
СТРАНИЧКА МОЛОДОГО УЧЕНОГО

УДК 546: 544.344.016: 544.344.015.3: 544.344.3

DOI: 10.15372/KhUR20150408

Новый циклический и изогидрический способ получения нитрата калия

А. В. ЕЛСУКОВ, С. А. МАЗУНИН

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Букирева, 15, Пермь 614600 (Россия)**E-mail: antonfxa@mail.ru*

(Поступила 22.06.15)

Аннотация

Рассмотрен новый подход к планированию и визуализации циклического и изогидрического способа получения нитрата калия, основанный на использовании данных о фазовых равновесиях в четверной взаимной водно-солевой системе K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ при различных температурах. Ключевым моментом визуализации процесса является совместное изображение диаграммы состояния и ее изогидрических разрезов, соответствующих составам опорных точек. Приведены экспериментальные материальные балансы осуществления данного процесса с использованием ретурна хлорида натрия и без него. Показано, что введение ретурна позволяет снизить потери оборотного раствора на этапе выделения хлорида натрия и использовать сильвинит в качестве исходного сырья для процесса.

Ключевые слова: многокомпонентные водно-солевые системы, фазовые равновесия, циклический и изогидрический способ получения солей, нитрат калия

ВВЕДЕНИЕ

Конверсионный способ получения нитрата калия относится к циклическим способам получения солей. Конверсия осуществляется на основе четверной взаимной системы $KCl + NaNO_3 \leftrightarrow NaCl + KNO_3 - H_2O$. На рис. 1 на основании литературных данных [1] изображена ее перспективная проекция на солевое основание при 25 и 100 °С: по оси абсцисс отложена массовая доля ионов калия, по оси ординат – массовая доля нитрат-ионов в солевых составах насыщенных растворов. По нашему мнению, это один из наиболее корректных способов изображения [2]: точки со-

левых компонентов образуют неправильный четырехугольник с одним прямым углом, диагонали четырехугольника пересекаются в эквимолярной точке, не происходит излома неустойчивой диагонали и нод.

При осуществлении обменного процесса между хлоридом калия и нитратом натрия выделяются отдельно кристаллические хлорид натрия и нитрат калия.

При приготовлении раствора состава *a* из KCl , $NaNO_3$ и воды (избыток $NaNO_3$) и его упаривании при 100 °С в твердую фазу выделяется кристаллический $NaCl$ (α - P_{100}). В точке P_{100} раствор становится трояконасыщенным относительно $NaCl$, KCl и KNO_3 .

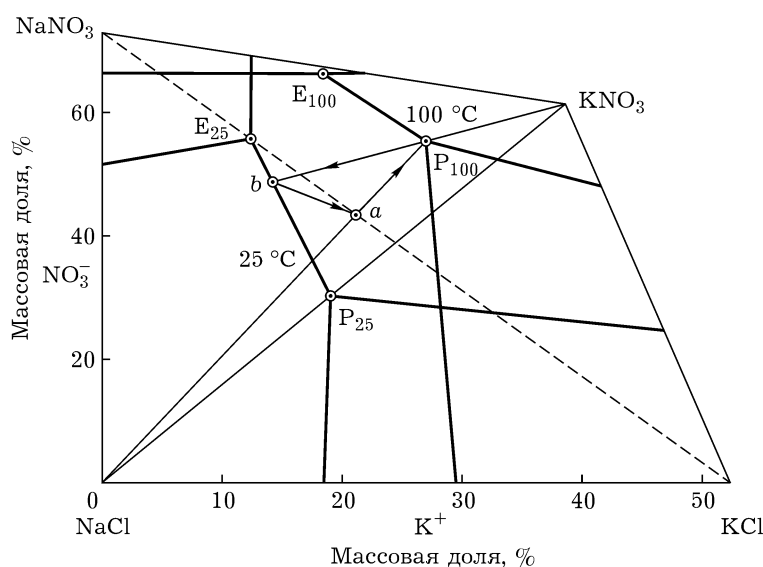


Рис. 1. Фазовые равновесия в четверной взаимной водно-солевой системе $K^+, Na^+//Cl^-, NO_3^- - H_2O$ при 25 и 100 °C [7, 8].

При отделении кристаллического $NaCl$ и охлаждения раствора P_{100} до температуры 25 °C в твердую фазу выделяется кристаллический KNO_3 ($P_{100}-b$). Далее цикл замыкается путем прибавления к раствору b смеси KCl и $NaNO_3$, а также воды для восстановления водного баланса, до состава a [1, 3–6].

Циклический процесс осуществляется по пути $a-P_{100}-b-a$, хлорид калия и нитрат натрия перерабатываются на хлорид натрия и нитрат калия. По водному балансу цикл относится к неизогидрическим.

Как известно, с точки зрения полноты использования сырья целесообразно использовать циклические способы получения минеральных солей [9–11]. При проведении циклического и изогидрического процесса без изменения водного баланса исключаются стадии упаривания и добавления воды, поэтому возможно использовать все компоненты сырья для получения товарных продуктов. Благодаря этому процесс становится энергосберегающим, малоотходным и экономически выгодным.

Целью данной работы была разработка процесса получения нитрата калия из хлорида калия и нитрата натрия в изогидрических условиях с использованием экспериментально определенных составов невариантных растворов – наиболее удобных в технологии

опорных точек осуществления данного циклического процесса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении эксперимента исходные смеси компонентов (ИСК) заданного состава готовили взвешиванием на аналитических электронных весах ВСЛ–200/0.1А с точностью ± 0.0001 г. Коэффициенты преломления исследуемых растворов измеряли с помощью рефрактометра ИРФ–454 Б2М с погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ ед. Термостатирование осуществляли при помощи термостата WiseCircu с погрешностью ± 0.1 °C.

В работе использованы следующие реактивы (квалификации “х. ч.”): хлорид натрия, хлорид калия, нитрат натрия, нитрат калия и дистиллированная вода.

Поскольку процесс конверсии нитрата натрия и хлорида калия в хлорид натрия и нитрат калия в присутствии водных растворов представляет собой циклический процесс и основан на фазовых равновесиях в системе $K^+, Na^+//Cl^-, NO_3^- - H_2O$, целесообразно провести его визуализацию и планирование. С этой целью необходимо выполнить соответствующие математические расчеты, основанные на экспериментальных данных о соста-

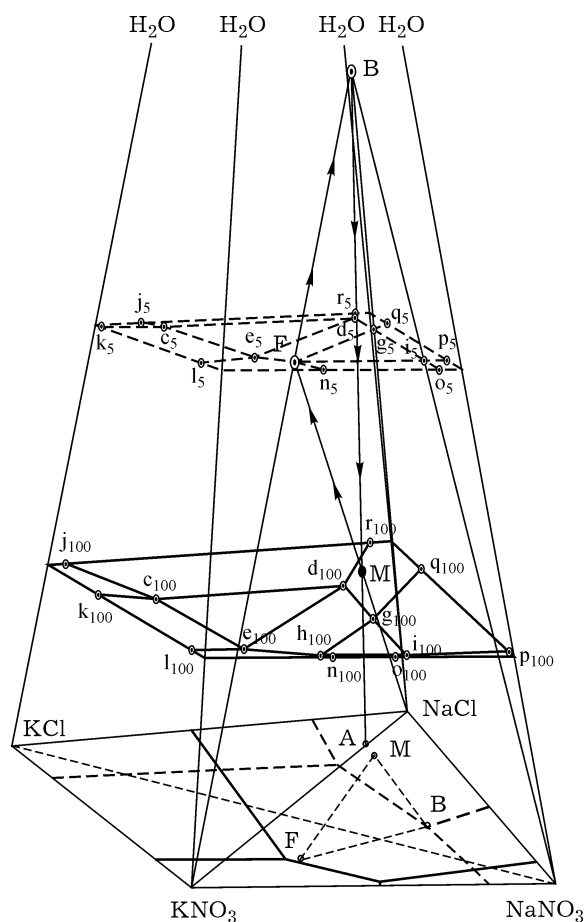


Рис. 2. Солевая проекция, изогидрические разрезы системы (34.0 мас. % H₂O – штриховые линии, 15.0 мас. % H₂O – сплошные линии) K⁺, Na⁺//Cl⁻, NO₃⁻ – H₂O при 5 (штриховые линии) и 100 °C (сплошные линии) и визуализация цикла получения нитрата калия.

вах невариантных растворов, и построить на диаграмме состояния данной системы.

Предлагаемый ниже циклический и изогидрический способ основан на экспериментальных данных авторов о составах невариантных растворов, полученных оптимизированным методом сечений [12–21].

Ключевым моментом визуализации циклического процесса получения нитрата калия является совместное изображение диаграммы состояния и ее изогидрических разрезов, соответствующих составам опорных точек М и F (рис. 2–4). Изогидрические разрезы позволяют однозначно определить составы равновесных твердых фаз.

На рис. 2 приведены состав оборотного раствора В, изогидрические разрезы системы

K⁺, Na⁺//Cl⁻, NO₃⁻ – H₂O, содержащие 34.0 и 15.0 мас. % H₂O; на солевом основании отображена перспективная проекция изотермы растворимости данной системы при 5 и 100 °C.

На изогидрическом разрезе системы с содержанием воды 34.0 мас. % выделяются следующие поля: поле c₅-d₅-e₅ совместной кристаллизации хлоридов натрия и калия и нитрата калия, поле g₅-i₅-F совместной кристаллизации нитратов натрия и калия и хлорида натрия, поле k₅-j₅-c₅ кристаллизации хлорида калия, поле k₅-c₅-e₅-l₅ совместной кристаллизации хлорида и нитрата калия, поле l₅-e₅-F-n₅ кристаллизации нитрата калия, поле n₅-F-i₅-o₅ совместной кристаллизации нитратов калия и натрия, поле o₅-i₅-p₅ кристаллизации нитрата натрия, поле p₅-i₅-g₅-q₅ совместной кристаллизации нитрата и хлорида натрия, поле q₅-g₅-d₅-r₅ кристаллизации хлорида натрия, поле r₅-d₅-c₅-j₅ совместной кристаллизации хлоридов натрия и калия. Точка F – состав равновесной хлориду натрия жидкой фазы, образующейся при установлении равновесия в смеси при 100 и 5 °C (см. рис. 2) геометрически находится в углу невариантной области совместной кристаллизации нитратов натрия и калия и хлорида натрия изогидрического разреза системы с содержанием воды 34.0 мас. %.

На изогидрическом разрезе системы с содержанием воды 15.0 мас. % имеются следующие поля: поле c₁₀₀-d₁₀₀-e₁₀₀ совместной кристаллизации хлоридов натрия и калия и нитрата калия, поле g₁₀₀-i₁₀₀-h₁₀₀ совместной кристаллизации нитратов натрия и калия и хлорида натрия, поле k₁₀₀-j₁₀₀-c₁₀₀ кристаллизации хлорида калия, поле k₁₀₀-c₁₀₀-e₁₀₀-l₁₀₀ совместной кристаллизации хлорида и нитрата калия, поле l₁₀₀-e₁₀₀-h₁₀₀-n₁₀₀ кристаллизации нитрата калия, поле n₁₀₀-h₁₀₀-i₁₀₀-o₁₀₀ совместной кристаллизации нитратов калия и натрия, поле o₁₀₀-i₁₀₀-p₁₀₀ кристаллизации нитрата натрия, поле p₁₀₀-i₁₀₀-g₁₀₀-q₁₀₀ совместной кристаллизации нитрата и хлорида натрия, поле q₁₀₀-g₁₀₀-d₁₀₀-r₁₀₀ кристаллизации хлорида натрия, поле r₁₀₀-d₁₀₀-c₁₀₀-j₁₀₀ совместной кристаллизации хлоридов натрия и калия. Точка М – состав исходной смеси компонентов для выделения хлорида натрия на первой стадии цикла с содержанием воды 15.0 мас. %, – при-

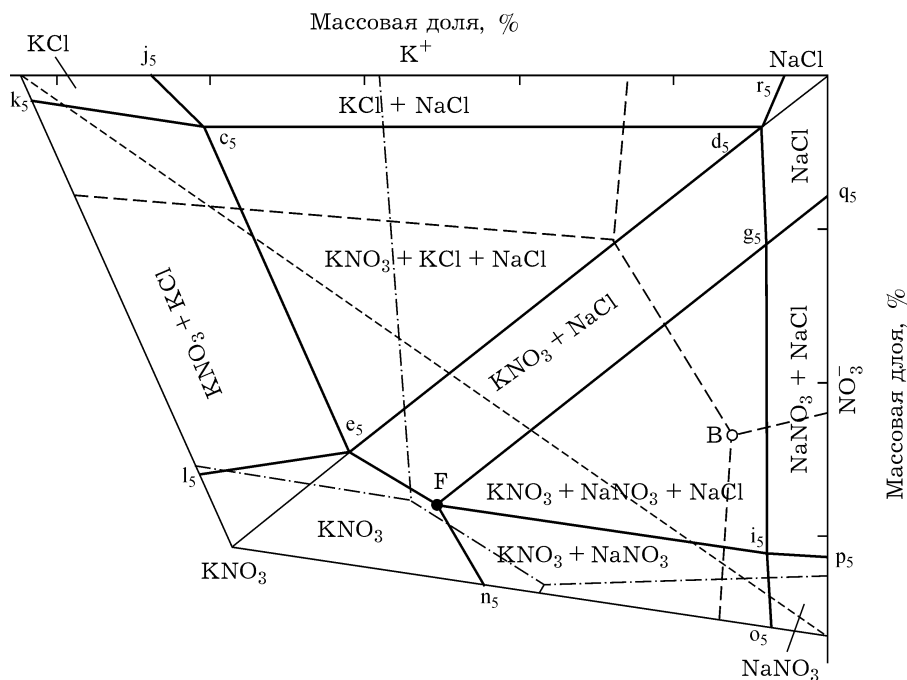


Рис. 3. Изогидрический разрез системы $K^+, Na^+//Cl^-, NO_3^- - H_2O$ с содержанием воды 34.0 мас. % при 5 °С. Обозн. см. текст.

надлежит данному изогидрическому разрезу и находится в поле $q_{100}g_{100}d_{100}r_{100}$ кристаллизации хлорида натрия.

Точка А – состав добавляемой смеси кристаллических компонентов – находится на солевом основании концентрационной фигуры.

На рис. 3 отдельно изображена проекция на солевое основание системы изогидрического разреза системы при 5 °С с содержанием воды 34.0 мас. %. Жирной сплошной линией изображены фазовые границы полей, имеющих в данном разрезе. Штрих-пунктир-

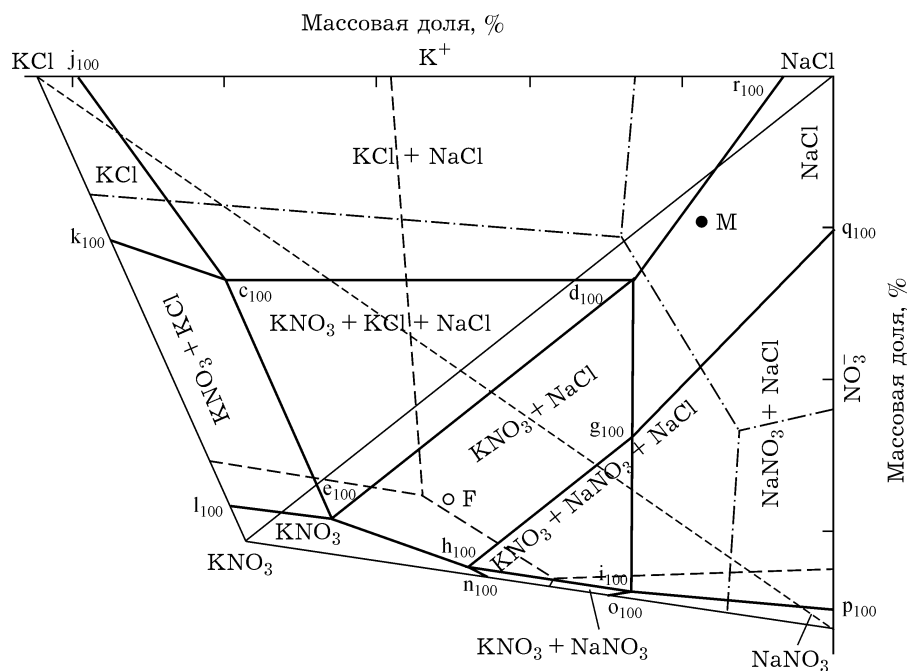


Рис. 4. Изогидрический разрез системы $K^+, Na^+//Cl^-, NO_3^- - H_2O$ с содержанием воды 15.0 мас. % при 100 °С. Обозн. см. текст.

ной линией обозначена проекция на солевое основание изотермы системы K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ при $100\text{ }^\circ\text{C}$, штриховой – проекция на солевое основание изотермы системы K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ при $5\text{ }^\circ\text{C}$. Точкой F обозначен состав жидкой фазы F, образующийся на первой стадии цикла из ИСК состава M после установления равновесия при $100\text{ }^\circ\text{C}$ и отделения кристаллов хлорида натрия. Состав F принадлежит данному разрезу, поскольку содержит $34.0\text{ мас. } \%$ воды и находится в углу неинвариантной области совместной кристаллизации нитратов натрия и калия и хлорида натрия изогидрического разреза системы с содержанием воды $34.0\text{ мас. } \%$. При охлаждении данной жидкой фазы до $5\text{ }^\circ\text{C}$ из нее будет кристаллизоваться только нитрат калия, в состоянии равновесия при данной температуре состав жидкой фазы будет соответствовать обратному раствору B.

Точкой B обозначена проекция состава обратного раствора B, образующегося после установления равновесия. Состав B не принадлежит данному разрезу.

На рис. 4 отдельно приведена проекция на солевое основание системы изогидрического разреза системы при $100\text{ }^\circ\text{C}$ с содержанием воды $15.0\text{ мас. } \%$. Жирными сплошными линиями изображены границы фазовых полей, имеющих в данном разрезе. Штриховой линией обозначена проекция на солевое основание изотермы системы K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ при $100\text{ }^\circ\text{C}$, штрих-пунктирной – проекция на солевое основание изотермы системы K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ при $5\text{ }^\circ\text{C}$. Точкой M обозначен состав исходной смеси компонентов для выделения хлорида натрия на первой стадии цикла. Состав M принадлежит данному разрезу, поскольку содержит $15.0\text{ мас. } \%$ воды и находится в поле кристаллизации хлорида натрия.

Точкой F обозначена проекция состава жидкой фазы F, образующейся из ИСК состава M после установления равновесия. Состав F не принадлежит данному разрезу.

На рис. 2, 4 видно, что смесь M при $100\text{ }^\circ\text{C}$ находится в поле кристаллизации хлорида натрия. Следовательно, равновесной твердой фазой является хлорид натрия, а состав жид-

кой фазы определяется проведением ноды из вершины хлорида натрия через исходную смесь M до пересечения с ликвидусом системы. Состав жидкой фазы соответствует точке F (см. рис. 2, 3), которая при $5\text{ }^\circ\text{C}$ находится в углу неинвариантной области совместной кристаллизации нитратов натрия и калия и хлорида натрия изогидрического разреза системы с содержанием воды $34.0\text{ мас. } \%$. При охлаждении данной жидкой фазы до $5\text{ }^\circ\text{C}$ из нее будет кристаллизоваться только нитрат калия, в состоянии равновесия при данной температуре состав жидкой фазы будет соответствовать обратному раствору B.

Расчеты, произведенные выше, показали, что в системе K^+ , $Na^+//Cl^-$, $NO_3^- - H_2O$ возможно проведение изогидрического цикла, при котором образуются нитрат калия и хлорид натрия. Данные расчеты нуждаются в экспериментальном подтверждении. Основной задачей экспериментальной проверки стало подтверждение возможности получения замкнутого изогидрического цикла получения нитрата калия и хлорида натрия из нитрата натрия и хлорида калия.

Сначала приготовили обратный неинвариантный эвтонический раствор B следующего состава, мас. %: NaCl 7.39, $NaNO_3$ 31.22, KCl 7.87, H_2O 53.52; показатель преломления $n_D^{25} = 1.3965$. Для его получения приготовлена исходная смесь компонентов, которая при установлении равновесия при $5\text{ }^\circ\text{C}$ распадается на эвтонический раствор состава B и твердую фазу, в которой солевые компоненты находятся в равных соотношениях. Содержание твердой фазы в смеси после установления равновесия составляло примерно $15\text{ } \%$. Состав данной смеси рассчитывали по уравнению прямой, соединяющей состав раствора B с составом твердой фазы, которая содержит $33.3\text{ мас. } \%$ KNO_3 , $33.3\text{ мас. } \%$ $NaNO_3$ и $33.4\text{ мас. } \%$ NaCl с коэффициентом 0.15.

После установления равновесия в данной смеси при $5\text{ }^\circ\text{C}$, которое контролировали по показателю преломления жидкой фазы при $25\text{ }^\circ\text{C}$, раствор B отфильтровывали от равновесной твердой фазы и использовали в процессе получения нитрата калия и хлорида натрия.

Первоначально был проведен процесс конверсии нитрата натрия и хлорида калия в нит-

рат калия и хлорид натрия без добавления в реакционную смесь кристаллов хлорида натрия в качестве ретура.

Процесс осуществляли следующим образом. Брали раствор В в количестве 209.79 г. При нагревании до 95–100 °С в него вводили одновременно кристаллические нитрат натрия и хлорид калия в количестве 101.37 и 88.84 г соответственно. Смесь термостатировали при температуре 100 °С в течение 2 ч, затем твердую фазу хлорида натрия, смоченную маточным раствором, отфильтровывали от раствора F. При 5 °С данный состав геометрически находится в углу невариантной области изогидрического разреза с содержанием воды 34.0 мас. %.

На данном этапе получено 141.3 г донной фазы и 239.9 г раствора F.

Далее 239.9 г раствора F охлаждали до 5 °С и кристаллизовали нитрат калия. Контроль над установлением равновесия производили по показателю преломления равновесной жидкой фазы: когда он достигал 1.3965, выделившийся нитрат калия отфильтровывали от эвтонического раствора состава В.

На этом этапе получили 81.38 г нитрата калия и 135.64 г эвтонического раствора состава В. Теоретический и экспериментальный материальный балансы представлены в табл. 1.

Влажность выделенного на первом этапе хлорида натрия составила 17.50 мас. %, что обусловлено наличием на кристаллах раство-

ра F следующего состава, мас. %: KNO_3 43.24, NaCl 8.62, NaNO_3 14.13, H_2O 34.0.

Влажность выделенного нитрата калия равна 3.42 мас. %. В пересчете на состав маточного невариантного раствора В в нитрате калия содержатся примеси (5.20 г) в следующих количествах, г: NaCl 0.38, NaNO_3 1.62, KCl 0.41, H_2O 2.78. Масса нитрата калия за вычетом примесей составляет 76.18 г. Массовая доля нитрата калия в высушенном продукте равна 96.92 %.

Выход нитрата калия с 1000 г оборотного невариантного раствора В составил 363.12 г, или 63.25 % от теоретического. Потери оборотного раствора за один цикл равны 35.35 мас. % и в основном приходятся на этап выделения хлорида натрия.

Проверку циклического процесса с использованием ретура хлорида натрия осуществляли следующим образом. К эвтоническому раствору В (300 г) прибавляли кристаллы хлорида натрия в качестве ретура (498.41 г). Данное количество ретура обеспечивает соотношение $T/\mathcal{J} = 1.27 : 1$. Смесь нагревали до 95–100 °С, затем поочередно порциями в нее вводили нитрат натрия и хлорид калия. Суммарное количество нитрата натрия составило 144.95 г, хлорида калия – 127.04 г. Смесь также термостатировали при температуре 100 °С в течение 2 ч и отфильтровывали твердую фазу.

В результате получили 676.18 г донной фазы хлорида натрия, смоченного маточным

ТАБЛИЦА 1

Экспериментальный материальный баланс процесса конверсии нитрата натрия и хлорида калия в нитрат калия и хлорид натрия через раствор F с содержанием воды 34.0 мас. % без использования ретура хлорида натрия

Стадии	Приход		Расход			
	Вещества	Масса, г	Вещества	Масса, г		
		Расчет		Расчет	Эксперимент	
Растворение смеси NaNO_3 и KCl , выделение NaCl при 100 °С	NaCl (ретур)	0.00	0.00	NaCl	69.76	141.30*
	NaNO_3	101.37	101.37	Раствор F	330.24	239.90
	KCl	88.84	88.84			
	Раствор В	209.79	209.79	Потери:		18.80
	<i>Всего</i>	400.00	400.00	<i>Всего</i>	400.00	381.20
Охлаждение раствора F и выделение KNO_3 при 5 °С	Раствор F	239.90	239.90	KNO_3	87.50	81.38*
	Раствор В	152.40	135.64			
				Потери:		22.89
	<i>Всего</i>	239.90	239.90	<i>Всего</i>	239.90	217.01

* Донная фаза, смоченная маточным раствором.

ТАБЛИЦА 2

Экспериментальный материальный баланс процесса конверсии нитрата натрия и хлорида калия в нитрат калия и хлорид натрия с использованием ретура хлорида натрия

Стадии	Приход			Расход		
	Вещества	Масса, г		Вещества	Масса, г	
		Расчет	Эксперимент		Расчет	Эксперимент
Растворение смеси NaNO ₃ и KCl, выделение NaCl при 100 °С	NaCl (ретур)	498.41	498.41	NaCl	598.17	676.18*
	NaNO ₃	144.95	144.95	Раствор F	472.24	368.51
	KCl	127.04	127.04			
	Раствор В	300.00	300.00	Потери		25.71
	<i>Всего</i>	1070.40	1070.40	<i>Всего</i>	1070.40	1044.69
Охлаждение раствора F и выделение KNO ₃ при 5 °С	Раствор F	368.51	368.51	KNO ₃	134.40	125.56*
				Раствор В	234.11	228.41
				Потери		14.54
	<i>Всего</i>	368.51	368.51	<i>Всего</i>	368.51	353.97

* Донная фаза, смоченная маточным раствором.

раствором, и 368.51 г раствора F, состав которого при 5 °С геометрически находится в углу нонвариантной области изогидрического разреза с содержанием воды 34.0 мас. %.

Далее 368.51 г раствора F охлаждали до 5 °С и кристаллизовали нитрат калия. Контроль над установлением равновесия производили по показателю преломления равновесной жидкой фазы: когда он достигал 1.3965, выделившийся нитрат калия отфильтровывали от эвтонического раствора В. На стадии кристаллизации нитрата калия соотношение Т/Ж = 1 : 1.4.

На данном этапе получено 125.56 г донной фазы нитрата калия, смоченного маточным раствором, и 228.41 г эвтонического раствора В. Экспериментальный материальный баланс представлен в табл. 2.

Влажность выделенного на первом этапе хлорида натрия составила 4.50 мас. %, что также обусловлено наличием на кристаллах раствора F следующего состава, мас. %: KNO₃ 43.24, NaCl 8.62, NaNO₃ 14.13, H₂O 34.0.

Масса кристаллов хлорида натрия за вычетом маточного раствора составила 586.69 г (86.76 %), разность между теоретическим и экспериментально полученным выходом по хлориду натрия – 11.48 г. Потери маточного раствора достигают 89.49 г на поверхности

кристаллов хлорида натрия и 14.23 г при выполнении операций фильтрования.

Влажность выделенного нитрата калия равна 3.64 мас. %, или 4.67 г воды на 125.56 г выделившихся кристаллов. В пересчете на состав эвтонического раствора В выделенные 125.56 г нитрата калия загрязнены 0.63 г хлорида натрия, 2.67 г нитрата натрия и 0.67 г хлорида калия. По расчетам массовая доля нитрата калия в выделившихся кристаллах равна 96.72 %.

Потери оборотного раствора В за один цикл составили 23.86 %.

Выход нитрата калия с 1000 г оборотного раствора равен 67.94 мас. %. Основные потери приходятся на операцию фильтрования хлорида натрия. Однако введение ретура хлорида натрия сокращает потери оборотного раствора, влажность выделяемых кристаллов хлорида натрия сократилась почти в 4 раза.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты доказали возможность проведения циклического процесса получения нитрата калия и хлорида натрия из нитрата натрия и хлорида калия в изогидрических условиях.

В процессе проведения циклов зафиксировано, что основные потери оборотного раствора происходят на этапе выделения хлорида натрия. Без специального введения кристаллов хлорида натрия в качестве ретура влажность выделяемых кристаллов хлорида натрия высокая (17.50 мас. %). Это указывает на низкое качество образующихся кристаллов.

Введение кристаллов хлорида натрия в качестве ретура заметно снижает влажность выделяемого хлорида натрия (почти в 4 раза). Однако потери маточного раствора могут быть велики из-за слишком большого количества вводимого ретура. Оно также ухудшает соотношение Т/Ж, что затрудняет перемешивание реакционной смеси. В нашем случае количество ретура обеспечивает приемлемое соотношение Т/Ж = 1.27 : 1 и позволяет достичь соотношения хлорида натрия и хлорида калия в добавляемой смеси компонентов, аналогичного для сильвинита (80 % NaCl, 20 % KCl). Благодаря этому становится возможным осуществлять процесс конверсии из нитрата натрия и сильвинита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения минимальных потерь оборотного раствора необходим подбор оптимального количества вводимого ретура хлорида натрия и обеспечение эффективного отделения кристаллов хлорида натрия от маточного раствора.

Качество выделяемого нитрата калия в конечном счете будет зависеть от условий фильтрации. Чем лучше удастся отделить кристаллическую массу от оборотного раствора, тем выше будет качество выделяемого нитрата калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Печковский В. В., Александрович Х. М., Пинаев Г. Ф. *Технология калийных удобрений*. Минск: Высш. шк., 1968.
- 2 Мазунин С. А. *Физико-химический анализ в химии и химической технологии: учеб. пособие*. Пермь, 2014.
- 3 Позин М. Е. *Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот)*. Л.: Химия, 1974.
- 4 *Справочник азотчика: 2-е изд. перераб.* / под ред. Е. Я. Мельникова. М.: Химия, 1967.
- 5 Викторов М. М. *Графические расчеты в технологии неорганических веществ*. 3-е изд., перер. и доп. Л.: Химия, 1972. 464 с.
- 6 Кашкаров О. Д. *Графические расчеты солевых систем*. М.: Гостехиздат, 1960.
- 7 *Справочник по растворимости солевых систем: в 3 т.* Т. 3, кн. 2. *Тройные и многокомпонентные системы, образованные неорганическими веществами* / В. В. Кафаров (отв. ред.), В. Б. Коган, С. К. Огородников. Л.: Наука, 1969.
- 8 *Справочник по растворимости солевых систем: в 4 т.* Т. 2. *Четырехкомпонентные и более сложные системы* / А. Б. Здановский, Е. И. Ляховская, Р. Э. Шлеймович. Л.: ГХИ, 1954.
- 9 Кудряшова О. С. *Изогидрические процессы в водно-солевых системах: Дис. ... д-ра хим. наук*. Пермь, 1998. 317 с.
- 10 Кудряшова О. С. *Циклические изогидрические процессы получения водорастворимых солей калия: учеб. пособие*. Пермь: изд. Перм. ун-та, 2006. 76 с.
- 11 Кудряшова О. С. *Круговые изогидрические процессы получения водорастворимых солей калия: монография*. Пермь: изд. Перм. ун-та, 2013. 120 с.
- 12 Елсуков А. В., Мазунин С. А., Басов В. Н. // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 3. С. 420–428.
- 13 Елсуков А. В., Мазунин С. А., Фролова С. И. // *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2013. № 2 (10). С. 20–40.
- 14 Елсуков А. В., Мазунин С. А., Фролова С. И. // *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2014. № 2 (14). С. 76–100.
- 15 Елсуков А. В., Мазунин С. А. // *Журн. физ. химии*. 2015. Т. 89, № 6. С. 16.
- 16 Носков М. Н., Мазунин С. А. // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 3. С. 421.
- 17 Квиткин А. К., Носков М. Н., Мазунин С. А. // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2012. Т. 15, № 14. С. 23–26.
- 18 Носков М. Н., Мазунин С. А. // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2012. Т. 15, № 15. С. 109–113.
- 19 Носков М. Н. // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2. С. 510.
- 20 Носков М. Н., Мазунин С. А. // *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2013. № 2(10). С. 41–52.
- 21 Носков М. Н., Мазунин С. А. // *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2014. № 2(14). С. 75.