

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 549.766.13

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-37-45

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДИАФЕНА ФП ПОЛУЧЕНИЕМ МИРАБИЛИТА

Тихонов Виктор Владимирович, Тихомирова Анастасия Владимировна,
Ченская Валентина Васильевна

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: tav.htnv@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

25 декабря 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 января 2025 г.

Опубликована:

12 марта 2025 г.

Ключевые слова:

отходы производства,
техногенное сырье,
переработка отходов,
технологическая блок-схема
производства, мирабилит.

Аннотация.

Хранилище отходов производства диафена ФП на КАО «Азот», г. Кемерово, по данным на 2008 год занимало площадь 1,13 га и складировалось в шламонакопителе на территории предприятия, при этом в смеси содержатся вещества второго класса опасности. В 2024 году для отходов подобного класса опасности подобное хранение является нарушением, поэтому вопрос утилизации является актуальным. Чтобы не наносить вред экосистеме, предприятиям необходимо правильно организовывать сбор, хранение и утилизацию всех видов имеющихся отходов. Авторами осуществлялся выезд на место складирования отхода и взятие его пробы для выбора способа дальнейшей переработки.

Предложено два пути переработки отхода производства Диафена ФП. Приведены температурные зависимости, представлены результаты физико-химического анализа. На основании полученных данных дана рекомендация по дальнейшему использованию. Так как отход не отвечает требованиям Солут по ТУ 113-03-13-18-88 и не может использоваться в качестве сырья для изготовления стройматериалов, то рекомендуется рассматривать его как техногенное сырье для получения сульфата натрия в виде мирабилита. Предложено два технологических способа производства мирабилита, которые возможно осуществить на территории предприятия, используя уже имеющееся на нем оборудование.

Для цитирования: Тихонов В.В., Тихомирова А.В., Ченская В.В. Переработка отходов производства Диафена ФП получением Мирабилита // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 37-45. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-37-45, EDN: PVCGHS

Введение

Хранением отходов считается процесс их сбора в специальных объектах на срок более 11 месяцев с целью дальнейшей утилизации, обезвреживания или захоронения [1, 2]. Существует несколько видов отходов, и обращение с ними регулируется разными законодательными актами [3]. Большинство из промышленных отходов относится к наиболее токсичным 1-3 классам [4]. Такие отходы хранятся только на закрытых территориях — складских зданиях, отдельно выделенных помещениях, а также в боксах, отгороженных

площадях внутри помещений. Размещение на открытых площадках считается нарушением установленного порядка [5].

Хранилище отходов производства диафена ФП на КАО «Азот», г. Кемерово, по данным на 2008 год занимало площадь 1,13 га [6] и складировалось в шламонакопителе на территории предприятия. В 2024 году для отходов подобного класса опасности подобное хранение является нарушением, поэтому вопрос утилизации является актуальным.

Отход производства диафена ФП (Рис. 1) представляет собой сильно связанные кучи из



Рис. 1. Отвалы производства Диафена ФП
Fig. 1. Landfills of production of Diaphene FP



Рис. 2. Структура техногенного сырья в состоянии залежи. Взятие пробы.
Fig. 2. The structure of man-made raw materials in the state of deposit. Taking a sample.

влажного кристаллического материала черного цвета. Взятие пробы потребовало разбивания массы при помощи лома. С внешней стороны имеется незначительный слой бело-серого цвета.

Окраску придают основные органические примеси, содержание которых варьируется в пределах 1-1,7%. В отходах также содержатся нерастворимые примеси в количестве до 4,5%.

N-Изопропил-N'-фенил-п-фенилендиамин (торговая марка в России – Диафен ФП) производился на КАО «Азот» (г. Кемерово) до 2006 года, причем на территории бывшего СССР данное предприятие было единственным производителем этого важного продукта [7].

После закрытия производства отвалы не пополнялись новыми отходами.

Согласно технологии производства отход содержит следующие органические вещества:

1. N-Изопропил-N'-фенил-п-фенилендиамин (Диафен ФП) – белый кристаллический порошок, розовеющий при хранении. Не растворяется в воде и водно-щелочных растворах. Легко окисляется. Обладает наркотическим действием, вызывает нарушение функционального состояния печени, почек и щитовидной железы, канцероген.

2. Анилин (класс опасности – 2, ПДК 0,1-1 мг/м³) – ядовит, действует на центральную нервную систему, вызывает в крови образование



Рис. 3. Единичная проба отхода производства Диафена ФП
Fig. 3. A single sample of the production of Diaphene FP

метгемоглобина и дегенеративные изменения эритроцитов, гемолиз, следствием чего является кислородное голодание организма. Сильнейший кроветворный яд.

3. Дифениламин ((N-фенил)-анилин, анилинобензол) имеет класс опасности – 3. Поражает нервную, сердечно-сосудистую системы и систему крови. Раздражает кожу и всасывается через нее.

4. Нитродифениламин – вещество очень токсично для гидробионтов. Настоятельно рекомендуется не допускать попадания вещества в окружающую среду, поскольку оно очень долго сохраняется там без разрушения. Вещество может вызвать долговременные изменения в водной экосистеме.

Таким образом, встает острый вопрос о переработке данного вида отходов с получением товарного продукта либо с понижением класса опасности.

Так как большую часть отхода производства Диафена ФП составляют неорганические вещества, такие как сульфат натрия, хлорид натрия, тиосульфат натрия, а также твердые механические примеси и диоксид кремния, то было предложено использовать его как солевой ускоритель твердения (Солут по ТУ 113-03-13-18-88) [8-10]. Согласно техническим условиям [8] данный отход может применяться в качестве ускорителя твердения неармированного бетона [11], в качестве компонента золобетона и

закладочных смесей для выработанных горных пород, разжижителя цементно-сырьевого шлама и минерализатора клинкера; интенсификатора помолы цемента, добавки для повышения прочности огневого припаса, прочности и морозостойкости керамических материалов (кирпич глиняный, фаянс); средства профилактики примерзания, прилипания, смерзания твердых топлив, рудных и нерудных материалов (индивидуального или в комплексе с другими добавками, например с ЦСПК), а также средства борьбы с гололедом (со снежными и ледовыми образованиями) в смеси с песком или шлаком на автомобильных дорогах, технологических дорогах, подъездах и площадках угледобывающих разрезов.

Методы и результаты

В июле 2024 года была взята единичная проба отхода, с которой проведены аналитические и лабораторные исследования.

Согласно проведенному анализу, в 2024 году в пробах не обнаружен регламентируемый компонент – тиосульфат натрия (согласно ТУ его содержание должно быть не менее 20%), в процессе хранения под открытым небом атмосферными осадками были практически полностью вымыты из массы тиосульфат и хлорид натрия. В остатке – сильно загрязненный сернистый натрий (Рис. 3).

Вымывание тиосульфата и хлорида натрия обусловлено тем, что в интервале температур до

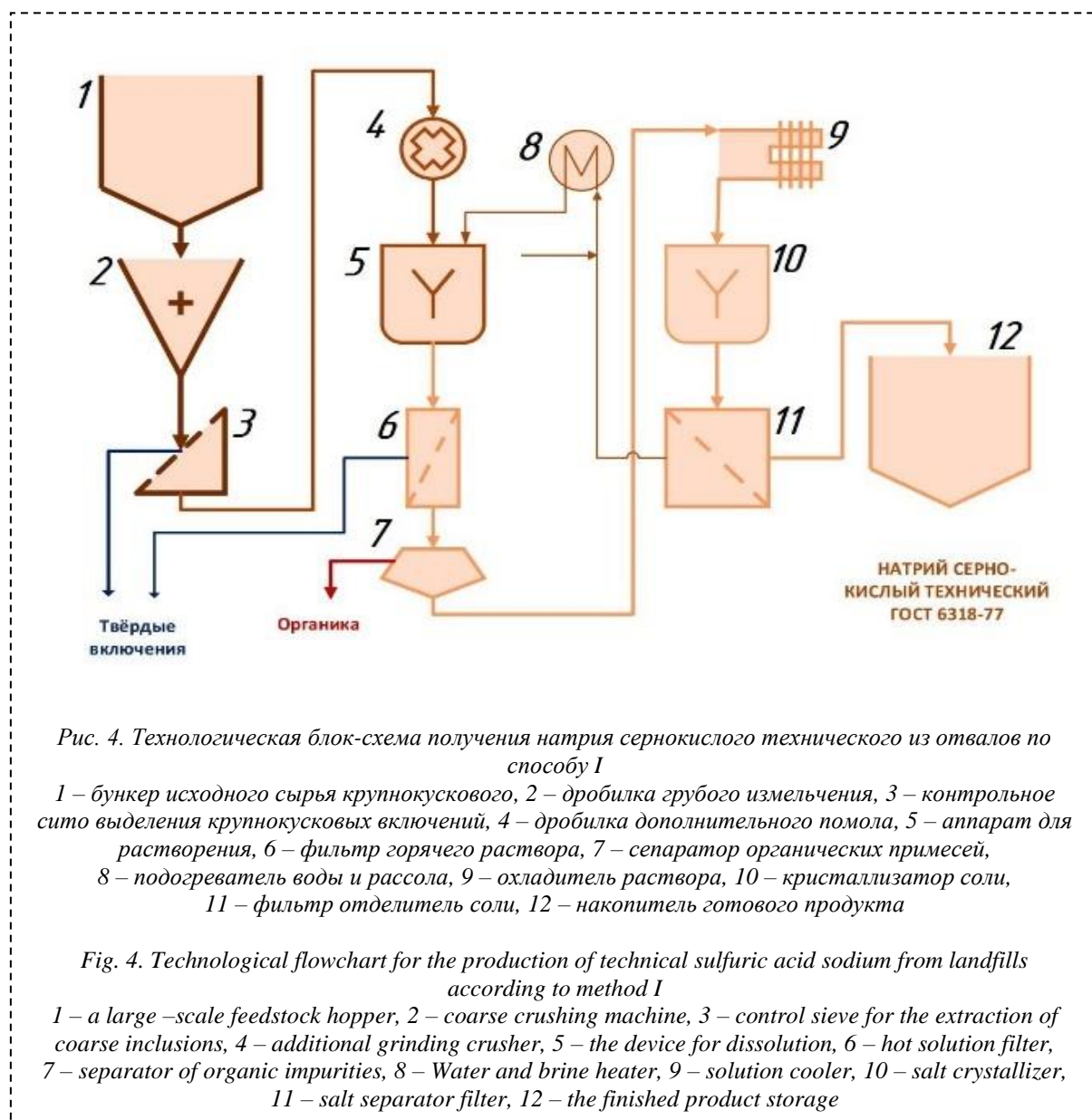


Рис. 4. Технологическая блок-схема получения натрия сернокислого технического из отвалов по способу I

1 – бункер исходного сырья крупнокускового, 2 – дробилка грубого измельчения, 3 – контрольное сито выделения крупнокусковых включений, 4 – дробилка дополнительного помола, 5 – аппарат для растворения, 6 – фильтр горячего раствора, 7 – сепаратор органических примесей, 8 – подогреватель воды и рассола, 9 – охладитель раствора, 10 – кристаллизатор соли, 11 – фильтр-отделитель соли, 12 – накопитель готового продукта

Fig. 4. Technological flowchart for the production of technical sulfuric acid sodium from landfills according to method I

1 – a large-scale feedstock hopper, 2 – coarse crushing machine, 3 – control sieve for the extraction of coarse inclusions, 4 – additional grinding crusher, 5 – the device for dissolution, 6 – hot solution filter, 7 – separator of organic impurities, 8 – Water and brine heater, 9 – solution cooler, 10 – salt crystallizer, 11 – salt separator filter, 12 – the finished product storage

25°C (что отвечает нашим климатическим параметрам) растворимость этих солей выше, чем у сернокислого натрия [12].

В данной работе не предлагается использовать отход для изготовления стройматериалов. В целом отход не отвечает требованиям Солут по ТУ 113-03-13-18-88 и не может называться Солут, а может рассматриваться как техногенное сырье для получения из него сульфата натрия в виде мирабилита.

Авторами предложено несколько путей переработки.

Первый путь начинается с приготовления насыщенного раствора из техногенного сырья при температуре 30-35°C (при данной температуре, согласно справочным таблицам растворимости, наблюдается наибольшая растворимость сульфата натрия в воде). При этом вся органическая составляющая находится

в твердом либо жидком состоянии [13]. Далее проводят фильтрование с поддержанием температуры 30-35°C, а затем охлаждение фильтрата до температуры 0-5°C с выпадением кристаллов мирабилита. После фильтрования с промывкой ледяной водой и сушки проведен рентгенофазовый анализ полученных кристаллов.

Исследование осуществлялось на дифрактометре «Колибри» фирмы «Буревестник». Рентгенограммы снимались с шагом 0,02 в интервале 5-80 град. 2θ с вращением 60 об/мин и выдержкой 1,0 сек. в точке. Эксперимент выполнен при стандартных условиях с использованием $\text{CuK}\alpha$ – излучения. Напряжение на трубке 40 кВ., ток 30 мА [14]. По данным анализа выделенные кристаллы представляют собой 100% мирабилит.

Упрощенная технологическая блок-схема приведена на Рис. 4.

Таблица 1. Результаты элементного анализа образца отходов «СОЛУТ» после прокаливании при 600°C

Table 1. The results of the elemental analysis of the SOLUT waste sample after calcination at 600 °C

Содержание, % масс. (в пересчете на)										
SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
23,73	41,60	1,22	0,74	0,10	0,03	0,25	32,20	0,02	0,08	0,04



Рис. 5. Примеси в техногенном сырье в состоянии залежи
 Fig. 5. Impurities in man-made raw materials in the state of deposit

Таблица 2. Характеристика и свойства мирабилита, используемого на производстве «Кучуксульфат», Алтайский край

Table 2. Characteristics and properties of mirabilite used in the production of "Kuchuksulfate", Altai region

Наименование показателей	Норма
1 Внешний вид	Прозрачные, бесцветные кристаллы, на воздухе выветривается, покрывается непрозрачной белой коркой безводного сернокислого сульфата натрия. Допускаются куски 250×250×250 мм. При больших размерах кусков мирабилит дробят.
2 Массовая доля Na ₂ SO ₄ , %	41,8
3 Массовая доля нерастворенного в воде остатка, %	2,0
4 Массовая доля хлоридов, в пересчете на NaCl, %	2,5
5 Массовая доля ионов Mg ⁺² , %	0,3
6 Массовая доля H ₂ O, %	60,0
7 Массовая доля CaSO ₄ , %	Не нормируется

Однако при таком способе переработки остается нерастворенный остаток, содержащий в своем составе часть органических веществ, диоксид кремния и другие твердые минеральные примеси, а также жидкая часть, содержащая анилин и остаточные количества сульфата натрия (при неизотермической кристаллизации около 0°C сульфат натрия остается в растворе в количестве порядка 4,5 г/100 г воды) [15].

Фактически класс опасности таким способом понизить не удастся, так как все опасные

вещества так или иначе остаются в неизменном состоянии. Поэтому был предложен второй способ переработки, который заключался в прокаливании исследуемого техногенного сырья при температуре 600°C. При такой температуре вся органическая составляющая либо улетучивается, либо сгорает и в системе остается сульфат натрия и механические примеси.

Согласно литературным данным, температура самовоспламенения анилина равна 562°C, температуры кипения всех заявленных

органических компонентов в исследуемом техногенном сырье не превышают 350°C, поэтому прокаливание можно проводить при более низких температурах. По данным рентгенофазового анализа кристаллическая часть представляет собой сульфат натрия. Результаты элементного анализа, выполненного на рентгенофлуоресцентном спектрометре SHIMADZU EDX-7000P, представлены в Таблице 1.

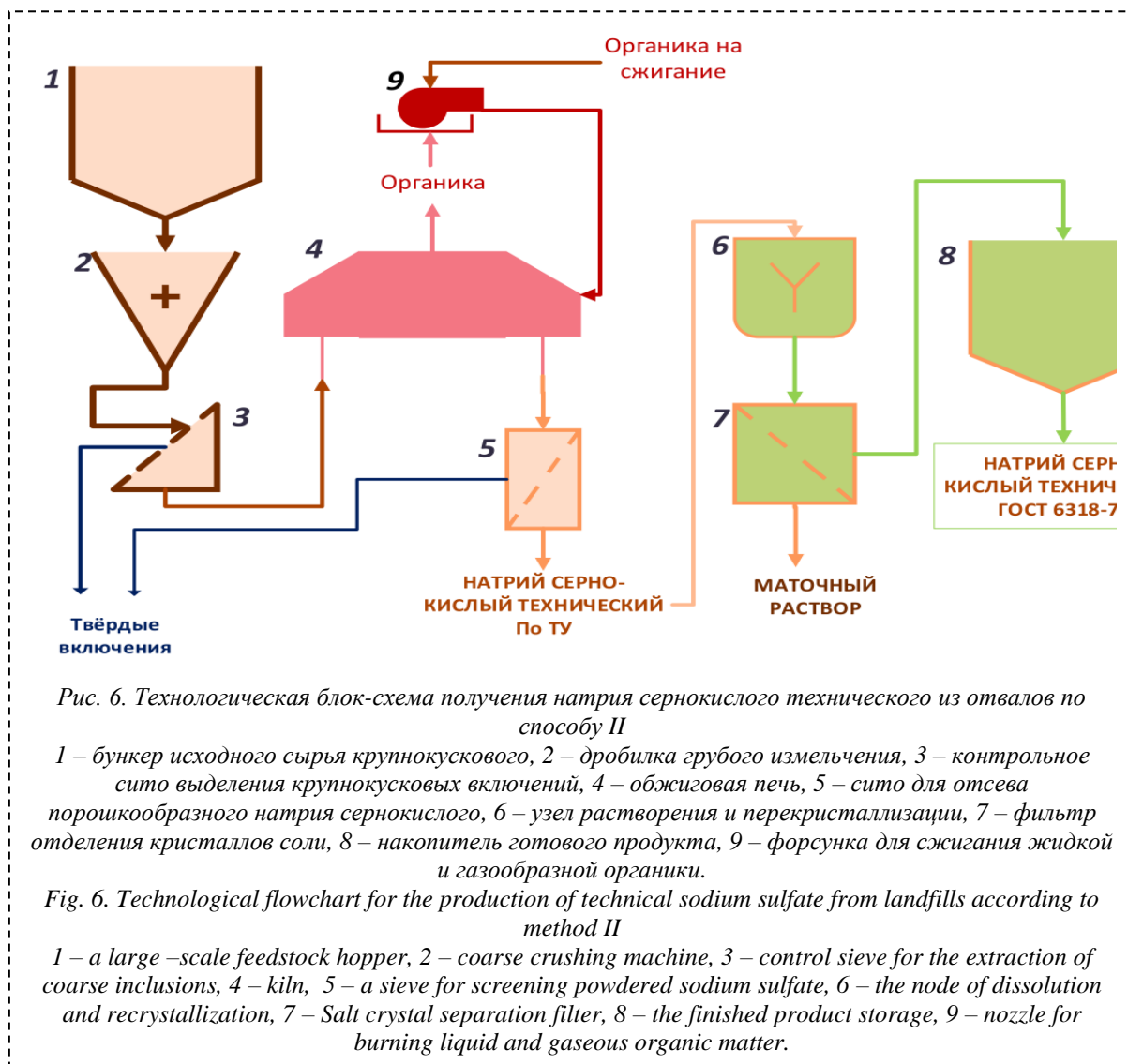
Значительное содержание неорганических примесей обусловлено загрязнением строительными отходами и отходами ремонта футеровки оборудования (Рис. 5).

Дальнейшая переработка и очистка от соединений кремния может проводиться с помощью приготовления насыщенного раствора, фильтрования и кристаллизации при 0-5°C с выпадением кристаллов мирабилита (как в способе 1), либо можно ограничиться только избавлением от органической составляющей с помощью прокаливания, после чего остается порошок, пригодный для производства сульфата натрия согласно СТП 05762306–22–2002.

При реализации второго способа отходящие газы должны содержать только N_2 , CO_2 , H_2O . Если рассматривать дальнейшую переработку, то отходами будут являться нерастворенный остаток (механические примеси, диоксид кремния) и жидкость, содержащая остаточные количества сульфата натрия.

Полученный на последней стадии производства мирабилит может служить сырьем для производства сульфата натрия (ближайшее предприятие – «Кучуксульфат», Алтайский край). Мирабилит должен соответствовать СТП 05762306–22–2002 (табл. 2). Химическая формула $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Молекулярная масса 322,19 г/моль.

Техногенное сырье подвергается ударному размельчению, позволяющему разрушить сrostки солей, но минимально разрушающему элементы футеровки и прочий мусор, которые отбиваются на сите. Размельченное до сыпучего состояния сырье подается в печь обжига, где прокаливается до температуры свыше 600°C. В качестве топлива возможно использовать жидкие и газообразные продукты, утилизируемые КАО



«Азот». На выходе из печи получается сыпучий порошок сернокислого натрия с включениями минеральных примесей. Исследования показали, что порошок после обжига проходит через сито с ячейками 0,1 мм. На сите остается менее 0,4% преимущественно диоксида кремния. В подситовом продукте примесей содержится менее 0,1%. Полученный сернокислый натрий целесообразно оформить новым нормативным документом ТУ.

Несложно довести качество продукта до ГОСТ 6318-77 Натрий сернокислый технический путем перекристаллизации.

Таким образом, в работе предложено два пути переработки отхода производства Диафена ФП. Приведены температурные зависимости, представлены результаты физико-химического анализа. На основании полученных данных дана рекомендация по дальнейшему использованию. Так как отход не отвечает требованиям Солут по ТУ 113-03-13-18-88 и не может использоваться в качестве сырья для изготовления стройматериалов, то рекомендуется рассматривать его как техногенное сырье для получения сульфата натрия в виде мирабилита. Предложено два технологических способа производства мирабилита, которые возможно осуществить на территории предприятия, используя уже имеющееся на нем оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) / https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 года № 84-р. Источник: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>
3. Любичкая А. В. Хранение отходов в 2024 году. Источник: <https://www.trudohrana.ru/article/104431-23-m7-hranenie-othodov-v-2023-godu>.
4. Федеральный классификационный каталог отходов. <https://rpn.gov.ru/fkko/?states=20&hazardClass%5B%5D=3>

5. Хранение отходов: что это такое, правила и требования, объекты, продолжительность. Источник:

<https://rcycle.net/othody/obrashhenie/hranenie-trebovaniya-pravila-obekty-prodolzhitelnost>.

6. Экологическая обстановка в промышленных центрах Кемеровской области. <https://kuzbasseco.ru/003/4.1.html>

7. Асаченко А. [и др.] Наноструктурированные катализаторы технологии Диафена ФП // Наноиндустрия. 2009. № 4. С. 32–34.

8. Технические условия ТУ 11303-13-88 «Солут» / Руковод. разраб. Ощепков И. А. [и др.] Кемерово, 1988. 21 с.

9. Ощепков И. А., Худоносова З. А. Побочные продукты химии – Na-соли органических и минеральных кислот и металлургии – доменные и сталеплавильные шлаки как сырье для производства малоцементных и безцементных бетонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2009. № 6(76). С. 66–72.

10. Патент RU 93 052 310 А Способ изготовления глиняного кирпича / Ощепков И. А., Худоносова З. А., Бурковец П. П., Грабарь В. В., Данилова Л. С., Аتماшкина Н. С. 27.03.1996.

11. Ощепков И. А. Химическая обработка минерального и топливного сырья на стадиях их подготовки и переработки в производстве портландцемента мокрым способом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2011. № 1(83). С. 87–94.

12. Куликова Л. Н. Натрия тиосульфат // Химическая энциклопедия: в 5 т. / Гл. ред. Кнунянц И. Л. М. : Большая Российская энциклопедия, 1992. Т. 3: Меди – Полимерные. С. 186–187. ISBN 5-85270-039-8.

13. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Книга по Требованию, 2024. 440 с.

14. Новый справочник химика и технолога. Общие сведения. Строение вещества. Физические свойства важнейших веществ. Ароматические соединения / ред. Библик Е. Е. 2006. 1466 с.

15. Дифрактометр рентгеновский «Колибри». Программный комплекс Difra Vision. Санкт-Петербург 2022

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Тихонов Виктор Владимирович – к.т.н., доцент кафедры Энергоресурсосберегающих процессов химических и нефтегазовых технологий, Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: tikhonovvv@kuzstu.ru

Тихомирова Анастасия Владимировна – к.х.н., доцент, доцент кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Ченская Валентина Васильевна – к.х.н., доцент, доцент кафедры химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: cvv.htnv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Тихонов Виктор Владимирович – пробоотбор, сбор и анализ данных, оформление графической части работы, выводы, написание текста;

Тихомирова Анастасия Владимировна – обзор соответствующей литературы, выполнение эксперимента, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Ченская Валентина Васильевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

RECYCLING OF WASTE FROM THE PRODUCTION OF DIAPHENE BY PRODUCING MIRABILITE

Viktor V. Tikhonov, Anastasia V. Tikhomirova,
Valentina V. Chenskaya

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: tav.htnv@kuzstu.ru



Article info

Received:

25 December 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

Accepted:

30 January 2025

Published:

12 March 2025

Keywords: industrial waste, man-made raw materials, waste recycling, technological flowchart of production, mirabilite

Abstract.

The storage of waste from the production of diaphene FP at the KAO "Azot", Kemerovo, as of 2008, covered an area of 1.13 hectares and was stored in a sludge storage facility on the territory of the enterprise, while the mixture contains substances of the second hazard class. In 2024, for waste of this hazard class, such storage is a violation. Therefore, the issue of recycling is relevant. In order not to harm the ecosystem, enterprises need to properly organize the collection, storage and disposal of all types of existing waste. The authors carried out a visit to the waste storage site and took a sample of it to select a method for further processing.

Two ways of processing the waste from the production of Diaphene FP have been proposed. Temperature dependences are given, and the results of physico-chemical analysis are presented. Based on the data obtained, recommendations for further use are given. Since the waste does not meet the requirements of Solut according to TU 113-03-13-18-88 and cannot be used as a raw material for the manufacture of building materials, it is recommended to consider it as a man-made raw material for the production of sodium sulfate in the form of mirabilite. Two technological methods of mirabilite production have been proposed, which can be carried out on the territory of the enterprise using the equipment already available on it.

For citation: Tikhonov V.V., Tikhomirova A.V., Chenskaya V.V. Recycling of waste from the production of Diaphene BY producing Mirabilite. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 7(167):37-45. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-1-37-45, EDN: PVCGHS

REFERENCES

1. Federal'nyj zakon ot 24.06.1998 N 89-FZ (red. ot 08.08.2024) "Ob othodah proizvodstva i potrebleniya" (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.09.2024) / https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c
2. Rasporjazhenie Pravitel'stvo Rossijskoj Federacii ot 25 yanvarya 2018 goda N 84-r. Istochnik: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>
3. Lyubickaya A.V. Hranenie othodov v 2024 godu. Istochnik: <https://www.trudohrana.ru/article/104431-23-m7-hranenie-othodov-v-2023-godu>.
4. Federal'nyj klassifikacionnyj katalog othodov. <https://rpn.gov.ru/fkko/?states=20&hazardClass%5B%5D=3>
5. Hranenie othodov: chto eto takoe, pravila i trebovaniya, ob'ekty, prodolzhitel'nost'. Istochnik: <https://rcycle.net/othody/obrashhenie/hranenie-trebovaniya-pravila-obekty-prodolzhitel'nost>.
6. Ekologicheskaya obstanovka v promyshlennyyh centrakh Kemerovskoj oblasti. <https://kuzbasseco.ru/003/4.1.html>
7. Asachenko A. [et al]. Nanostrukturirovannyye katalizatory tekhnologii Diafena FP. *Nanoindustriya*. 2009; 4:32–34.
8. Tekhnicheskie usloviya TU 11303-13-88 «Solut» / Rukovod. razrab. Oshchepkov I.A. i dr. Kemerovo, 1988.- 21 s.
9. Oshchepkov I.A., Hudonosova Z.A. Pobochnyye produkty himii – Na-soli organicheskikh i mineral'nykh kislot i metallurgii – domennyye i staleplavil'nye shlaki kak syr'e dlya proizvodstva malocementnykh i bescementnykh betonov. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009; 6(76):66–72.
10. Patent RU 93 052 310 A Sposob izgotovleniya glinyanogo kirpicha / Oshchepkov I.A., Hudonosova Z.A., Burkovec P.P., Grabar' V.V., Danilova L.S., Atmashkina N.S. 27.03.1996.
11. Oshchepkov I.A. Himicheskaya obrabotka mineral'nogo i toplivnogo syr'ya na stadiyah ih podgotovki i pererabotki v proizvodstve portlandcementsa mokrym sposobom. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011; 1(83):87–94.
12. Kulikova L.N. Natriya tiosulfat // Himicheskaya enciklopediya: v 5 t. / Gl. red. Knunyanc I.L. M.: Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya; 1992. T. 3: Medi – Polimernyye. S. 186–187. ISBN 5-85270-039-8.
13. Lur'e Yu. Yu. Spravochnik po analiticheskoy himii. M.: Kniga po Trebovaniyu; 2024. 440 s.
14. Novyy spravochnik himika i tekhnologa. Obshchie svedeniya. Stroenie veshchestva. Fizicheskie svoystva vazhnejshih veshchestv. Aromaticheknie soedineniya / red. Bibik E.E. 2006. 1466 s.
15. Difraktometr rentgenovskij «Kolibri». Programmnyj kompleks Difra Vision. Sankt-Peterburg, 2022.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Viktor V. Tikhonov – C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Energy-Resource-saving Processes of Chemical and Oil and Gas Technologies, Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia, e-mail: tikhonovvv@kuzstu.ru

Anastasia V. Tikhomirova – C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia, e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Valentina V. Chenskaya – C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia, e-mail: cvv.htnv@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Viktor V. Tikhonov – sampling, data collection and analysis, design of the graphic part of the work, conclusions, writing the text;

Anastasia V. Tikhomirova – review of relevant literature, experiment execution, data collection and analysis, conclusions, writing text;

Valentina V. Chenskaya

– review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing text.

All authors have read and approved the final manuscript.

