

**УДК 628.16.08**

КОПИНКОВА А.Д., студент гр. ХТОО-12м (ЯГТУ)  
Научный руководитель НИКИТИНА Е.Л., к.т.н., доцент (ЯГТУ)  
г. Ярославль

## **ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ КОАГУЛЯНТОВ И КОАГУЛЯНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

Большинство существующих промышленных технологий получения коагулянтов являются энергоемкими и ориентированы на традиционную сырьевую базу. Однако в промышленности имеются огромные запасы трудноутилизируемых железо- и алюмосодержащих отходов, которые небезопасны для здоровья и окружающей среды. Соли железа, используемые в качестве коагулянтов, имеют преимущества перед алюмосодержащими коагулянтами: улучшается процесс коагуляции при низких температурах, pH среды не оказывает влияние на процесс осаждения, сокращается время отстаивания и отсутствует остаточный алюминий в очищенной воде. Однако имеются и недостатки: образование при реакции катионов железа с некоторыми органическими соединениями сильно окрашивающих растворимых комплексов; сильные кислотные свойства, усиливающие коррозию аппаратуры; менее развитая поверхность хлопьев [1].

Соли алюминия как коагулянты имеют ряд преимуществ перед солями железа. Это, например, эффективность при различных pH - соли алюминия, такие как сульфат алюминия, эффективны в широком диапазоне значений pH, что делает их универсальными для различных условий очистки. Это также низкая токсичность - алюминий в малых концентрациях считается менее токсичным по сравнению с некоторыми солями железа, что делает его более безопасным для использования в водоснабжении. Это и формирование крупных осадков - алюминий способствует образованию крупных и плотных осадков, что облегчает их последующее удаление из воды. Наконец, это доступность и стоимость - соли алюминия, как правило, более доступны и дешевы, чем соли железа, что делает их экономически выгодными для многих предприятий [2].

Именно появление большого количества металлургических и машиностроительных заводов на территории РФ дает основание для проведения данной работы. Научная работа предлагает использовать образующиеся многотоннажные железо- и алюмосодержащие отходы для производства разнообразных коагулянтов с целью снижения их складирования и захоронения на полигонах. Железо- и алюмосодержащие отходы наносят глобальный ущерб экологии страны, что также значительно влияет и на её экономическую составляющую. Быстрые темпы роста промышленного производства имеют не только положительные последствия, такие как повышение уровня жизни населения и его благосостояния, но и отрицательные – загрязнение окружающей среды промышленными выбросами, разрушение природных экосистем, истощение вторичных ископаемых. Вторичная переработка отходов черной металлургии позволяет снизить риски от

отрицательных последствий развития данных производств. Производство железо- и алюмосодержащих коагулянтов позволяет не только решить проблему масштабного развития промышленных предприятий, но и наиболее эффективно очищать сточные воды от разнообразных загрязнений, что также является немаловажной проблемой в экологической обстановке страны в настоящее время.

Коагулянты на основе алюминия играют важную роль в различных отраслях, и их эффективность зависит от способа получения и условий применения. Существующие методы получения коагулянтов, такие как химический синтез, электролиз и пиролиз, позволяют получать высококачественные продукты, которые могут быть адаптированы под конкретные нужды. Будущие исследования могут быть направлены на оптимизацию этих процессов и разработку новых, более эффективных коагулянтов на основе алюминия [3].

Таким образом, целью данной работы является оценка работоспособности коагулянтов, полученных из отходов промышленного производства, а также публикация новых знаний в исследуемой области. Задачи исследования: сравнить способы очистки сточных вод традиционным коагулянтом и коагулянтом, полученным из отходов производства.

Установлено, что коагулянты, полученные из осадков водного обезжелезивания, а также отходов алюминия, обладают высокими показателями эффективности очистки и времени отстаивания по сравнению с традиционно используемыми коагулянтами на основе железа и алюминия. Соли железа обладают лучшими коагулирующими свойствами в интервале pH = 3,5-11. Коагулянты на основе железа предпочтительно используются для очистки мутных, жестких вод, а также для очистки сточных вод. Они позволяют устраниć запахи и привкусы, вызванные присутствием сероводорода, удаляют соединения мышьяка, марганца, меди, а также способствуют окислению органических соединений. Для очистки природных вод предпочтительными являются коагулянты на основе алюминия. Они обеспечивают высокое качество очистки, поэтому их получение и использование на водоочистных станциях и предприятиях по очистке сточных вод является целесообразным.

В процессе работы была предложена технологическая схема очистки сточных вод полученными коагулянтами на производстве, состоящая из следующих этапов [4]:

1. Приготовление раствора коагулянта.
2. Дозирование коагулянта в воду для очистки.
3. Подача коагулянтов в реактор коагуляции (камера смешения).

Были произведены расчеты параметров вспомогательного оборудования, расчеты затрат на основные и вспомогательные материалы. Экологическая выгода использования коагулянтов на основе отходов железа и алюминия предоставила следующие результаты:

1. Уменьшение накопления отходов: переработка отходов обезжелезивания, алюминиевых банок и блистеров снижает объемы металлических отходов на свалках и в природе, решая проблему долговечного загрязнения.

2. Циркуляция ресурсов (круговая экономика): вовлечение отходов в производство коагулянтов способствует рациональному использованию материалов, снижая потребность в добыче и производстве железа и алюминия.

3. Снижение экологического следа производства: использование вторсырья вместо чистого химического железа и алюминия снижает прямые выбросы углекислого газа и энергетические затраты, связанные с производством алюминиевого металла и железа с нуля.

4. Минимизация токсичных и опасных отходов: при правильной организации очистки газов и отходов производства исключаются выбросы вредных веществ в атмосферу и почву.

Также были определены экономическая выгода и риски затрат на очистку воды с полученными коагулянтами по сравнению с традиционными. Преимуществами использования полученных коагулянтов для очистки воды является дешевизна отходов железа и алюминия по сравнению с чистым металлургическим сырьем, возможность частичной автономии от внешних поставок сульфата железа и алюминия, потенциал для дополнительного заработка на утилизации металлических отходов, соответствие тенденциям устойчивого производства и корпоративной социальной ответственности. Недостатками использования полученных коагулянтов являются высокие капитальные вложения и значительные операционные затраты на энергопотребление и очистку, необходимость оборудования для безопасного обжига и очистки — сложная технологическая цепочка, зависимость качества коагулянта от исходных отходов, необходимость прочих стадий очистки, длительный срок окупаемости по сравнению с простой закупкой готового коагулянта.

На основании вышеперечисленного мы можем сделать вывод, что использование отходов обезжелезивания и отхода сульфата алюминия, полученного на основе отхода блистера, с точки зрения экологии является значимым вкладом в снижение отходов и рациональное использование ресурсов. Данные коагулянты на основе солей железа и алюминия обеспечивают высокое качество очистки сточных вод, поэтому их получение и использование на предприятиях по очистке сточных вод и водоочистных станциях является рациональным и экономически эффективным. Экономически этот подход целесообразен при больших объемах производства, когда затраты на оборудование и обработки окупаются за счет снижения стоимости сырья.

Для предприятий с ограниченным объемом выпуска или менее сложной организацией производства покупка готового сульфата алюминия на рынке остается более простой и выгодной с экономической точки зрения.

Затраты на очистку сточных вод коагулянтами, полученными из отходов, могут быть ниже, чем при использовании традиционных химикатов, за счет снижения стоимости сырья. Однако полные затраты зависят от множества факторов, включая стоимость сбора и подготовки отходов, эффективность нового реагента, необходимость модификации существующего оборудования, а также сопутствующие расходы, такие как электроэнергия, водопотребление и затраты на обслуживание.

**Список литературы:**

1. Особенности применения различных солей в качестве коагулянтов [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/10717339/page:9/> (дата обращения: 04.11.2025).
2. Соли алюминия [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/9776477/page:3/> (дата обращения: 04.11.2025).
3. Исследование эффективности коагулянтов, полученных на основе природного алюмо- и железосодержащего сырья, в процессах очистки промышленных вод некоторых предприятий Курской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-effektivnosti-koagulyantov-poluchennyh-na-osnove-prirodnogo-alyumo-i-zhelezosoderzhaschego-syrya-v-protsessah-ochistki/viewer> (дата обращения: 09.11.25).
4. Очистка воды коагулянтами и флокулянтами [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroy.it/usefulinfo/poolsusefullinfo/coagulants-water-treatment/> (дата обращения: 09.11.25).

**Аннотация.** Рациональные технологии водопользования требуют поиска дешевых и эффективных систем для очистки воды с использованием вторичных ресурсов. Рост потребления коагулянтов обусловлен повышением интенсивности и качеством очистки сточных вод от различных отходов производства. В статье представлен экономически эффективный и рациональный способ утилизации вторичных отходов производства для очистки воды различного назначения.

**Ключевые слова:** коагуляция, железосодержащий коагулянт, алюмосодержащий коагулянт, отход, очистка, экономика.