

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РАССОЛОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ
ИЗ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ****С.В. Лановецкий, О.Е. Нисина, О.К. Косвинцев**

Сергей Викторович Лановецкий (ORCID 0000-0002-2490-1706)*, Ольга Евгеньевна Нисина (ORCID 0000-0003-0129-6782), Олег Константинович Косвинцев (ORCID 0000-0002-1935-9297)

Кафедра химической технологии и экологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: lsv98@mail.ru*, o.nisina@mail.ru, kosvintsev@bf.pstu.ru

В работе представлены результаты исследования состава твердых галитовых отходов (галитовый отвал и карьерная соль) калийного производства. Определена форма нахождения сульфата кальция и его локализация в твердых галитовых отходах. Установлено, что в карьерной соли сульфат кальция представлен в форме ангидрита и дигидрата, а в галитовом отвале примесь находится только в форме ангидрита. Фотомикроскопическая съемка поверхности крупных кристаллов галита показала, что сульфат кальция в галитовом отвале локализуется, в основном, на поверхности галита, а на частицах карьерной соли кристаллы сульфата кальция вдавлены в кристаллическую поверхность галита благодаря процессам растворения – кристаллизации, протекающим под действием атмосферных осадков и перепадов температур. Дана оценка влияния ультразвукового и гидромеханического воздействия на обрабатываемую водную суспензию галитовых отходов для очистки от примеси сульфата кальция. Доказана возможность удаления большей части CaSO_4 без проведения дополнительной реагентной обработки галитовой суспензии. Найдены оптимальные технологические параметры длительности и интенсивности ультразвукового и гидромеханического воздействия на обрабатываемую среду. Установлено, что ультразвуковая обработка галита в насыщенном солевом рассоле хлорида натрия при соотношении Ж:Т = 5:1 в течение 6 мин с частотой 22 кГц, интенсивностью 9,4 Вт/см², амплитудой ультразвуковых колебаний 80 мкм и интенсивном перемешивании позволяет достичь 80%-го извлечения сульфата кальция как из карьерной соли, так и из галитового отвала. На основе полученных результатов продемонстрирована целесообразность использования ультразвуковой обработки и предложена эффективная технология приготовления рассолов хлорида натрия и (или) технической соли с остаточным содержанием примесей сульфата кальция менее 0,5% мас., которая в дальнейшем может использоваться в различных производствах.

Ключевые слова: галитовый отвал, карьерная соль, хлорид натрия, ультразвуковая очистка

DEVELOPMENT OF SODIUM CHLORIDE BRINES TECHNOLOGY FROM HALITE WASTE**S.V. Lanovetskiy, O.E. Nisina, O.K. Kosvintsev**

Sergey V. Lanovetskiy (ORCID 0000-0002-2490-1706)*, Olga E. Nisina (ORCID 0000-0003-0129-6782), Oleg K. Kosvintsev (ORCID 0000-0002-1935-9297)

Department of Chemical Technology and Ecology, Perm National Research Polytechnic University, Komsomol'skiy ave., 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: lsv98@mail.ru*, o.nisina@mail.ru, kosvintsev@bf.pstu.ru

The results of a study of the composition of solid halite waste (halite dump and quarry salt) from potash production were presented in the work. The form of calcium sulfate and its localization in solid halite waste have been determined. It was established that in the quarry salt calcium sulfate was presented in the form of anhydrite and dihydrate, and in the halite dump the impurity was only in the form of anhydrite. Photomicroscopic photography of the surface of large halite crystals showed that calcium sulfate in the halite dump was localized mainly on the surface of halite, and on particles of quarry salt. Calcium sulfate crystals were pressed into the crystalline surface of halite due to the processes of dissolution - crystallization occurring under the influence of atmospheric precipitation and changes temperatures. An assessment of the influence of ultrasonic and hydromechanical effects on the treated aqueous suspension of halite waste for purification of calcium sulfate impurities was presented. The possibility of removing most of the CaSO_4 without additional reagent treatment of the halite suspension has been proven. The optimal technological parameters for the duration and intensity of ultrasonic and hydromechanical effects on the treated environment have been found. It was found that ultrasonic treatment of halite in a saturated salt brine of sodium chloride at a ratio of $L:S = 5:1$ for 6 min with a frequency of 22 kHz, intensity of 9.4 W/cm^2 , amplitude of ultrasonic vibrations of $80 \mu\text{m}$ and intensive stirring allows to achieve 80% extraction of calcium sulfate from both quarry salt and halite dump. Based on the results obtained, the feasibility of using ultrasonic treatment was demonstrated and an effective technology was proposed for the preparation of sodium chloride and (or) technical salt brines with a residual calcium sulfate impurity content of less than 0.5 wt.%, which can subsequently be used in various industries.

Key words: halite dump, quarry salt, sodium chloride, ultrasonic cleaning

Для цитирования:

Лановецкий С.В., Нисина О.Е., Косвинцев О.К. Разработка технологии получения рассолов хлорида натрия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 1. С. 74–82. DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6909.

For citation:

Lanovetskiy S.V., Nisina O.E., Kosvintsev O.K. Development of sodium chloride brines technology from halite waste. *ChemChemTech [Изв. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 1. P. 74–82. DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6909.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе обогащения сильвинитовых руд Верхнекамского калийного месторождения флотационным и галургическим способом образуется огромное количество твердых галитовых отходов [1-6] основу которых составляет NaCl , являющийся востребованным сырьевым источником в технологиях получения каустической и кальцинированной соды, соляной кислоты, газообразного и жидкого хлора, металлического натрия и других продуктов неорганического синтеза [7-16].

Использование твердых солевых отходов калийных обогатительных предприятий без предварительной стадии очистки значительно сокращает сферы их применения из-за наличия таких примесей как $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, Fe_2O_3 , CaSO_4 [17-19]. Одним из самых критичных соединений, лимитирующих возможность использования галитовых отходов для производства продуктов неорганической химии, является сульфат кальция, доля которого в твердой фазе галитовых отходов может достигать 3% [20]. Высокая концентрация данного соединения в отходах калийной промышленности

значительно усложняет их переработку. Низкая растворимость CaSO_4 в воде приводит к инкрустации и повышенному износу производственного оборудования, а также негативным образом отражается на потребительских характеристиках готовых продуктов. На действующих технологиях обогащения галитовых отходов для снижения концентрации сульфата кальция используют такие технологические приемы как гидромеханическая сепарация и реагентная обработка водной суспензии галита [21-23]. Однако, использование химических реагентов существенным образом сказывается на продолжительности переработки и себестоимости готовой продукции, а стадия гидромеханической очистки, как правило, недостаточно эффективна для удаления требуемого количества сульфата кальция.

Таким образом, проблема создания достаточно эффективной и рентабельной технологии переработки галитовых отходов с получением очищенных рассолов хлорида натрия является весьма актуальной и перспективной задачей.

Целью представленной работы явилось исследование процесса ультразвуковой очистки от

примесей CaSO_4 твердых отходов калийных обогатительных предприятий и разработка технологии приготовления рассолов хлорида натрия с минимальным содержанием примесей.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования использовали пробы галитовых отходов (карьерная соль и галитовый отвал) ПАО «Уралкалий» следующего химического состава. Карьерная соль, % мас.: NaCl – 93,2; KCl – 1,4; CaSO_4 – 1,1; $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 1,6. Галитовый отвал, % мас.: NaCl – 93,6; KCl – 1,6; CaSO_4 – 2,6. Размер частиц галита не превышал 0,8 мм.

Принципиальная разница карьерной соли и галитового отвала заключалась в том, что галитовый отвал — это отход, взятый непосредственно с обогатительной фабрики сразу после обогащения сиввинитовой руды, а карьерная соль – это тот же отход, но длительное время пролежавший на открытых площадках солеотвалов.

Концентрацию CaSO_4 в экспериментальных пробах оценивали гравиметрическим методом посредством анализа массы сульфата бария, полученного путем взаимодействия аниона SO_4^{2-} с катионом Ba^{2+} , вводимом в систему в виде хлорида бария.

Моделирование процесса очистки галита от примесей сульфата кальция проводили в насыщенных при температуре 25 °С растворах хлорида натрия, которые готовили путем растворения галитового отвала или карьерной соли в воде с последующей фильтрацией нерастворимого остатка. Дисперсная фаза обрабатываемой суспензии представляла собой навеску соответствующих галитовых отходов.

Схема лабораторной установки, используемой для исследования процесса очистки галитовых отходов, приведена на рис. 1.

В качестве источника ультразвука использовали аппарат ИЛ 100-6/1 с максимальной выходной мощностью 1500 Вт. Частота ультразвуковых колебаний составляла $22 \pm 10\%$ кГц. Изменение амплитуды ультразвуковых волн (A) варьировали в интервале 0-80 мкм за счет установки различных волноводов-излучателей с коэффициентом усиления 1:0,5, 1:1 и 1:2. Интенсивность ультразвукового воздействия (I) на обрабатываемую суспензию изменялась в диапазоне 0-12,8 Вт/см².

Гидродинамику потока суспензии в реакторе оценивали при помощи модифицированного критерия Рейнольдса ($\text{Re}_m = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu}$), который варьировался в интервале $\text{Re}_m = 4900-11000$. Длитель-

ность ультразвуковой обработки изменялась в диапазоне 2 - 8 мин. Исследования проводили при соотношении жидкой и твердой фазы в интервале Ж:Т = 3–7:1.

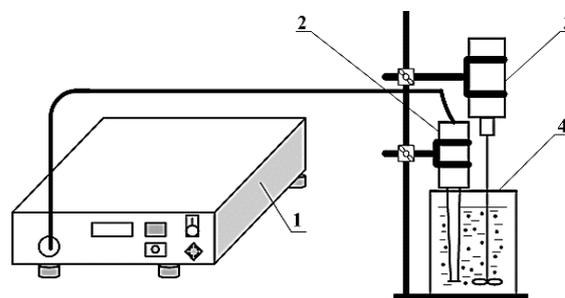


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – генератор ультразвуковых колебаний; 2 – волновод; 3 – мешалка лабораторная с цифровым дисплеем; 4 – стеклянный реактор

Fig. 1. Scheme of the laboratory setup: 1 – generator of ultrasonic vibrations; 2 – waveguide; 3 – laboratory stirrer with digital display; 4 – glass reactor

После проведения экспериментальных исследований по ультразвуковой очистке суспензию, путем декантации, разделяли на твердую и жидкую фазы. В процессе декантации мелкодисперсные частицы сульфата кальция со средним размером 20-80 мкм, отделенные от крупных частиц галита при помощи ультразвукового воздействия, удаляются вместе с жидкой фазой. Оставшуюся твердую фазу в виде очищенного галита подвергали сушке и оценивали в ней концентрацию сульфата кальция.

Фазовый анализ кристаллизата до и после обработки карьерной соли и галитового отвала выполняли на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000. Расшифровка рефлексов рентгенограмм проводилась при помощи программы «XRD 6000/7000 Ver. 5.21».

Морфологию анализируемых образцов галита и химический состав оценивали в режиме детектирования обратно-рассеянных электронов (BSE) на сканирующем электронном микроскопе «S-3400N» с рентгенофлуоресцентной приставкой Bruker XFlash.

Исследования изменения гранулометрического состава анализируемых образцов галита до и после очистки проводили при помощи лазерного анализатора размера частиц «Mettler Toledo» FBRM D600.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгенограммы образцов галитового отвала и карьерной соли показаны на рис. 2. В отличие от галитового отвала, в фазовом составе которого обнаружены такие соединения как NaCl , KCl

и безводный CaSO_4 (ангидрит), в образцах карьерной соли сульфат кальция присутствует уже в виде двух разновидностей: безводной (ангидрит) и двуводной (дигидрат).

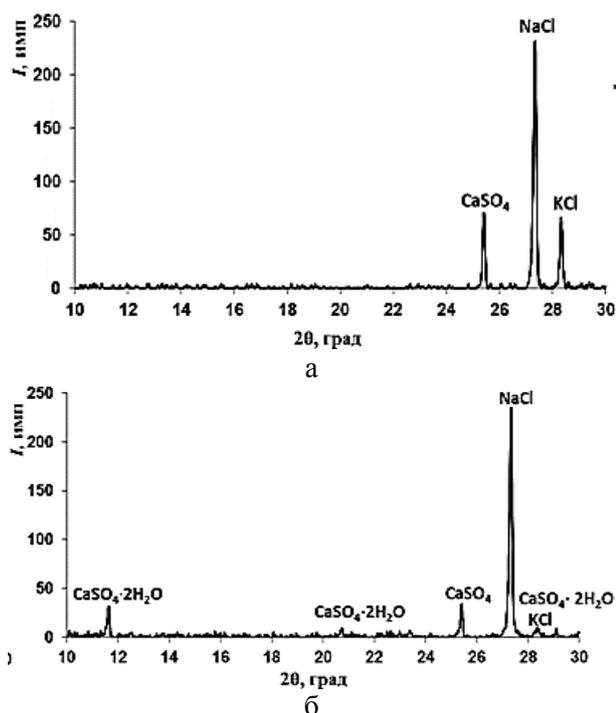


Рис. 2. Рентгенограмма образцов галитовых отходов: а – галитовый отвал, б – карьерная соль
Fig. 2. X-ray pattern of halite waste samples: a – halite dump, б – quarry salt

Появление дигидрата сульфата кальция в анализируемых пробах карьерной соли непосредственно связано с размещением галита на открытых площадках. Длительное нахождение данной категории отходов под воздействием атмосферных осадков способствует процессу гидратации сульфата кальция и формированию его двуводной модификации.

С целью оценки локализации сульфата кальция в образцах карьерной соли и галитового отвала проведен фотомикроскопический и рентгеноспектральный анализ поверхности исследуемых проб галита. На рис. 3 показано, что кристаллическая поверхность галита насыщена мелкими вкраплениями частиц CaSO_4 со средним размером в диапазоне 20-80 мкм.

Из рисунков видно, что сульфат кальция в галитовом отвале локализуется, в основном, на поверхности галита, а на частицах карьерной соли кристаллы CaSO_4 как бы вдавлены в кристаллическую поверхность галита, что осложняет их удаление в процессе простой гидромеханической очистки. Данный эффект объясняется тем, что в результате

длительного хранения карьерной соли на открытых площадках под действием окружающей атмосферы и перепадов температур постоянно протекают процессы, связанные с растворением и последующей кристаллизацией галита. Все это, в свою очередь, приводит к окклюзионному захвату агрегированными кристаллами галита малорастворимых частиц сульфата кальция.

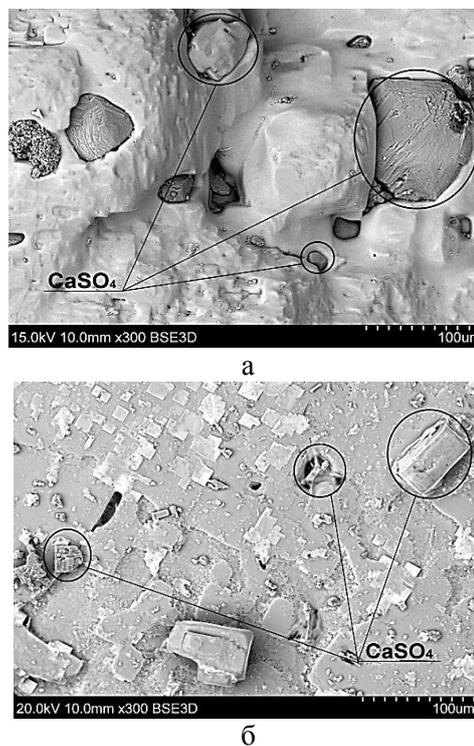


Рис. 3. Фотомикроскопический анализ кристаллических проб галита: а – карьерная соль, б – галитовый отвал
Fig. 3. Photomicroscopic analysis of halite waste: a – career salt, б – halite dump

Для оценки влияния на эффективность очистки проб галитовых отходов различных факторов ультразвукового воздействия проведена серия экспериментов, в процессе которых изменяли время воздействия и интенсивность ультразвуковых колебаний на суспензию галита в насыщенном рассоле хлорида натрия при соотношении Ж:Т = 5:1.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 4. Показано, что даже при 6 мин обработке эффективность очистки галитовых проб от CaSO_4 при низкой интенсивности ультразвукового воздействия ($I \leq 4,7 \text{ Вт/см}^2$) не превышает 50% для карьерной соли и 58% для галитового отвала. Однако, с повышением интенсивности ультразвукового воздействия до $9,4 \text{ Вт/см}^2$ степень очистки для галитового отвала и карьерной соли при 6 мин обработке возрастает до 80 и 82% соответственно.

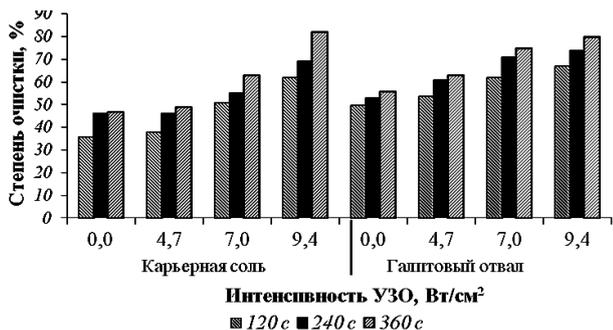


Рис. 4. Зависимость степени очистки галитовых проб от длительности и интенсивности ультразвукового воздействия
 Fig. 4. Influence of the duration and intensity of ultrasonic treatment on the purification degree of halite waste

В отходах карьерной соли для преодоления сил межкристаллического взаимодействия частиц NaCl и CaSO₄ интенсивности ультразвуковой обработки в диапазоне 0-4,7 Вт/см² недостаточно, что отражается на низкой степени очистки. В то же время рост интенсивности ультразвука до 9,4 Вт/см² приводит к частичному разрушению агрегированных кристаллов галита, высвобождению адсорбированных частиц сульфата кальция и росту степени очистки. В галитовом отвале благодаря отсутствию эффектов растворения и кристаллизации, присутствующих в карьерной соли из-за длительного хранения на открытом воздухе, окклюзионный захват частиц сульфата кальция поверхностью галита выражен менее значительно, что позволяет, даже при низкой интенсивности ультразвукового воздействия, весьма эффективно удалять их с поверхности частиц хлорида натрия.

В процессе проведения исследований представлена оценка влияния амплитуды ультразвуковых колебаний на степень очистки анализируемых проб галита. Диапазон изменения амплитуды колебаний (A) варьировался в интервале 20-80 мкм, при

этом длительность процесса ($\tau = 360\text{с}$) и интенсивность УЗ-обработки (УЗО) (9,4 Вт/см²) оставались постоянными для всех опытов данной серии.

Результаты экспериментальных данных представлены в табл. 1.

Таблица 1
 Зависимость степени очистки галитовых проб от амплитуды ультразвуковых колебаний
 Table 1. Dependence of the degree of purification of halite samples on the amplitude of ultrasonic vibrations

A, мкм	Степень очистки образцов от CaSO ₄ , %	
	Образцы карьерной соли	Образцы галитового отвала
20	56	52
40	62	68
80	82	80

Анализ представленных данных показал, что при минимальной амплитуде колебания ультразвуковых волн (A = 20 мкм) степень очистки от сульфата кальция чуть выше для карьерной соли. При амплитуде 40 мкм степень очистки для галитового отвала возрастает, что объясняется условиями формирования рассматриваемых отходов. Максимальная степень очистки галита ($\geq 80\%$) вне зависимости от его происхождения достигается при амплитуде 80 мкм.

Результаты влияния времени ультразвуковой обработки, соотношения жидкой и твердой фазы суспензии галита на эффективность очистки анализируемых проб при оптимальной интенсивности ультразвуковой обработки и амплитуде ультразвуковой волны (I = 9,4 Вт/см², A = 80 мкм) представлены в табл. 2. Для сравнения эффективности очистки использовался контрольный эксперимент с гидромеханической обработкой суспензии (Re_м = 7500) без ультразвукового воздействия в течение 8 мин.

Таблица 2
 Влияние соотношения Ж:Т и длительности обработки суспензии на степень очистки
 Table 2. Influence of the L:S ratio and the duration of suspension treatment on the purification degree

Галитовые отходы	Условия обработки	Длительность процесса, мин	Степень очистки, %				
			Ж:Т = 3:1	Ж:Т = 4:1	Ж:Т = 5:1	Ж:Т = 6:1	Ж:Т = 7:1
Карьерная соль	г/м обработка без УЗ	8	46,3	48,9	51,5	52,6	53,3
	Ультразвуковая очистка	2	62,6	64,8	65,9	65,9	66,3
		4	70,0	71,9	73,3	74,4	74,1
		6	67,8	75,9	82,2	82,2	81,9
		8	72,2	77,4	82,2	81,5	81,5
Галитовый отвал	г/м обработка без УЗ	8	61,9	63,1	64,6	65,4	65,0
	Ультразвуковая очистка	2	69,2	71,9	73,5	73,5	73,8
		4	72,7	73,5	79,2	79,2	80,0
		6	69,6	74,2	80,0	79,4	79,5
		8	71,5	76,2	79,9	78,5	79,2

Показано, что максимальная степень очистки $\geq 80\%$ как для карьерной соли, так и для галитового отвала достигается в течение 6 мин при соотношении Ж:Т = 5:1.

Для доказательства влияния гидродинамических условий на эффективность очистки галитовых проб проведены сравнительные эксперименты с ультразвуковой обработкой при оптимальных параметрах и без нее (контрольный режим). Длительность УЗ-обработки для всех опытов составила 6 мин, а длительность контрольного режима гидромеханической очистки равнялась 8 мин. В качестве влияющего фактора оценивалась интенсивность перемешивания суспензии, выраженной в виде числа Рейнольдса (Re_m), изменявшегося в диапазоне 4900-11000.

В табл. 3 показано, что повышение эффективности очистки от $CaSO_4$ в процессе УЗ-обработки происходит в интервале $Re_m = 4900-7500$, достигая максимального значения при $Re_m = 7500$. Дальнейшее увеличение интенсивности гидродинамического воздействия незначительно увеличивает степень очистки только в условиях контрольного режима без ультразвуковой обработки.

Как показали исследования, гидромеханическая обработка без использования ультразвука даже при весьма развитой интенсивности не позволяет достичь высокой степени очистки особенно для галитовых отходов, достаточно долго находившихся в солеотвалах (карьерная соль).

Таблица 3

Изменения степени очистки проб галита в зависимости от интенсивности перемешивания обрабатываемой среды

Table 3. Changes in the degree of purification of halite samples depending on the intensity of mixing of the treated material

Re_m	Степень очистки карьерной соли, %		Степень очистки галитового отвала, %	
	Без УЗО	УЗО	Без УЗО	УЗО
4900	47,2	75,7	53,1	76,1
6150	49,5	77,4	54,6	78,3
7500	52,3	82,1	56,2	80,2
8600	53,6	81,6	57,1	79,9
9800	54,2	81,9	57,8	80,4
11000	54,9	81,7	58,3	79,8

Процесс гидромеханической очистки галита от сульфата кальция без ультразвукового воздействия осуществляется за счет движущихся потоков жидкой фазы. Данный процесс не позволяет удалить частицы сульфата кальция, расположенные в углублениях и трещинах агрегированных

кристаллов галита. В свою очередь, благодаря кавитационному эффекту, создаваемому ультразвуковыми колебаниями, удастся извлечь примесные частицы $CaSO_4$, адсорбированные кристаллами галита, и значительно повысить степень очистки.

В результате проведенных экспериментальных исследований и определения оптимальных режимов процесса ультразвуковой очистки твердых отходов калийных обогатительных фабрик от сульфата кальция предложена эффективная технологическая схема приготовления раствора $NaCl$ и (или) технической соли из галитовых отходов (см. рис. 5).

Представленная схема включает следующие технологические операции. Мокрое измельчение карьерной соли до класса крупности не более 0,8 мм с последующей классификацией. Ультразвуковая обработка суспензии при соотношении Ж:Т = 5:1 с последующей гидросепарацией и удалением частиц сульфата кальция. Фильтрация очищенной суспензии на ленточном вакуум-филт্রে с последующей сушкой осадка в печи кипящего слоя и получением технической соли, либо направлением влажного осадка на стадию растворения с последующим осветлением насыщенного раствора $NaCl$ в отстойнике и удалением шлама.

Представленный способ производства технической соли и (или) рассола хлорида натрия позволяет получить качественное сырье, предназначенное для дальнейшей переработки или использования с остаточным содержанием сульфата кальция $\leq 0,5\%$ мас.

ВЫВОДЫ

Показано, что примесь сульфата кальция в карьерной соли, длительное время хранящейся на открытой площадке, присутствует в виде двух разновидностей – безводной (ангидрит) и двуводной (дигидрат). Наличие дигидрата сульфата кальция объясняется способом хранения галита и влиянием атмосферных осадков.

Установлено, что сульфат кальция в галитовом отвале локализуется, в основном, на поверхности галита, а на частицах карьерной соли кристаллы $CaSO_4$ как бы вдавлены в кристаллическую поверхность галита из-за процессов растворения – кристаллизации, протекающих под действием окружающей атмосферы и перепадов температур.

Определены оптимальные параметры технологии ультразвуковой очистки галитовых отходов от сульфата кальция. Показано, что ультразвуковая обработка суспензии галита в насыщенном солевом рассоле при соотношении Ж:Т = 5:1 в течение 6 мин с частотой 22 кГц, интенсивностью

УЗ-воздействия $9,4 \text{ Вт/см}^2$, амплитудой УЗ-колебаний 80 мкм и интенсивном перемешивании при $Re_m = 7500$ позволяет достичь эффективности очистки более 80% как для карьерной соли, так и для галитового отвала.

Предложена эффективная технологическая схема приготовления раствора NaCl и (или) техниче-

ской соли из галитовых отходов с остаточным содержанием сульфата кальция $\leq 0,5 \%$ мас.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

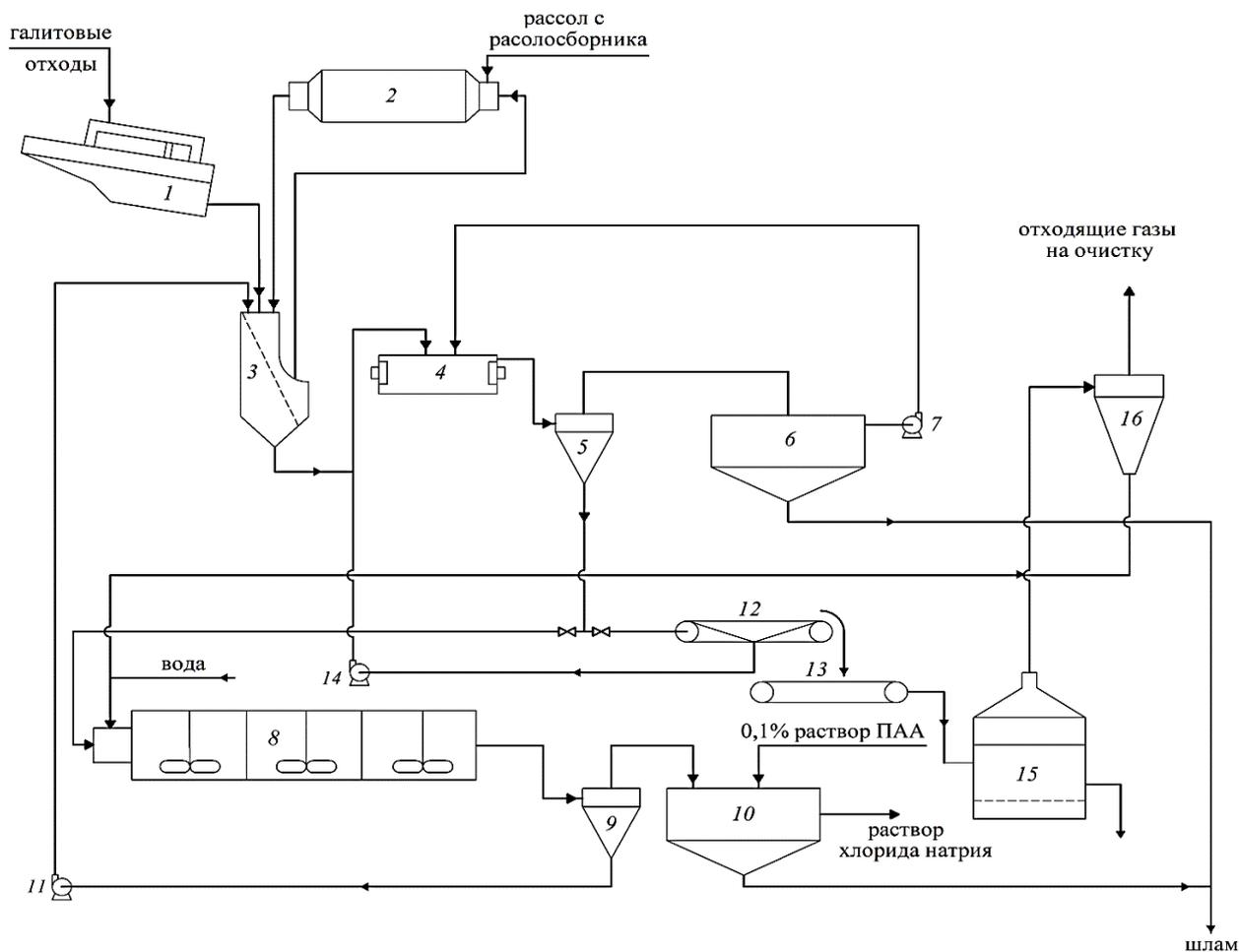


Рис. 5. Технологическая схема приготовления раствора хлорида натрия и технической соли: 1 – виброгрохот-дробилка; 2 – стержневая мельница; 3 – классификатор; 4 – ультразвуковая ванна; 5,9 – гидроциклоны; 6,10 – остойники; 7,11,14 – насос; 8 – растворитель; 12 – ленточный вакуум-фильтр; 13 – транспортер; 15 – сушилка кипящего слоя; 16 – циклон

Fig. 5. Technological scheme for the preparation of a sodium chloride solution and technical salt: 1 – vibrating screen-crusher; 2 – rod mill; 3 – classifier; 4 – ultrasonic bath; 5,9 – hydrocyclones; 6,10 – settling tanks; 7,11,14 – pump; 8 – dissolving apparatus; 12 – belt vacuum filter; 13 – transporter; 15 – fluidized bed dryer; 16 – cyclone

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей. *Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2017. Т. 16. № 1. С. 82-88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9.
2. Петрова Т.А., Астапенко Т.С., Кологривко А.А., Долгих А.С. Анализ воздействия хранилищ отходов калийного производства на окружающую среду и подходы к выбору рационального способа их складирования. *Вестн. евраз. науки*. 2022. Т. 14. № 3. С. 1-10.
1. Liskova M.Yu. Negative impact on the environment caused by companies that mine and process potassium and magnesium salts. *Vestnik PNIPU. Geolog. Neftegas. Gornoe Delo*. 2017. V. 16. N 1. P. 82-88 (in Russian). DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9.
2. Petrova T. A., Astapenko T.S., Kologrivko A.A., Dolgikh A.S. Analysis of the impact of potash waste storage facilities on the environment and approaches to choosing a rational way to store them. *Vestnik Evraz. Nauki*. 2022. V. 14. N 3. P. 1-10 (in Russian).

3. **Petrova T.A., Astapenka T.S., Kalahryuka A.A., Yesman M.M.** Reducing the geo-environmental impact of halite waste storage. *Mining Inform. Anal. Bull. (Sci. Tech. J.)*. 2022. N 10-1. P. 155-162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_101_0_155.
4. **Демидова М.И., Лихарева Ю.Е., Лапшина В.К.** Влияние галитовых отходов ОАО «Уралкалий» города Березники на почву и растительность. *Вестн. ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2014. № 2(14). С. 154-166.
5. **Князев В.В., Комаров Ю.А.** Экологические аспекты совместного размещения твердых галитовых отходов и глинисто-солевых шламов. *Горный журн.* 2016. № 4. С. 97-101. DOI: 10.17580/gzh.2016.04.20.
6. **Фомин С.И., Комаров Ю.А., Экгарт В.И.** Повышение безопасности складирования галитовых отходов. *Горн. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн. журн.)*. 2017. № S5-2. С. 161-169.
7. **Воробьева Е., Крутько Н.** Инновационные технологии переработки отходов калийной промышленности. *Наука и инновации*. 2013. Т. 6. № 124. С. 38-40.
8. **Лобачева Г.К., Овсянкин Р.В., Фоменко А.П., Гучанова А.И., Гучанова И.Ж.** Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки. Волгоград: ВГУ. 2011. 206 с.
9. **Перминова А.А., Рудакова Л.В.** Рекультивация солеотвалов на калийных предприятиях. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2022. Т. 1. С. 83-88.
10. **Ходько Е., Сероокий Ю.** Комплексное использование галитовых отходов калийного производства. *Наука и инновации*. 2016. № 10 (164). С. 40-42.
11. **Содников Ф.Б., Зулярова Н.Ш., Мирзакулов Х.Ч.** Исследования по получению рассолов для производства кальцинированной соды из галитовых отходов калийного производства. *Universum: техн. науки*. 2016. № 9(30). С. 41-45.
12. **Рахматов Х.Б., Самадий М.А., Ахмедов А.Н., Джураева Ш.Д., Тобаев Э.М.** Технология получения технического хлористого натрия из галитовых хвостов. *Молодой ученый*. 2015. № 19. С. 60-63.
13. **Кузенко Ю.Н., Лебеденко Ю.П., Михайлова Е.Н., Панасенко В.А.** Очистка твердого хлорида натрия в малоотходной технологии соды. *Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова*. 2014. № 1. С. 149-151.
14. **Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н.** Электрохимическая переработка дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства. *Бутлеров. сообщ.* 2015. Т. 43. № 7. С. 122-126.
15. **Курбангалеева Л.Р., Быковский Н.А., Даминев Р.Р.** Получение гидроксида кальция и соляной кислоты из дистиллерной жидкости. *Башир. хим. журн.* 2012. Т. 19. № 2. С. 36-39.
16. **Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Бахир В.М.** Электрохимическая активация в технологиях обогащения и переработки руд, вторичных сырьевых ресурсов и очистке вод. *Горн. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн. журн.)*. 2015. № 2. С. 75-81.
17. **Нисина О.Е., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К., Куликов М.А.** Исследование процесса извлечения примеси сульфата кальция из галитовых отходов различного происхождения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 4. С. 101-107. DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6483.
3. **Petrova T.A., Astapenka T.S., Kalahryuka A.A., Yesman M.M.** Reducing the geo-environmental impact of halite waste storage. *Mining Inform. Anal. Bull. (Sci. Tech. J.)*. 2022. N 10-1. P. 155-162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_101_0_155.
4. **Demidova M., Likhareva Yu., Lapshina V.** The influence of halite waste of OJSC «Uralkali» in the city of Berezniki on soil and flora. *Vestn. PNIPU. Prikladnaya Ekologiya. Urbanistika*. 2014. N 2(14). P. 154-166 (in Russian).
5. **Knyazev V.V., Komarov Yu.A.** Environmental aspects of the combined storage of halite wastes and clay-salt slimes. *Gornyi Zhurn.* 2016. N. 4. P. 97-101 (in Russian). DOI: 10.17580/gzh.2016.04.20.
6. **Fomin S.I., Komarov Y.A., Jekgart V.I.** Halite waste storage safety improving. *Gorn. Inform.-Analit. Bull. (Nauch.-Tekhn. Zhurn.)*. 2017. N S5-2. P. 161-169 (in Russian).
7. **Vorobyeva E., Krutko N.** Innovative technologies of potassium industry wastes recycling. *Nauka Innovatsii*. 2013. V. 6. N 124. P. 38-40 (in Russian).
8. **Lobacheva G.K., Ovsyankin R.V., Fomenko A.P., Guchanova A.I., Guchanova I.Zh.** Sostoyanie voprosa ob othodah i sovremennyh sposobah ih pererabotki. Volgograd: VGU. 2011. 206 p (in Russian).
9. **Perminova A.A., Rudakova L.V.** Recultivation of potassium enterprises' salt dumps. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2022. V. 1. P. 83-88 (in Russian).
10. **Khodko H., Serooki Yu.** Integrated use of halite waste potash production. *Nauka Innovatsii*. 2016. N. 10(164). P. 40-42 (in Russian).
11. **Soddikov F., Zulyarova N., Mirzakulov Kh.Ch.** Researches on reception of brines for manufacture of soda-ash from halite waste of potassium manufacture. *Universum: Tekhn. Nauki*. 2016. N. 9(30). P. 41-45 (in Russian).
12. **Rakhmatov H.B., Samadiy M.A., Akhmedov A.N., Dzhuraeva Sh.D., Togaev E.M.** Technology for obtaining technical sodium chloride from halite tailings. *Molodoy Uchenyi*. 2015. N. 19. P. 60-63 (in Russian).
13. **Kuzenko Yu.N., Lebedenko Yu.P., Mikhailova E.N., Panasenko V.A.** Purification of solid sodium chloride in low-waste soda technology. *Vestn. Belgorod. Gos. Tekhnol. Un-ta im. V.G. Shukhova*. 2014. N 1. P. 149-151 (in Russian).
14. **Bykovsky N.A., Puchkova L.N., Fanakova N.N.** Electrochemical processing of distiller fluid of the ammonia-soda manufacture. *Butlerov Soobshch.* 2015. V. 43. N 7. P. 122-126 (in Russian).
15. **Kurbangaleeva L.R., Bykovskiy N.A., Daminev R.R.** Producing of calcium hydroxide and hydrochloric acid from the distilled liquid. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2012. V. 19. N 2. P. 36-39 (in Russian).
16. **Kharlamova T.A., Alaferdov A.F., Bakhir V.M.** Electrochemical activation in technology of enrichment and recycling ores, second resources and water purification. *Gorn. Inform.-Analit. Bull. (Nauch.-Tekhn. Zhurn.)*. 2015. N 2. P. 75-81 (in Russian).
17. **Nisina O.E., Lanovetskiy S.V., Kosvintsev O.K., Kulikov M.A.** Study of the extraction process of calcium sulfate impurity from halite wastes of various origins. *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 4. P. 101-107 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226504.6483.

18. **Нисина О.Е., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К.** Влияние интенсивности ультразвукового воздействия на степень очистки галитовых отходов от примеси сульфата кальция. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 12. С. 122-128. DOI: 10.6060/ivkkt.20186112.5850.
19. **Нисина О.Е., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К.** Влияние параметров ультразвуковой обработки на остаточное содержание сульфата кальция в твердых галитовых отходах. *Вестн. технол. ун-та*. 2018. Т. 21. № 8. С. 70-73.
20. **Сарапулова Т.А., Калинина Е.В.** Характеристика жидких и твердых отходов калийного производства. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2017. Т. 2017. С. 111-116.
21. **Сальникова Е.О., Передерий О.Г.** Выбор осадителя при очистке сточных вод от сульфата кальция. *Цветные металлы*. 1983. № 12. С. 22-24.
22. **Кочкорова З.Б., Калчаева Б.Ш., Сулайманкулов К.С., Сатыбалдиев А.С.** К вопросу о технологии очистки природной соли. *Наука и новые технологии*. 2011. № 6. С. 71-72.
23. **Маслобоев В.А., Вигдергауз В.Е., Макаров Д.В., Светлов А.В., Некипелов Д.А., Селезнев С.Г.** Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горно-рудных предприятий. *Вестн. Кольского науч. центра РАН*. 2017. Т. 9. № 1. С. 99-115.
18. **Nisina O.E., Lanovetskiy S.V., Kosvintsev O.K.** Influence of intensity of ultrasonic action on degree of purification of halite waste from calcium sulphate impurity. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 12. P. 122-128 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20186112.5850.
19. **Nisina O.E., Lanovetskiy S.V., Kosvintsev O.K.** Influence of ultrasound processing parameters on the residual content of calcium sulfate in solid halite wastes. *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2018. V. 21. N 8. P. 70-73 (in Russian).
20. **Sarapulova T.A., Kalinina E.V.** Characteristics of liquid and solid waste potash production. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2017. V. 2017. P. 111-116 (in Russian).
21. **Sal'nikova E.O., Perederiy O.G.** The choice of precipitant in wastewater treatment from calcium sulfate. *Tsvetnye Metally*. 1983. N 12. P. 22-24 (in Russian).
22. **Kochkorova Z.B., Kalchaeva B.Sh., Sulaimankulov K.S., Satybaldiev A.S.** To a question on technology purification of natural salt. *Nauka Novye Tekhnol.* 2011. N 6. P. 71-72 (in Russian).
23. **Masloboev V.A., Vigdergauz V.E., Makarov D.V., Svetlov A.V., Nekipelov D.A., Seleznev S.G.** The methods of reducing sulphate concentrations in the waste water of mining enterprises. *Vestn. Kol'skogo Nauch. Tsentra RAN*. 2017. V. 9. N 1. P. 99-115 (in Russian).

Поступила в редакцию 23.05.2023
Принята к опубликованию 11.09.2023

Received 23.05.2023
Accepted 11.09.2023