сульфатсодержащих вод — это метод, который предусматривает совместное применение щелочных реагентов и флокулянтов. Рассматриваемый метод результативен не только высокой скоростью образования осадка, но в отличие от коагулянтов, отсутствием заслоения обрабатываемой воды, т. к. весь флокулянт извлекается вместе с осадком [5].

#### 6. Удаление сульфатов с помощью адсорбции

Адсорбция использует молекулярные силы притяжения для улавливания загрязняющих веществ из потока жидкости. Процесс состоит в пропускании потока жидкости через некоторый тип пористой адсорбирующей среды, растворимые загрязняющие вещества больше притягиваются к адсорбирующей среде, чем к воде в потоке, загрязняющие вещества связываются с поверхностью среды, в то время как жидкий сток проходит через

нее. Схема удаления сульфатов с помощью адсорбции представлена на рис. 5.

Адсорбция эффективна для удаления сульфатов при относительно низких концентрациях и может быть достигнута с помощью таких технологий, как фильтрация гранулированным активированным углем. Хотя технология, как правило, экономична, носители, скорее всего, потребуются часто менять, что может привести к затратам, в том числе временным [7].

#### 7. Термический метод удаления сульфатов

К термическим методам очистки сточных вод от сульфатов относят дистилляцию (при высоких температурах) и замораживание (при низких температурах). При дистилляции насыщенные сульфатами жидкости нагревают до кипения, затем полученный водяной пар охлаждают в конденсаторе, а очищенную воду собирают в стерильную емкость. В то время как некоторые процессы

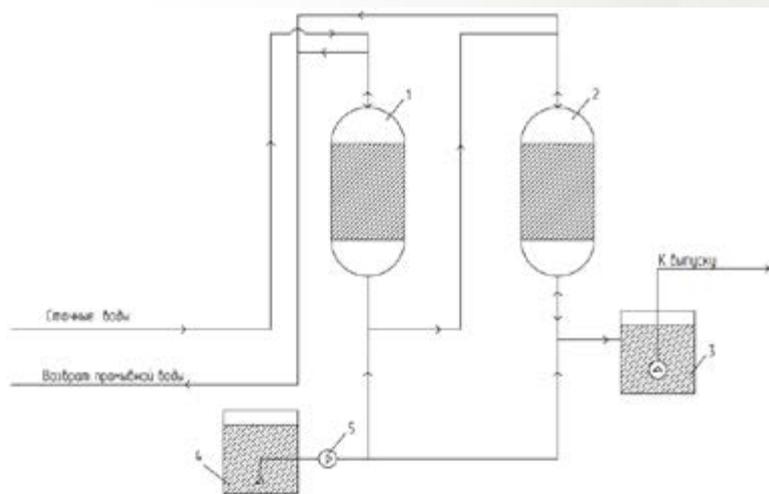


Рис. 5. Схема удаления сульфатов с помощью адсорбции: 1 — фильтры напорные осветлительные, 2 — фильтры напорные угольные, 3 — насосная станция выпуска, 4 — резервуар промывной воды; 5 — насосная установка промывки/взрыхления фильтров

разделения удаляют загрязняющие вещества из потока жидкости, дистилляция очищает жидкость от загрязняющих веществ, которые остаются в перегонном кубе после испарения воды.

Дистилляция эффективна при удалении сульфатов, но необходимо иметь в виду, что для большинства промышленных применений дистилляция требует значительных затрат энергии на нагрев, циркуляцию и охлаждение, особенно для больших объемов воды, необходимых для поддержания производства. За последние несколько десятилетий такие инновации, как сжатие пара и установки для дистилляции с несколькими эффектами, привели к повышению энергоэффективности, но их эксплуатация по-прежнему является дорогостоящей по сравнению с другими технологиями очистки [2].

#### 8. Удаление сульфатов с помощью электрокоагуляции

Электрокоагуляция — это процесс очистки воды с использованием электричества. Когда погруженные в воду металлические пластины и электрические токи заряжают окружающую загрязненную воду, частицы слипаются и выпадают из раствора в виде легко удаляемых хлопьев. Иногда технология используется отдельно, но может быть включена в фазу предварительной или последующей обработки (например, перед обратным осмо-

сом), чтобы уменьшить необходимость удаления загрязнений с мембран или очистить воду, которая должна быть более чистой. Это может быть выгодно предприятиям, стремящимся уменьшить потребность в химических веществах [1].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что в настоящее время наиболее распространенными являются безреагентные методы, а именно мембранные и ионообменные технологии. Однако использование этих методов для очистки больших объемов техногенных сточных вод сдерживается технико-экономическими показателями: высокими капитальными и эксплуатационными затратами, не до конца решенными экологическими проблемами, связанными с утилизацией отходов.

Следует отметить, что в зависимости от своих исходных значений, учитывая достоинства и недостатки рассматриваемых методов, предприятие выбирает ту схему очистки сточных вод, которая будет не только экономически выгодна, но и в полном объеме справится с удалением присутствующих загрязнителей.

Необходимо помнить, что накануне жизнь и здоровье граждан, а также репутация предприятия.

*Работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в области разведки и добычи твердых 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» распоряжение правительства от 11.05.2022, N 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201.*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Иванова Л.А., Иванов П.П., Гора Н.В., Кондратьева Ю.В. Выбор технологии очистки сточных вод угольных разрезов от сульфат-ионов // Кокс и химия. 2022. № 12. С. 44–48.
2. Михайлова Е.С., Попова Л.В. Анализ методов очистки сточных вод от сульфатов // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 11.
3. Trus I. Optimal conditions of ion exchange separation of anions in low-waste technologies of water desalination // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2022. Vol. 57. No. 3. P. 550–558.
4. Trus I. M., Gomelya M.D. Desalination of mineralized waters using reagent methods // Journal of Chemistry and Technologies. 2021. Vol. 29. No. 3. P. 417–424.
5. Патент 149277 U1 Российская Федерация, МПК C02F 9/04. Установка очистки шахтных и карьерных вод / Гришин В.П., Макаров О.В., Некряченко С.Г.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «Средняя Волга» — № 2013155114/05; заявл. 11.12.2013; опубл. 27.12.2014
6. Иванова Л.А., Тимощук И.В., Горелкина А.К. [и др.] Очистка карьерных сточных вод угольного предприятия в регионах с повышенной антропогенной нагрузкой // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 4. С. 107–114.
7. Тимощук И.В., Горелкина А.К., Иванова Л.А. [и др.] К вопросу о возможности использования адсорбции при очистке карьерных сточных вод // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2021. № 3. С. 59–63.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.93.36.010**

**UDC 628.31**

**© L.A. Ivanova, I.M. Ugarova, I.V. Timoshchyk, A.K. Gorelkina, E.S. Mikhailova, 2023**

#### **L.A. IVANOVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department  
KemSU, Kemerovo

#### **I.M. UGAROVA**

Postgraduate Student  
KemSU, Kemerovo

#### **I.V. TIMOSHCHYK**

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Professor of the Department  
KemSU, Kemerovo  
e-mail: irina\_190978@mail.ru

**A.K. GORELKINA**

Doctor of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department  
KemSU, Kemerovo  
e-mail: alengora@yandex.ru

**E.S. MIKHAILOVA**

Candidate of Chemical Sciences,  
Head of the Department for the Implementation of the CSTP  
KemSU, Kemerovo

**ANALYSIS OF WASTE WATER DESULFURIZATION METHODS**

*The paper addresses the problem of treating sulphate-contaminated wastewater. Sulfate is an important primary ion present in natural water, municipal and industrial wastewater. The main sources of sulfate in natural water are chemical weathering and oxidation processes of sulfur-containing minerals. Wastewater discharged from many industries, such as pharmaceutical wastewater, aluminum production, printing and dyeing, coal plants increase the concentration of sulfate in water over time. It is often considered non-toxic, although high concentrations of sulfate in water affect the balance of its natural cycle in the environment and can lead to consequences for human health with prolonged ingestion, pipe scaling and public water supply; when the concentration exceeds 600 mg/dm<sup>3</sup>, it can cause laxative effect, dehydration and indigestion. Therefore, the sulphate-ion must be removed from the effluent before it is discharged into the environment. The work carried out an analysis of waste water desulfurization methods, as well as considered their advantages and disadvantages.*

Keywords: SULPHATES, WASTEWATER, DESULFURIZATION METHODS, REVERSE OSMOSIS, ION EXCHANGE METHOD, ELECTRODIALYSIS, BIOLOGICAL PURIFICATION, ADSORPTION, REAGENT PURIFICATION, SLAKED LIME, ELECTROCOAGULATION.

**REFERENCES**

1. Ivanova L.A., Ivanov P.P., Gora N.V., Kondratieva Yu.V. The choice of technology for wastewater treatment of coal mines from sulfate ions // Coke and chemistry [Koks i himiya]. 2022. No. 12. P. 44-48. [In Russ.].
2. Mikhailova E.S., Popova L.V. Analysis of wastewater treatment methods from sulfates // Moscow Economic Journal [Moskovskij ekonomicheskij zhurnal]. 2022. Vol. 7. No. 11. [In Russ.].
3. Trus I. Optimal conditions of ion exchange separation of anions in low-waste technologies of water desalination // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2022. Vol. 57. No. 3. P. 550-558.
4. Trus I. M., Gomelya M.D. Desalination of mineralized waters using reagent methods // Journal of Chemistry and Technologies. 2021. Vol. 29. No. 3. P. 417-424.
5. Patent 149277 U1 Russian Federation, IPC C02F 9/04. Mine and quarry water treatment plant / Grishin V.P., Makarov O.V., Nekryachenko S.G.; patent holder Closed Joint Stock Company «Srednaya Volga» — No. 2013155114/05; application 11.12.2013; publ. 27.12.2014. [In Russ.].
6. Ivanova L.A., Tymoshchuk I.V., Gorelkina A.K. [et al.] Treatment of quarry wastewater of a coal enterprise in regions with increased anthropogenic load // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2022. No. 4. P. 107-114. [In Russ.].
7. Tymoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Ivanova L.A. [et al.] On the question of the possibility of using adsorption in the treatment of quarry wastewater // Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2021. No. 3. P. 59-63. [In Russ.].