УДК 35.631.09

Андрианова Алиса Эдуардовна, студент (КТК ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

Alisa E. Andrianova, student (KTK FSBEI HE «KNRTU», Kazan)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ANALYSIS OF METHODS FOR THE DISPOSAL AND NEUTRALIZATION OF WASTE FROM THE PRODUCTION OF ENERGY-RICH MATERIALS

Аннотация

Данная работа фокусируется на особенностях обращения с отходами при выпуске энергонасыщенных материалов, сферы применения которых охватывают и горнодобывающую отрасль. Работа демонстрирует, что комбинирование методов переработки и очистки способно превратить опасный отход в востребованный продукт.

Annotation

This work focuses on waste management practices in the production of energy-dense materials, which are also used in the mining industry. It demonstrates that combining recycling and purification methods can transform hazardous waste into a valuable product.

К промышленным предприятиям предъявляются требования, которые сводятся к минимизации потребления первичного сырья и снижению объемов захоронения отходов. Эта проблема не обходит стороной и горнодобывающую промышленность, которая активно использует энергонасыщенные материалы (ЭМ). Отходы производства взрывчатых веществ и порохов содержат токсичные соединения и представляют тем самым экологическую угрозу, но, в то же время, являются потенциальным ресурсом для вторичной переработки. На мой взгляд, ликвидация опасных объектом путем сжигания или подрыва уступает стратегии рационального использования, где должно наблюдаться сочетание экономической выгоды с экологической безопасностью. Критический анализ существующих технологий утилизации ЭМ и обоснование их необходимости для современной промышленности является основной целью данной работы.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов утилизации и обезвреживания отходов производства ЭМ

Методы утилизации и обезвреживания отходов	Краткая характеристика	Преимущества	Недостатки
1. Термическая деструкция (сжигание и подрыв)	Разложение ЭМ при высоких температурах	• Быстрая ликвидация больших объемов; • Уменьшение массы отходов до 95%;	• Токсичные выбросы (CO, NOx, SO_2); • Аэрозоли тяжелых металлов; • Необходимость сложной газоочистки;
2. Химическая трансформация	Преобразование в продукты гражданского назначения	• Получение лаков, клеев, строительных материалов); • Полное обезвреживание	• Сложность процессов; • Высокая стоимость оборудования и реагентов
3. Рециклинг	Использование золы, щелоков в бетонах, керамзите, стекле, также в составах ПВГС	• Экономия сырья; • Снижение нагрузки на полигоны	• Влияние примесей на качество; • Ограниченность сфер применения;
4. Физико-химическая очистка	Каталитическое окисление, сорбция газов	• Снижение токсичности выбросов; • Соответствие нормативам;	• Высокая стоимость; • Необходимость обслуживания;

Существующие методы обращения с отходами ЭМ можно условно разделить на несколько групп (Табл. 1). Термические методы обладают способностью быстро уничтожать большие объемы опасных веществ и поэтому наиболее распространены. Однако, анализируя этот подход, я считаю его неприемлемым, если речь идет об экологии. Процесс высокотемпературного разложения неизбежно сопровождается образованием токсичных газовых выбросов, включая оксиды азота, серы, угарный газ и пары тяжелых металлов. Наличие систем очистки не снижает риск аварийных ситуаций и неполного сгорания. Поэтому термические методы должны составлять

лишь этап цепочки сложной переработки, который надо дополнить системами глубокой газоочистки.

Я разделяю и поддерживаю более перспективное направление, к которому относят химические методы переработки и создание новых продуктов на основе вторичного сырья. Ярким примером служит модификация нитрата целлюлозы (НЦ) – основного компонента пироксилиновых порохов. Исследования [1] показывают, что взаимодействие НЦ с различными нуклеофилами позволяет получать новые полимерные соединения, которые могут использоваться в качестве связующих в лаках, клеях и эмалях.

Особое внимание хочу уделить рециклингу и разработке пороховых водно-гелевых составов (ПВГС) пониженной экотоксичности, которые представляют собой идеальный мост между проблемой утилизации боевых запасов и потребностями горнодобывающей отрасли. Традиционные промышленные взрывчатые вещества, такие как аммонит № 6ЖВ, при детонации выделяют значительное количество токсичных газов, что критично для подземных работ и требует длительного проветривания забоев. Введение утилизируемых порохов в водно-гелевую матрицу с добавлением дополнительных окислителей – аммиачной, натриевой или кальциевой селитры – позволяет радикально изменить кислородный баланс системы. Расчеты и экспериментальные данные работы [2] показывают, что добавление аммиачной селитры в количестве около 36-39 массовых процентов позволяет снизить экотоксичность продуктов взрыва в 6,2 раза по сравнению со штатным аммонитом. Даже использование других селитр дает снижение токсичности более чем в 4,5 раза.

Для горняков, помимо минимизации экологического ущерба, важна и физическая эффективность дробления породы. Здесь демонстрируют выдающиеся свойства ПВГС на основе отходов порохов. Экспериментальные исследования детонационной волны показывают, что данный тип взрывчатых веществ создает давление, практически в 2 раза превышающее показатели традиционных аммонитов. При этом для них характерно замедленное снижение давления за фронтом ударной волны. Я разделяю точку зрения специалистов-взрывников о том, что именно такой режим воздействия на массив горных пород является оптимальным: он обеспечивает качественное, равномерное дробление руды без эффекта чрезмерного измельчения, что особо важно для последующих процессов флотации и обогащения. Таким образом, мы получаем продукт, который является и способом утилизации отходов, и напрямую повышает экономическую эффективность горной добычи за счет улучшения состава взорванной массы.

Анализ реальной производственной практики показывает, что широкое внедрение таких составов сталкивается с рядом системных барьеров. Во-первых, это высокая стоимость первоначальных капиталовложений в

модернизацию смесительно-зарядных машин. Во-вторых, существует проблема отсутствия сформированного гарантированного спроса на вторичное сырье, из-за чего производители нередко предпочитают работать с первичными компонентами. В-третьих, нормативно-правовая база зачастую отстает от темпов развития технологий, сохраняя избыточные административные барьеры для сертификации новых видов промышленных взрывчатых веществ, полученных из отходов. Крайне бюрократизированной остается процедура переквалификации материала из «опасного отхода» в «товарную продукцию».

Тем не менее, отдельные реальные примеры успешной интеграции уже существуют. Например, на ОАО «Промсинтез» в городе Чапаевске Самарской области успешно применяется технология переработки сульфатсодержащей золы – отхода производства тринитротолуола – для получения растворимого натриевого стекла (силикат-глыбы). Этот способ был защищен патентом РФ и вошел в число 100 лучших изобретений России в 2009 году [3]. На предприятиях оборонно-промышленного комплекса, занимающихся термическим обезвреживанием стрелковых патронов, на основе разработок Института катализа СО РАН внедряются установки, где газы сначала проходят через угольные фильтры для улавливания паров ртути и свинца, а затем поступают в каталитический реактор с платиново-палладиевым катализатором. Это позволяет достичь стопроцентной конверсии токсичного угарного газа в безвредный углекислый газ при температуре всего около 200 °С [4]. На ФКП «Авангард» внедряются принципиально новые установки этерификации в сочетании с многоступенчатой биологической очисткой стоков, что позволяет возвращать воду в замкнутый водооборотный цикл для производства высококачественных коллоксилинов [5].

В итоге приходим к выводу, что для горнодобывающей отрасли, наиболее перспективным является не отдельный метод утилизации, а комплексный подход, в центре которого находятся ПВГС. Они дают редкое сочетание преимуществ: уменьшают токсичность продуктов взрыва, снижают количество опасных запасов, лучше работают в обводненных скважинах и способствуют более качественному дроблению породы. При этом термические методы все равно останутся незаменимыми для тех отходов, которые нельзя включить в гелевую матрицу, а каталитическая и сорбционная очистка выбросов должна стать обязательным элементом любого производства. Такой путь позволяет соединять оба требования в одной технологической цепочке, не выбирая между безвредностью и эффективностью.

На мой взгляд, именно в этом направлении стоит развивать дальнейшие исследования и практические внедрения. Горнодобывающим предприятиям нужны теоретически безопасные и экономически понятные решения, включающие стабильную рецептуру, удобную доставку, предсказуемое

действие и меньше рисков при хранении. ПВГС способны дать такой результат, если упростят сертификацию и будет сформирован спрос на вторичные ЭМ. Тогда утилизация отходов станет частью технологического обновления отрасли и перестанет быть затратной обязанностью.

Список литературы

1. С.М.Романова, А.М.Мадякина: СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ: // жур. Вестник технологического университета. Казань. 2023. Т.26, №11, стр.165-169. URL: https://elibrary.ru/item.asp?edn=mbxhep . (Дата обращения: 09.10.2026).

2. Н.И.Акинин, В.Э.Анников, Д.И.Михеев, В.В.Трунин: РАЗРАБОТКА ПОРОХОВЫХ ВОДНО-ГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ ПОНИЖЕННОЙ ЭКОТОКСИЧНОСТИ: // жур. Успехи в химии и химической технологии (издатель - РХТУ им. Д.И.Менделеева). 2015. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-porohovyh-vodno-gelevyh-sostavov-ponizhennoy-ekotoksichnosti/viewer. (Дата обращения: 10.10.2026).

3. К.М.Иоганов, А.М.Пыжов, И.К.Кукушкин, Я.С.Попов, А.В.Иванков, М.А.Янова, П.П.Пурыгин: ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРИНИТРОТОЛУОЛА: // Вестник СамГУ — Естественнонаучная серия. 2013. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obezvrezhivanie-utilizatsiya-i-pererabotka-othodov-proizvodstva-trinitrotoluola/viewer. (Дата обращения: 01.10.2026).

4. М.А.Керженцев, С.Р Хайрулин, А.В.Сальников, А.А.Гаврилова, О.Б.Сухова, Н.В.Шикина, З.Р.Исмагилов: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ И РАЗРАБОТКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ ПРОЦЕССА ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ: // жур. Химия в интересах устойчивого развития. 2007. Т.15, №6, стр.713–720. URL: https://www.sibran.ru/upload/iblock/5bd/5bd10a5e02b04074a307f088521adc49.pdf . (Дата обращения: 07.10.2026).

5. М.А.Романова, З.Т.Валишина, Р.А.Ибрагимов, А.В.Косточко: ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОСАДКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т.20, №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obezvrezhivanie-osadkov-tehnologicheskih-stochnyh-vod-proizvodstva-nitratov-tsellyulozy-soobschenie-1/viewer . (Дата обращения: 11.10.2026).