





## Перспективы применения жидких отходов производства кальцинированной соды в качестве хладоносителя на основе тройной системы $\text{CaCl}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$





Светлана Е. Плотникова <sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@yandex.ru">burkovasweta@yandex.ru</a>	 0000-0002-6331-554X
Юрий С. Перегудов <sup>1</sup>	<a href="mailto:inorganic_033@mail.ru">inorganic_033@mail.ru</a>	 0000-0003-2129-3191
Елена М. Горбунова <sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>	 0000-0002-3550-0115
Сабухи И. Нифталиев <sup>1</sup>	<a href="mailto:niftaliev@gmail.com">niftaliev@gmail.com</a>	 0000-0001-7887-3061

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** В настоящее время актуальной проблемой является вторичное использование дистиллерной жидкости – отхода производства кальцинированной соды, который представляет собой водный раствор, содержащей около 10 % хлорида кальция и небольшое количество других солей. Предлагается применение раствора на основе дистиллерной жидкости в качестве хладоносителя в системе теплообмена при производстве соды. Введение в систему бихромата калия создает ингибирующий эффект и предотвращает коррозию труб. Для изучения фазовых равновесий в системе  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  построены диаграммы состояния при температурах 20, 3 и  $-7^\circ\text{C}$ . С понижением температуры гомогенная область заметно уменьшается и смещается к оси  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ . Эвтектическая точка ограничена очень узкой областью, в которой массовая доля бихромата калия не превышает 3 %. Методом Скрайнемакера установлено, что в области с содержанием хлорида кальция менее 40 % кристаллизуется бихромат калия. Для области, примыкающей к вершине хлорида кальция, установить состав твердой фазы и границы ее кристаллизации по методу Скрайнемакера невозможно. Это связано с тем, что бинарная система  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  является тройной взаимной системой  $\text{K}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . В этой области предполагается образование твердых растворов или соединений на основе бинарной системы  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{CaCr}_2\text{O}_7$ . Для интервала температур от  $-7^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$  предложен состав хладоносителя: 3 %  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10,2\%$   $\text{CaCl}_2 - 86,8\%$   $\text{H}_2\text{O}$ . В области температуры от  $20^\circ\text{C}$  до  $60^\circ\text{C}$  состав раствора: 6 %  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10\%$   $\text{CaCl}_2 - 84\%$   $\text{H}_2\text{O}$ .

**Ключевые слова:** дистиллерная жидкость, хладоноситель, диаграммы состояния, кальцинированная сода, отходы производства

## Prospects for the use of liquid waste from the production of sodium carbonate as a coolant based on the ternary system $\text{CaCl}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$

Svetlana E. Plotnikova <sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@yandex.ru">burkovasweta@yandex.ru</a>	 0000-0002-6331-554X
Yurii S. Peregudov <sup>1</sup>	<a href="mailto:inorganic_033@mail.ru">inorganic_033@mail.ru</a>	 0000-0003-2129-3191
Elena M. Gorbunova <sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>	 0000-0002-3550-0115
Sabukhi I. Niftaliev <sup>1</sup>	<a href="mailto:niftaliev@gmail.com">niftaliev@gmail.com</a>	 0000-0001-7887-3061

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Currently, the urgent problem is the secondary use of distillation liquid - a waste product from the production of sodium carbonate, which is an aqueous solution containing about 10 % calcium chloride and a small amount of other salts. It is proposed to use a solution based on a distiller liquid as a coolant in a heat exchange system in the production of soda. The introduction of potassium dichromate into the system creates an inhibitory effect and prevents pipe corrosion. To study phase equilibria in the  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  system, state diagrams were constructed at temperatures of 20, 3, and  $-7^\circ\text{C}$ . With decreasing temperature, the homogeneous region noticeably decreases and shifts to the  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  axis. The eutectic point is limited to a very narrow area in which the weight fraction of potassium dichromate does not exceed 3%. Using the Skrynemakers method, it was found that in a region with a calcium chloride content of less than 40 %, potassium dichromate crystallizes. For the region adjacent to the apex of calcium chloride, it is impossible to establish the composition of the solid phase and the boundaries of its crystallization using the Skrynemakers method. This is due to the fact that the binary system  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  is a ternary reciprocal system  $\text{K}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{Cl}^-, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . In this area, the formation of solid solutions or compounds based on the binary system  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{CaCr}_2\text{O}_7$  is supposed. For the temperature range from  $-7^\circ\text{C}$  to  $50^\circ\text{C}$ , the refrigerant composition was proposed: 3 %  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10,2\%$   $\text{CaCl}_2 - 86,8\%$   $\text{H}_2\text{O}$ . In the temperature range from  $20^\circ\text{C}$  to  $60^\circ\text{C}$ , the composition of the solution is: 6 %  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10\%$   $\text{CaCl}_2 - 84\%$   $\text{H}_2\text{O}$ .

**Keywords:** distiller liquid, coolant, phase diagrams, soda ash, production waste

### Введение

Кальцинированная сода – один из важнейших продуктов химической промышленности, имеющий обширные области применения и большие объемы производства. На каждую тонну соды, получаемой по аммиачному методу, образуется до  $9 \text{ м}^3$  дистиллерной жидкости,

содержащей около 10–10,5%  $\text{CaCl}_2$  и 5%  $\text{NaCl}$  и около 0,2% других примесей (карбоната и сульфата кальция, гашеной извести, песка) [1]. Также в ней содержится карбонат и гидроксид магния, примеси хлорида аммония и глинистых соединений.

Для цитирования

Плотникова С.Е., Перегудов Ю.С., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И. Перспективы применения жидких отходов производства кальцинированной соды в качестве хладоносителя на основе тройной системы  $\text{CaCl}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$  // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 233–238. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-233-238

For citation

Plotnikova S.E., Peregudov Yu.S., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I. Prospects for the use of liquid waste from the production of sodium carbonate as a coolant based on the ternary system  $\text{CaCl}_2\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$ . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 233–238. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-233-238

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Несмотря на то, что в настоящее время применяются различные способы переработки и утилизации дистиллерной жидкости [1–4], ввиду большого количества образующихся отходов значительная часть ее направляется в накопители, а затем сбрасывается в водоемы, что приводит к их загрязнению и засаливанию [3].

Исследована система  $\text{CaCl}_2 - \text{SrCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  при 288,15 К и получена фазовая диаграмма, которая использована для компьютерного моделирования рассола [5].

Основной задачей повышения экологической безопасности производства соды, особенно острой при возрастающих объемах производства, является разработка нового способа переработки и использования дистиллерной жидкости.

При производстве соды широко применяется система теплообмена, позволяющая экономить энергию на нагрев или охлаждение, необходимые для создания оптимального режима технологических процессов. В большинстве случаев рабочей жидкостью в системе служит вода. В настоящее время большое внимание уделяется эффективному и бережному использованию водных ресурсов. В связи с этим предлагается замена хладоносителя – воды на водный раствор на основе дистиллерной жидкости. Хладоноситель – промежуточное вещество, предназначенное для отвода теплоты от охлаждаемых объектов и передачи ее рабочему веществу (хладагенту) холодильной машины [6].

Для использования дистиллерной жидкости в системе теплообмена необходимо решить проблему коррозионной устойчивости материала труб теплопроводов, так как ионы  $\text{Cl}^-$  являются агрессивными активаторами коррозии [7]. Решить эту проблему можно с помощью добавления различных ингибиторов коррозии.

Широко известно применение бихромата калия или натрия в качестве ингибиторов коррозии сталей и алюминия в воде и пассиваторов при обработке нержавеющей сталей [8].

Изучение фазовых равновесий в трехкомпонентной системе  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  и разработка на ее основе хладоносителя, обладающего высокой теплопроводностью и инертностью по отношению к металлам, является целью исследования.

### Материалы и методы

Для построения диаграммы тройной системы применяли метод Скрейнемакенса. Рассчитывали и готовили смеси трех компонентов, состоящие из кристаллов и насыщенных растворов. Растворы термостатировали в течении суток при температуре 20 °С для установления равновесия, аналитическими методами определяли составы насыщенного раствора и твердой фазы, полученных из исходной смеси.

По точкам, соответствующим составам жидкой фазы и остатка, строили лучи [9]. Положение фигуративной точки твердой фазы на диаграмме растворимости определяется пересечением двух или нескольких лучей. Соединительные прямые между остатками и жидкой фазой пересекаются в пределах чертежа только тогда, когда твердые фазы имеют двойной или тройной состав. Если же твердая фаза отвечает составу одного из компонентов, фигуративная точка ее будет находиться в вершине, соответствующей этому компоненту.

Брали две пробы жидкой фазы, отличающихся друг от друга по составу, но находящихся в равновесии с одной и той же предполагаемой твердой фазой, пробу остатков, максимально отжатых от раствора, взвешивали пробы, растворяли в мерной колбе на 50 см<sup>3</sup> и определяли концентрацию ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и ионов  $\text{Cl}^-$ . По данным титрования рассчитывали массовые доли компонентов в пробе.

Для определения содержания  $\text{Ca}^{2+}$  в пробе использовали способ комплексонометрического титрования. К 10 см<sup>3</sup> раствора добавляли 2 см<sup>3</sup> аммиачного буфера (рН=8÷10), эриохром черный Т и титровали раствором ЭДТА с молярной концентрацией эквивалента 0,01 моль/дм<sup>3</sup>. Окраска раствора в конечной точке титрования изменялась с красной на голубую.

Содержание ионов хлора определяли меркурометрическим методом. Пробу объемом 10 см<sup>3</sup> помещали в коническую колбу, доводили объем до 100 см<sup>3</sup> дистиллированной водой. До начала титрования создавали кислую среду (рН 2,5) азотной кислотой, фиксируя ее значение, введением кислотно-основного индикатора бромфенолового синего, затем добавляли индикатор дифенилкарбазид и титровали раствором нитрата ртути (II) с молярной концентрацией эквивалента 0,02 моль/дм<sup>3</sup> до изменения цвета от лимонно-желтого до сине-сиреневого [10].

Для определения концентрации окрашенных растворов широко используется фотометрический метод [11, 12]. Концентрацию бихромат-иона рассчитывали по значению оптической плотности. Сначала измеряли оптическую плотность стандартного раствора при различных длинах волн. По спектру выбирали оптимальную длину волны, которой соответствует максимальное значение оптической плотности. Для построения градуировочного графика готовили серию растворов и проводили измерения при определенной длине волны  $\lambda$  (400 нм) (рисунок 1).

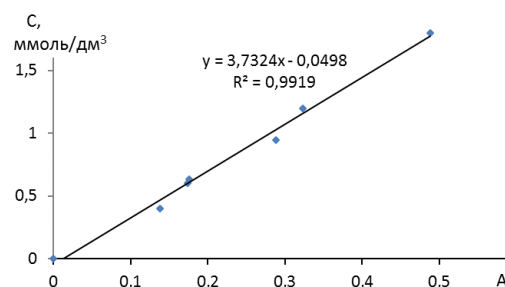


Рисунок 1. Зависимость молярной концентрации ионов  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  от оптической плотности A

Figure 1. Dependence of the molar concentration of  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  from the optical density of A

Фотометрировали исследуемые растворы и подставляли значения в уравнение линейной зависимости молярной концентрации  $C$  от оптической плотности  $A$ .

### Результаты и обсуждения

По полученным данным рассчитывали содержание солей в масс. % в жидкой и твердой

фазе (таблица 1). Строили ноды, соединяющие точку исходной смеси компонентов, жидкой и твердой фазы (рисунок 2). Три точки одной ноды должны лежать на одной прямой и быть направлены к точке, имеющей состав твердой фазы.

Таблица 1.

Состав исходной смеси компонентов, равновесной жидкой и твердой фаз

Table 1.

The composition of the initial mixture of components, equilibrium liquid and solid phases

Массовые доли в исходной смеси, % Mass fraction in the initial mixture, %			Фаза   Phase	Масса пробы для анализа, г Sample mass for analysis, g	Объем ЭДТА, см <sup>3</sup> EDTA volume, cm <sup>3</sup>	Объем Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> Volume Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , cm <sup>3</sup>	Оптическая плотность Optical density	Массовая доля компонентов, % Mass fraction of components, %		
CaCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	H <sub>2</sub> O						CaCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	H <sub>2</sub> O
40,00	10,00	50,00	ж	0,14	16,7	8,5	0,108	33,25	4,82	61,93
40,00	10,00	50,00	т	0,021	1	0,5	0,342	13,21	92,84	-6,06
32,00	8,00	60,00	ж	0,171	20,5	10,3	0,102	33,25	3,68	63,07
32,00	8,00	60,00	т	0,011	0,1	0,05	0,176	2,25	94,47	3,28
20,00	30,00	50,00	ж	0,19	17,3	8,8	0,189	25,30	5,84	68,86
20,00	30,00	50,00	т	0,035	0,6	0,3	0,56	4,13	89,70	6,17
12,00	18,00	70,00	ж	0,161	7,7	3,9	0,245	13,20	8,80	78,00
12,00	18,00	70,00	т	0,021	0,2	0,1	0,348	2,31	94,72	2,97

Соединительные прямые между кристаллами и жидкой фазой пересекаются в пределах чертежа только тогда, когда твердые фазы имеют двойной или тройной состав. Для нод, изображенных на рисунке 2, твердая фаза отвечает составу одного из компонентов – бихромату калия, фигуративная точка находится в вершине, соответствующей этому компоненту.

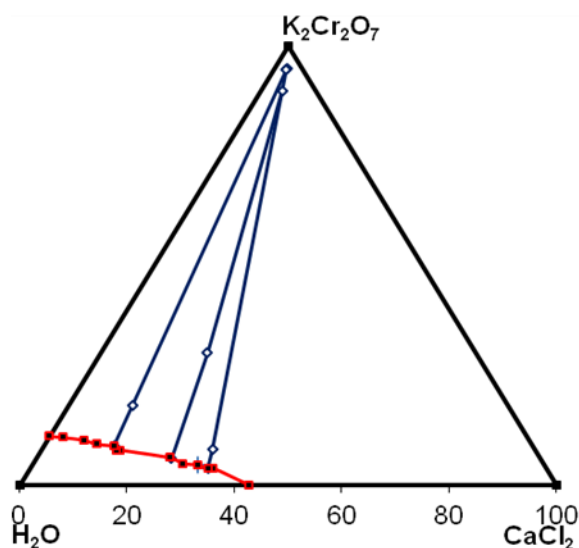


Рисунок 2. Диаграмма состояния системы CaCl<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – H<sub>2</sub>O при 20 °С

Figure 2. Диаграмма состояния системы CaCl<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – H<sub>2</sub>O при 20 °С

Бихромат калия кристаллизуется в верхней части треугольника составов, примыкающей к H<sub>2</sub>O, где массовая доля хлорида кальция не превышает 40%. Для области, примыкающей к вершине хлорида кальция, линейность нод нарушается. Установить состав твердой фазы и границы ее кристаллизации по методу Скрайнемакера невозможно. Это связано с тем, что бинарная система CaCl<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> является тройной взаимной системой K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>||Cl<sup>-</sup>, Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> и в ней возможно образование солей CaCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, KCl, а также двойных соединений. Из литературных источников известно, что в системе KCl – CaCl<sub>2</sub> существует двойная соль KCl–CaCl<sub>2</sub> [13,14]. Высокое содержание бихромат-иона в твердой фазе говорит о возможности образования твердых растворов или двойных соединений на основе системы CaCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Для изучения поведения системы в области низких температур исследования также проводили при +3 и -7 °С. Эксперимент проводили по той же методике, увеличив время достижения равновесия до 5 суток. На рисунке 3 изображены изотермы системы CaCl<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – H<sub>2</sub>O при температуре 3 °С и -7 °С.

С понижением температуры гомогенная область заметно уменьшается. В области с содержанием хлорида кальция менее 40% наблюдается образование твердой фазы в виде бихромата калия.

Состав твердой фазы, кристаллизующийся в области с содержанием хлорида кальция более 40% не установлен. Возможно образование кристаллогидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , (около состава 50,7% –  $\text{CaCl}_2$ –49,3%  $\text{H}_2\text{O}$ ) образование двойной соли  $\text{KCl} \cdot \text{CaCl}_2$ , твердых растворов и двойных солей на основе  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и  $\text{CaCr}_2\text{O}_7$ .

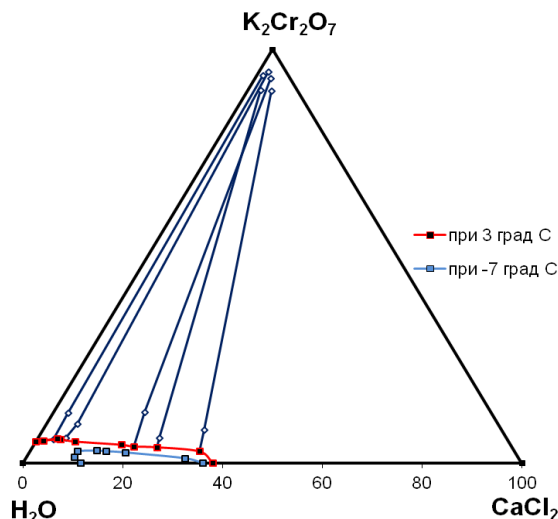


Рисунок 3. Диаграмма состояния системы  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  при температуре 3 °C и -7 °C

Figure 3. Diagram of the state of the  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  system at a temperature of 3 °C and -7 °C

При -7 °C область жидкой фазы очень мала и прилегает к оси  $\text{H}_2\text{O} - \text{CaCl}_2$ . Для некоторых растворов наблюдалось образование двух твердых фаз, одна из которых по составу была ближе к воде, а другая содержала ион бихромата. Все твердые фазы, кристаллизующиеся из растворов, имели оранжевый цвет и высокое содержание бихромат – иона. Твердая фаза в изученной области может состоять из бихромата калия, соединений или твердых растворов на основе бихроматов калия – кальция. Очевидно, что эвтектическая точка ограничена очень узкой областью, в которой содержание бихромата калия не превышает 3%.

Из результатов проведенного исследования можно сделать вывод, что хладоносители

на основе системы  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  могут применяться в ограниченном интервале температур. Известно, что при содержании в системе 3% бихромата калия коррозионная активность ионов  $\text{Cl}^-$  значительно уменьшается [15]. Содержание хлорида кальция в дистиллерной жидкости 10,5%. При добавлении 3% бихромата калия, массовая доля хлорида кальция изменяется, и раствор имеет состав 3%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10,2\% \text{CaCl}_2 - 86,8\% \text{H}_2\text{O}$  температурный интервал, в котором можно применять такой раствор, ограничен как нижним значением -7 °C (в противном случае возможно образование осадка в трубах), так и верхней границей в области 40–50 °C. При повышении температуры содержание бихромата калия должно быть выше в 2–3 раза, чтобы сохранялось его ингибирующее действие [15].

Для повышенной области температуры (от 20 °C до 60 °C) массовая доля  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  6% и состав раствора – хладоносителя: 6%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - 10\% \text{CaCl}_2 - 84\% \text{H}_2\text{O}$ .

### Заключение

Изучены фазовые равновесия в системе  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  при 20 °C, 3 °C и -7 °C. С понижением температуры гомогенная область на диаграмме состояния заметно уменьшается. В области с содержанием хлорида кальция меньше 40% происходит высаливание бихромата калия. Твердая фаза в области, прилегающей к хлориду кальция, вероятно представляет собой твердые растворы на основе бихроматов калия – кальция. Эвтектическая точка ограничена очень узкой областью, в которой содержание бихромата калия не превышает 3%.

Анализ диаграмм состояния показывает, что хладоносители на основе системы  $\text{CaCl}_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{O}$  могут применяться в определенном интервале температур. Установлены составы хладоносителя на основе дистиллерной жидкости с антикоррозионными свойствами для систем теплообмена в производстве кальцинированной соды.

### Литература

- 1 Быковский Н.А., Курбангалеева Л.Р., Даминов Р.Р. Переработка дистиллерной жидкости с получением товарных продуктов // Фундаментальные исследования. 2012. № 6–1. С. 209–213. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29967>
- 2 Пат. № 2647931, RU, В09В 3/00, F23G 5/027. Способ переработки твердых отходов производства кальцинированной соды аммиачным методом / Р.Н. Загидуллин, заявитель Государственное автономное научное учреждение «Институт прикладных исследований» Академии наук Республики Башкортостан. № 2015151158; Заявл. 27.11.2015; Опубл. 21.03.2018, Бюл. № 9.
- 3 Пат. № 2476386, RU, C02F 9/06, C01D 7/18. Способ переработки дистиллерной жидкости аммиачно-содового производства / Н.А. Быковский, заявитель Уфимский государственный нефтяной технический университет. № 2011138179/05; Заявл. 16.09.2011; Опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6.

- 4 Калинина Е.В., Рудакова Л.В. Снижение токсичных свойств шламов содового производства с последующей их утилизацией // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 6. С. 85–96.
- 5 Li D, Meng L, Guo Y, Deng T, Yang L Chemical engineering process simulation of brines using phase diagram and Pitzer model of the system  $\text{CaCl}_2\text{--SrCl}_2\text{--H}_2\text{O}$  // Fluid Phase Equilibria. 2019. № 484. P. 232–238. doi:10.1016/j.fluid.2018.11.034
- 6 Quang D.V., Dindi A., Zahra M.R.M.A. The Utilization of  $\text{CO}_2$ , Alkaline Solid Waste, and Desalination Reject Brine in Soda Ash Production //  $\text{CO}_2$  Separation, Purification and Conversion to Chemicals and Fuels. 2019. P. 153-184.
- 7 Kurbangaleeva M.H. Studying the Effect of High Molecular Flocculants on Separation of Distillation Suspension-the Main Waste of Soda Ash Production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 272. № 2. P. 022022.
- 8 Ramsey J, McCreery R. Raman microscopy of chromate interactions with corroding aluminum alloy 2024-T3 // Corrosion Science. 2004. № 46(7). P. 1729–1739. doi:10.1016/j.corsci.2003.10.010
- 9 Елсуков А.В., Мазунин С.А., Басов В.Н. Изучение фазовых равновесий в системе  $\text{KCl} - \text{NH}_4\text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  при 25 °С оптимизированным методом сечений // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.
- 10 Golub A., Piekutin J. The Use of Sorbents in Removal of Selected Cations from Wastewater After Soda Ash Production // Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. 2019. V. 16. № 1. P. 31.
- 11 Кулиев К.А., Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Таранова А.Н. Смешаннолигандные комплексы меди (II) с дитиолфенолами и гетероциклическими диаминами // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 248–256. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-248-256
- 12 Kuliev K.A., Gorbunova E.M., Plotnikova S.E. Extractive spectrophotometric determination of iron(III) using 2, 6-dithiol-4-methylphenol and aminophenols // Journal of Advanced Applied Scientific Research. 2017. V. 1. P. 2454–3225.
- 13 Wu Y. et al. Soda Ash Production with Low Energy Consumption Using Proton Cycled Membrane Electrolysis // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. V. 58. № 8. P. 3450-3458.
- 14 Han H, Li D, Guo L. Prediction of solubilities for the salt-water system  $\text{CaCl}_2\text{--KCl--H}_2\text{O}$  at 348.15 K // Advanced Materials Research. 2014. V. 1044–1045. P. 83–87. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.83
- 15 Семенова И.В., Хорошилова А.Н., Флорианович Г.М. Коррозия и защита от коррозии. Москва: Физматлит, 2010. 416 с.

#### References


- 1 Bykovskiy N.A., Kurbangaleyeva L.R., Daminev R.R. Processing distiller liquid to obtain marketable products. Basic Research. 2012. no. 6–1. pp. 209–213. Available at: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29967> (in Russian).
- 2 Zagidullin R.N. A method for processing solid waste from the production of soda ash by the ammonia method. Patent RF, no. 2647931, 2018.
- 3 Bykovskiy N.A. A method for processing distillation liquid of ammonia-soda production. Patent RF, no. 2476386, 2013.
- 4 Kalinina E.V., Rudakova L.V. Reducing the toxic properties of sludge from soda production with their subsequent disposal. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering. 2018. vol. 329. no. 6. pp. 85–96. (in Russian).
- 5 Li D, Meng L, Guo Y, Deng T, Yang L Chemical engineering process simulation of brines using phase diagram and Pitzer model of the system  $\text{CaCl}_2\text{--SrCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ . Fluid Phase Equilibria. 2019. no. 484. pp. 232–238. doi:10.1016/j.fluid.2018.11.034
- 6 Quang D.V., Dindi A., Zahra M.R.M.A. The Utilization of  $\text{CO}_2$ , Alkaline Solid Waste, and Desalination Reject Brine in Soda Ash Production.  $\text{CO}_2$  Separation, Purification and Conversion to Chemicals and Fuels. 2019. pp. 153-184.
- 7 Kurbangaleeva M.H. Studying the Effect of High Molecular Flocculants on Separation of Distillation Suspension-the Main Waste of Soda Ash Production. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. vol. 272. no. 2. pp. 022022.
- 8 Ramsey J, McCreery R. Raman microscopy of chromate interactions with corroding aluminum alloy 2024 T3. Corrosion Science. 2004. no. 46(7). pp. 1729–1739. doi:10.1016/j.corsci.2003.10.010
- 9 Yelsukov A.V., Mazunin S.A., Basov V.N. Study of phase equilibria in the  $\text{KCl} - \text{NH}_4\text{Cl} - \text{H}_2\text{O}$  system at 25°C by the optimized method of sections. Modern problems of science and education. 2012. no. 3. (in Russian).
- 10 Golub A., Piekutin J. The Use of Sorbents in Removal of Selected Cations from Wastewater After Soda Ash Production. Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings. 2019. vol. 16. no. 1. pp. 31.
- 11 Kuliev K.A., Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Taranova A.N. Mixed-ligand complexes of copper (II) with dithiolphenols and heterocyclic diamines. Proceedings of VSUET. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 248–256. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-248-256 (in Russian).
- 12 Kuliev K.A., Gorbunova E.M., Plotnikova S.E. Extractive spectrophotometric determination of iron(III) using 2, 6 dithiol 4 methylphenol and aminophenols. Journal of Advanced Applied Scientific Research. 2017. vol. 1. pp. 2454–3225.
- 13 Wu Y. et al. Soda Ash Production with Low Energy Consumption Using Proton Cycled Membrane Electrolysis. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2019. vol. 58. no. 8. pp. 3450-3458.
- 14 Han H, Li D, Guo L. Prediction of solubilities for the salt-water system  $\text{CaCl}_2\text{--KCl--H}_2\text{O}$  at 348.15 K. Advanced Materials Research. 2014. vol. 1044–1045. pp. 83–87. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.83
- 15 Semenova I.V., Khoroshilova A.N., Florianovich G.M. Corrosion and corrosion protection. Moscow, Fizmatlit, 2010. 416 p. (in Russian).

**Сведения об авторах**


**Светлана Е. Плотникова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, burkovasweta@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6331-554X>


**Юрий С. Перегудов** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, inorganic\_033@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2129-3191>

**Елена М. Горбунова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Сабухи И. Нифталиев** д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, niftaliev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Вклад авторов**


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**


**Svetlana E. Plotnikova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, burkovasweta@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6331-554X>


**Yurii S. Peregudov** Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, inorganic\_033@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2129-3191>

**Elena M. Gorbunova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Sabukhi I. Niftaliev** Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, niftaliev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 12/07/2020	<b>После редакции</b> 21/07/2020	<b>Принята в печать</b> 29/07/2020
<b>Received</b> 12/07/2020	<b>Accepted in revised</b> 21/07/2020	<b>Accepted</b> 29/07/2020