

ISSN 1561-8331 (Print)
 ISSN 2524-2342 (Online)
 УДК 631.733.2
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-247-253>

Поступила в редакцию 15.01.2019
 Received 15.01.2019

**З. А. Готто, И. И. Гончарик, В. В. Шевчук, А. Л. Навныко,
 Е. О. Осипова, Ю. К. Остапенко**

Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

РЕГЕНЕРАЦИЯ ТРИЭТАНОЛАМИНА ПРИ КОНВЕРСИИ ХЛОРИДА КАЛИЯ И ФОСФОГИПСА

Аннотация. Показана возможность очистки оборотных растворов, содержащих триэтаноламин, от примесей CaCl_2 путем введения в них карбоната калия. Данный процесс проходит по реакции $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \downarrow\text{CaCO}_3 + 2\text{KCl}$. Изучено влияние нормы расхода карбоната калия. Показано, что при стехиометрической норме расхода K_2CO_3 содержание ионов Ca^{2+} в жидкой фазе составило 0,02 %, тогда как при недостатке K_2CO_3 от стехиометрической нормы расхода 70 и 50 % этот показатель составил 0,43 и 0,92 % соответственно. Установлено, что очищенные оборотные растворы от CaCl_2 могут использоваться при конверсии новых порций KCl и фосфогипса.

Ключевые слова: регенерация, конверсия, хлорид калия, фосфогипс, триэтаноламин, фильтрация, карбонат натрия, карбонат калия

Для цитирования. Регенерация триэтанолamina при конверсии хлорида калия и фосфогипса / З. А. Готто [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 247–253. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-247-253>

Z. A. Hotto, I. I. Hancharyk, V. V. Shevchuk, A. L. Navnyko, E. O. Osipova, Y. K. Ostapenko

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

REGENERATION OF TRIETHANOLAMINE IN CONVERSION OF POTASSIUM CHLORIDE AND PHOSPHOGYPSUM

Abstract. The possibility of purification of circulating solutions containing triethanolamine from CaCl_2 impurities by introducing into them potassium carbonate is shown. This process proceeds according to the reaction $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \downarrow\text{CaCO}_3 + 2\text{KCl}$. The influence of the consumption rate of potassium carbonate has been studied. It is shown that at the stoichiometric consumption rate of K_2CO_3 , the content of Ca^{2+} ions in the liquid phase was 0,02 %, while with a K_2CO_3 deficiency of the stoichiometric consumption rate of 70 and 50 %, this value was 0,43 and 0,92 %, respectively. It has been established that the circulating solutions purified from CaCl_2 can be used in the conversion of new portions of KCl and phosphogypsum.

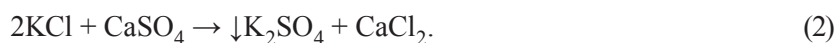
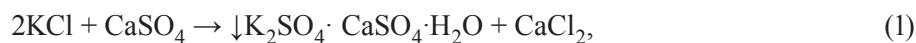
Keywords: regeneration, conversion, potassium chloride, phosphogypsum, triethanolamine, filtration, sodium carbonate, potassium carbonate

For citation. Hotto Z. A., Hancharyk I. I., Shevchuk V. V., Navnyko A. L., Osipova E. O. Regeneration of triethanolamine in conversion of potassium chloride and phosphogypsum. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 247–253 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-247-253>

Введение. Сульфат калия, являющийся высококонцентрированным удобрением, содержащий от 48 до 53 % K_2O и около 18 % серы и имеющий устойчивый спрос на мировом рынке, может быть получен при переработке природных сульфатно-калийных руд (кизеритовые хартзальцы, каинито-лангбейнитовые руды), а также способами конверсии различного сульфатсодержащего сырья (Na_2SO_4 , H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgSO_4 , CaSO_4 и др.) с KCl .

Вследствие ограниченности запасов природных сульфатсодержащих руд значительное развитие получили конверсионные способы получения K_2SO_4 . Из вышеперечисленных солей наибольший интерес представляет сульфат кальция (гипс), который является многотоннажным отходом при производстве фосфорных удобрений в виде фосфогипса [1, 2]. В основе использования данного способа лежит растворимость солей в системе K^+ , $\text{Ca}^{2+}||\text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, которая состоит из четырех полей кристаллизации: гипс, сингенит, арканит, сильвин. Поле кристаллизации KCl , сингенита и K_2SO_4 значительно меньше, чем гипса, поэтому получение K_2SO_4 в водной среде практически невозможно.

Однако введение в данную систему ряда органических (спирты, кетоны) и азотсодержащих (моно-, ди-, триэтанолламины, мочевины и др.) соединений увеличивает растворимость CaSO_4 , а K_2SO_4 уменьшает, что будет способствовать конверсии KCl и CaSO_4 . В результате возможно получение как сингенита, так и арканита по следующим реакциям:



В работе [3] приведены результаты получения сульфата калия в присутствии триэтанолламина (ТЭА) по реакции (2). Определены оптимальные условия проведения данной реакции: температура – 20 °С, время перемешивания – 3 ч, 160 %-ный избыток KCl от стехиометрической нормы и 60 %-ный раствор триэтанолламина. Выход K_2SO_4 составляет 90–91 % при содержании его в твердой фазе 92–93 %.

Однако после отделения методом фильтрации твердой фазы, содержащей K_2SO_4 , полученный фильтрат состоит из 40–50 % ТЭА, 5–6 % CaCl_2 , 3–4 % KCl и воды. С точки зрения охраны окружающей среды, а также для получения экономического эффекта при использовании этого метода необходимо полученный фильтрат направить повторно в голову процесса, т.е. на конверсию новых порций KCl и CaSO_4 . Но присутствие в растворе ТЭА посторонних примесей, в частности хлорида кальция, значительно ухудшает показатели конверсии, что выражается в снижении содержания K_2SO_4 в конечном продукте (до 50–70 %), тогда как этот показатель при использовании ТЭА реактивной квалификации равен 90–92 %. Поэтому необходимо применять по возможности чистый ТЭА или систематически подвергать очистке ТЭА от CaCl_2 .

Невозможность возвращения полученных растворов в голову процесса связана еще и с тем, что ТЭА, сочетая в себе свойства аминов и спиртов, обладает уникальной способностью вступления в реакции, характерные для обеих групп. Будучи амином, ТЭА обладает умеренными щелочными свойствами и реагирует с кислотными соединениями с образованием солей и омыляющих веществ. Будучи спиртом, ТЭА отличается гигроскопичностью и подвергается этерификации. На основании вышеописанного ТЭА в растворе с хлоридом кальция будет образовывать соединение типа $2\text{N}(\text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--O})_3 \cdot 3\text{Ca}$. Это вызывает необратимые изменения состава раствора, снижающие способность ТЭА принимать активное участие при конверсии KCl и фосфогипса. Поэтому, как уже отмечали ранее, для осуществления данного процесса необходимо применять чистый ТЭА или очищать раствор ТЭА от CaCl_2 .

В настоящее время нет надежных способов удаления CaCl_2 из полученного раствора. В работе [3] предлагают регенерировать ТЭА путем отгонки или ректификации до любых концентраций. Так как температура кипения ТЭА составляет 310–340 °С, то выделение его из раствора таким способом является энергетически затратным.

Известен способ разрушения данного комплекса путем введения в раствор углекислого газа [4]. Этот процесс идет по реакции



В нашем случае его использовать нельзя, так как образование соляной кислоты приведет к растворению полезного продукта K_2SO_4 , а также к коррозии аппаратуры.

Экспериментальная часть. Нами предложено вместо углекислого газа применить углекислые соли, например Na_2CO_3 или K_2CO_3 . Тогда в данном случае процесс идет по реакциям:



в результате чего полученный раствор будет очищен от ионов Ca^{2+} .

Данное предположение было проверено, согласно реакциям (4) и (5), используя соли CaCl_2 , Na_2CO_3 и K_2CO_3 реактивной квалификации. Опыты проводили следующим образом. В раствор хлорида кальция вводили растворы карбонаты натрия или калия при стехиометрической норме по реакциям (4), (5). Конверсию проводили при непрерывном перемешивании в течение 30 мин. По окончании опыта суспензию фильтровали при температуре опыта и твердую фазу сушили

в сушильном шкафу. Исходные и конечные продукты взвешивали и подвергали полному химическому анализу. Ион SO_4^{2-} определяли комплексонометрическим и гравиметрическим методами, K^+ – пламенно-фотометрическим, Ca^{2+} – комплексонометрическим титрованием трилоном Б, Cl^- – методом прямого титрования раствором AgNO_3 в присутствии K_2CrO_4 . Содержание ТЭА в фильтрате определяли по работе [5]. Качество проведения данной реакции оценивали по содержанию CaCl_2 в жидкой фазе. В данном случае твердая фаза состояла из CaCO_3 с небольшими примесями KCl и CaCl_2 .

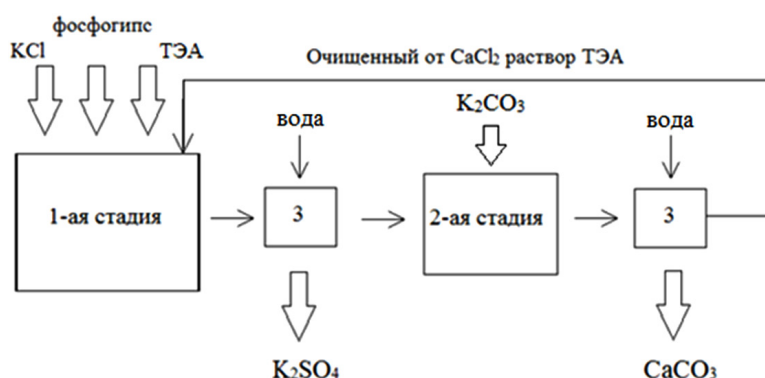
Затем представляло интерес таким же методом осадить хлорид кальция из растворов, полученных при конверсии KCl и фосфогипса. Предварительно провели конверсию KCl и фосфогипса с использованием ТЭА реактивной квалификации. Условия опыта были такие же, как описано в работе [3]. Полученные результаты представлены в табл. 1, из которой видно, что в данном случае в твердую фазу выпадает осадок, содержащий 91,22 % K_2SO_4 (табл. 1, № 1). В случае возврата на основную конверсию фильтрата из № 1 без предварительной его очистки от ионов Ca^{2+} резко понизилось содержание K_2SO_4 в готовом продукте и составило только 50,23 % (табл. 1, № 2), т. е. по сравнению с № 1 содержание K_2SO_4 уменьшилось практически в 2 раза. Данные результаты показывают отрицательное действие ионов Ca^{2+} на конверсию KCl и фосфогипса, что подтверждает образование комплекса – $2\text{N}(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_3\text{Ca}$ и отсутствие ТЭА в чистом виде.

Таблица 1. Качественно-количественные показатели конверсии KCl и фосфогипса

Table 1. Qualitative and quantitative conversion indexes of KCl and phosphogypsum

Номер опыта	Фаза	Ионный состав, мас.%				Солевой состав, мас.%				ТЭА, мас.%
		K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	KCl	CaCl_2	CaSO_4	K_2SO_4	
1	Жидкая	2,19	2,05	0,10	5,54	4,17	5,57	0,14	–	60,00
	Твердая	41,58	1,06	52,83	0,58	1,22	–	3,61	91,22	–
2	Исходный р-р	2,19	2,05	0,10	5,54	4,17	5,57	0,14	–	54,45
	Жидкая	2,49	2,18	0,08	6,05	4,74	5,94	0,12	–	–
	Твердая	32,48	7,31	44,60	9,44	19,89	–	24,83	50,23	–

На основании проведенных исследований можно утверждать, что для успешного осуществления конверсии KCl и фосфогипса, т.е. чтобы произвести возврат раствора ТЭА, необходимо его очистить от ионов Ca^{2+} , что успешно осуществляется добавлением соли K_2CO_3 . Тогда данный способ будет состоять из двух стадий: первая – основная конверсия KCl и фосфогипса с получением K_2SO_4 , вторая – очистка фильтрата, полученного на первой стадии от ионов Ca^{2+} . Принципиальная технологическая схема этого процесса представлена на рисунке.



Технологическая схема регенерации растворов ТЭА: 1 – стадия основной конверсии KCl и фосфогипса в присутствии ТЭА; 2 – стадия очистки фильтрата полученного на первой стадии от CaCl_2 ; 3 – фильтры

Technological scheme of regeneration of TEA solutions: 1 – main conversion stage of KCl and phosphogypsum in the presence of TEA; 2 – the stage of purification of the filtrate obtained in the first stage from CaCl_2 ; 3 – filters

С целью подтверждения возможности осаждения карбонатом калия ионов Ca^{2+} из фильтратов, полученных при конверсии KCl и фосфогипса, и их возврата на первую стадию данного процесса, нами проведено 5 циклов с использованием оборотных растворов. После осаждения из фильтрата ионов Ca^{2+} на второй стадии процесса полученную пульпу разделяли на жидкую и твердую фазы фильтрованием. Фильтрат (так называемый оборотный раствор) направляли на первую стадию процесса (рисунок). Как видно из приведенных данных (табл. 2), в каждом цикле содержание ионов Ca^{2+} в оборотном растворе было около 0,02 %, а содержание K_2SO_4 в твердой фазе ниже 90 % не наблюдалось. Поэтому возможность применения K_2CO_3 при очистке раствора ТЭА от CaCl_2 не вызывает сомнений.

Т а б л и ц а 2. Влияние оборотных растворов, очищенных от ионов Ca^{2+} , на качественно-количественные показатели конверсии KCl и фосфогипса

Table 2. Influence of circulating solutions purified from Ca^{2+} ions on the qualitative and quantitative indexes of the conversion of KCl and phosphogypsum

Номер цикла	Номер стадии	Фаза	Ионный состав, мас.%					ТЭА, мас.%	Солевой состав, мас.%				
			K^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}		KCl	CaCl_2	CaSO_4	K_2SO_4	CaCO_3
1	1	Исходный р-р	4,01	0,12	4,01	0,04	–	40,80	8,07	0,28	0,05	–	–
		Жидкая	1,98	1,66	4,62	0,14	–	50,62	3,77	4,43	0,19	–	–
		Твердая	42,86	1,07	0,55	53,73	–	–	1,15	–	3,63	94,16	–
	2	Исходный р-р	1,98	1,66	4,62	0,14	–	50,62	3,77	4,43	0,19	–	–
		Жидкая	3,59	0,02	3,25	0,07	–	41,64	6,84	–	0,05	–	–
		Твердая	2,96	34,37	0,75	1,65	52,07	–	1,58	–	2,34	–	84,12
2	1	Исходный р-р	3,59	0,02	3,25	0,07	–	41,64	6,84	–	0,05	–	–
		Жидкая	1,66	1,81	4,63	0,09	–	33,31	3,16	6,63	0,10	–	–
		Твердая	40,97	1,75	0,73	53,54	–	–	1,53	–	5,96	92,66	–
	2	Исходный р-р	1,66	1,81	4,63	0,09	–	33,31	3,16	6,63	0,10	–	–
		Жидкая	4,26	0,02	3,79	0,04	–	37,41	8,13	–	0,05	–	–
		Твердая	1,06	36,35	0,98	0,20	52,79	–	2,01	–	2,86	–	90,90
5	1	Исходный р-р	3,55	0,06	3,22	0,14	–	39,12	6,77	–	0,20	–	–
		Жидкая	2,04	1,76	5,15	0,18	–	53,46	3,89	4,66	0,26	–	–
		Твердая	40,70	1,12	0,45	52,23	–	–	0,91	–	3,78	89,59	–
	2	Исходный р-р	2,04	1,76	5,15	0,18	–	53,46	3,89	4,66	0,26	–	–
		Жидкая	4,02	0,02	3,75	0,10	–	40,24	7,66	–	0,08	–	–
		Твердая	2,04	36,20	0,71	1,63	54,14	–	1,49	–	2,31	–	88,70

В целях снижения расхода K_2CO_3 , используемого при очистке оборотных растворов, были проведены опыты при различных нормах расхода K_2CO_3 от стехиометрии по реакции (5). Установлено, что введение его в количестве, соответствующем стехиометрической норме, в растворе практически полностью отсутствует ион Ca^{2+} и его концентрация составляет только 0,02 % (табл. 3). Понижение этой нормы до 70 и 50 % от стехиометрии приводит к увеличению содержания ионов Ca^{2+} в растворе до 0,49 и 0,92 % соответственно, а содержание CaCO_3 в твердой фазе составляло 90,90–92,60 %.

В дальнейшем были проведены исследования по возврату оборотного раствора, содержащего различное количество ионов Ca^{2+} , на конверсию KCl и фосфогипса. Установлено (табл. 4), что уменьшение концентрации ионов Ca^{2+} в оборотном растворе повышает содержание K_2SO_4 в готовом продукте. Так, при содержании ионов Ca^{2+} в оборотном растворе, равном 1,89 %, концентрация K_2SO_4 в готовом продукте составляет 50,23 %, тогда как при содержании их 0,92 и 0,49 % этот показатель повышается до 91,68 и 91,01 % соответственно. В результате исследований установлено, что качественно-количественные показатели конверсий KCl и фосфогипса, проведенных в оборотных растворах, содержащих низкие количества (0,92 и 0,49 %) ионов Ca^{2+} , практически такие же, как и при содержании их равном 0,02 %, что соответствует стехиометрической норме расхода компонентов по уравнению (5) (табл. 3). Отсюда следует, что нет необходимости полностью очищать раствор ТЭА от ионов Ca^{2+} . Еще один положительный фактор использова-

ния K_2CO_3 для осаждения ионов Ca^{2+} заключается в том, что KCl , полученный по реакции (5), переходит в оборотный раствор и будет возвращен на первую стадию конверсии KCl и фосфогипса, что позволит снизить его первоначальный расход. ТЭА также будет возвращаться с оборотным раствором. Его количество будет только частично обновляться.

Т а б л и ц а 3. Качественно-количественные показатели, полученные при осаждении ионов Ca^{2+} , на второй стадии технологического процесса при различных нормах расхода K_2CO_3 от стехиометрии по реакции $CaCl_2 + K_2CO_3 \rightarrow 2KCl + \downarrow CaCO_3$

Table 3. Qualitative and quantitative indexes obtained during the deposition of Ca^{2+} ions in the second stage of the technological process with different stoichiometry consumption rates of K_2CO_3 by reaction $CaCl_2 + K_2CO_3 \rightarrow 2KCl + \downarrow CaCO_3$

№ п/п	Норма K_2CO_3 от стех., %	Фаза	Ионный состав, мас.%					Солевой состав, мас.%				ТЭА, мас.%
			K^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	KCl	$CaCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$	
1	100	Исходный р-р	1,66	1,81	4,63	0,09	–	3,16	6,63	0,10	–	33,31
		Очищенный р-р	4,26	0,02	3,86	0,04	–	8,13	–	0,05	–	37,41
		Твердая	1,06	36,35	0,96	0,20	54,50	2,01	–	2,86	90,90	–
2	70	Исходный р-р	1,98	1,88	4,89	0,29	–	3,77	4,85	0,42	–	–
		Очищенный р-р	3,28	0,49	3,72	0,18	–	6,25	1,13	0,26	–	34,26
		Твердая	1,72	36,70	0,37	1,22	55,20	0,77	–	–	91,65	–
3	50	Исходный р-р	2,30	2,17	5,80	0,13	–	4,38	5,86	0,18	–	50,55
		Очищенный р-р	3,89	0,92	5,09	0,10	–	7,41	2,44	0,11	–	37,13
		Твердая	1,63	37,8	0,81	1,73	56,08	1,69	–	2,45	92,6	–

Т а б л и ц а 4. Влияние концентрации ионов Ca^{2+} , содержащихся в растворе ТЭА, на конверсию KCl и фосфогипса

Table 4. Influence of the concentration of Ca^{2+} ions contained in the solution of TEA on the conversion of KCl and phosphogypsum

Номер опыта	Фаза	Ионный состав, мас.%				Солевой состав, мас.%				ТЭА, мас.%
		K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	KCl	$CaCl_2$	$CaSO_4$	K_2SO_4	
1	Исходный р-р	1,91	1,89	0,08	5,95	3,64	4,95	0,10	–	54,45
	Твердая	32,48	7,31	44,6	9,44	19,89	–	24,83	50,23	–
2	Исходный р-р	1,98	1,45	0	4,35	3,77	4,01	–	–	48,70
	Твердая	40,33	2,32	54,09	0,75	1,57	–	7,88	88,03	–
3	Исходный р-р	3,89	0,92	0,10	5,09	7,41	2,44	0,14	–	37,13
	Твердая	41,67	1,23	53,46	0,49	1,03	–	4,19	91,68	–
4	Исходный р-р	3,28	0,88	0,11	4,43	6,25	2,30	0,26	–	36,73
	Твердая	41,79	1,40	53,52	0,85	1,80	–	4,75	91,01	–
5	Исходный р-р	3,28	0,49	0,18	3,72	6,25	1,13	0,26	–	34,26
	Твердая	41,02	1,38	53,27	0,32	0,67	–	4,68	90,63	–

При использовании на второй стадии данного процесса карбоната натрия (Na_2CO_3) в качестве осадителя иона Ca^{2+} из раствора ТЭА по реакции (4) установлено, что этот реагент также полностью осаждает его из раствора. Так, если после первой стадии содержание кальция в фильтрате составило 1,50 % (табл. 5), то после второй стадии эта величина понизилась до 0,05 %. Однако присутствие в этой системе иона Na^{2+} оказывает отрицательное действие на качество продукта (первая стадия), так как наряду с K_2SO_4 в твердой фазе обнаружен и глазерит $3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$. Следует отметить, что из цикла в цикл происходит накопление $NaCl$ как в жидкой, так и в твердой фазах. Так, если в первом цикле его содержание в твердой фазе составило 5,40 %, то в третьем – уже 6,79 %, а глазерита – 23,97 и 33,90 % соответственно, что и вызвало понижение содержания K_2SO_4 с 74,98 до 70,30 % соответственно.

Таким образом, на основании полученных данных Na_2CO_3 не может быть использован как осадитель из раствора ТЭА ионов Ca^{2+} . Для очистки раствора ТЭА от примесей, в частности от $CaCl_2$, намного эффективнее в качестве осадителя использовать карбонат калия.

Таблица 5. Качественно-количественные показатели конверсии KCl и CaSO₄, используя оборотный раствор ТЭА, очищенный от иона Ca²⁺ раствором карбоната натрияTable 5. Qualitative and quantitative indexes of the conversion of KCl and CaSO₄, using TEA working solution purified from Ca²⁺ ions with sodium carbonate solution

Номер цикла	Номер стадии	Фаза	Ионный состав, мас.%						Солевой состав, мас.%									Глазеприт, %
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	ТЭА	KCl	Na ₂ CO ₃	CaCl ₂	CaSO ₄	K ₂ SO ₄	NaCl	CaCO ₃	Na ₂ SO ₄	
1	1	Исходный р-р	1,65	2,31	0,08	4,99	0,07	0,13	45,77	3,15	0,23	0,14	0,10	–	5,61	–	–	–
		Фильтрат	1,74	1,30	1,50	6,14	0,09	–	–	3,31	–	4,03	0,14	–	3,30	–	–	–
		Твердая	33,66	4,25	1,34	7,03	43,92	–	–	7,89	–	–	4,58	74,98	5,40	–	6,56	23,97
	2	Исходный р-р	1,74	1,30	1,50	6,14	0,09	–	–	3,31	–	4,03	0,14	–	3,30	–	–	–
		Фильтрат	1,41	2,52	0,05	2,32	0,00	–	36,73	2,68	–	0,14	–	–	6,40	–	–	–
		Твердая	0,21	1,26	36,33	0,53	0,10	55,69	–	0,40	2,39	–	0,14	–	0,55	90,63	–	–
2	1	Исходный р-р	1,41	2,52	0,05	2,32	0,00	–	36,73	2,68	–	0,14	–	–	6,40	–	–	–
		Фильтрат	1,43	1,39	1,44	2,15	0,06	–	–	1,09	–	0,14	–	–	1,77	–	–	–
		Твердая	33,12	4,79	1,81	8,45	40,98	–	–	8,89	–	–	6,20	71,02	6,97	–	8,46	30,91
	2	Исходный р-р	1,43	1,39	1,44	2,15	0,06	–	–	1,09	–	0,14	–	–	1,77	–	–	–
		Фильтрат	1,13	2,51	0,07	5,98	0,08	–	42,85	2,15	–	1,80	–	–	6,38	–	–	–
		Твердая	0,18	1,31	36,99	0,50	0,21	56,68	–	0,34	2,51	–	0,30	–	0,56	92,87	–	–
3	1	Исходный р-р	1,13	2,51	0,07	5,98	0,08	–	42,85	2,15	–	1,80	–	–	6,38	–	–	–
		Фильтрат	1,41	1,19	1,44	5,64	0,03	–	–	2,68	–	3,93	0,04	–	3,03	–	–	–
		Твердая	33,00	5,24	1,09	6,77	44,85	–	–	2,76	–	–	3,69	70,30	5,79	–	9,28	33,90
	2	Исходный р-р	1,41	1,19	1,44	5,64	0,03	–	–	2,68	–	3,93	0,04	–	3,03	–	–	–
		Фильтрат	1,59	1,34	0,03	3,55	0,00	–	45,27	3,02	–	0,07	–	–	3,40	–	–	–
		Твердая	0,36	1,75	33,57	1,31	0,00	51,72	–	0,69	2,56	–	–	–	1,62	83,84	–	–

Заключение. В результате исследований установлено, что содержащаяся в растворе триэтаноламина примесь в виде хлорида кальция оказывает отрицательное действие на конверсию фосфогипса и хлорида калия. Показано, что для успешного проведения этого процесса необходимо использовать чистый триэтаноламин или очищенный от ионов кальция.

Установлено, что для осаждения иона кальция необходимо использовать углекислый калий в количестве, соответствующем 50–70 % от стехиометрической нормы по реакции (5). Обратные растворы могут быть возвращены на основную конверсию с минимальными затратами.

Список использованных источников

1. Ющенко, И. С. Характеристика насыпного грунта (фосфогипс) / И. С. Ющенко // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. – 2017. – № 5. – С. 99–102.
2. Букша, Ю. В. Конверсионные способы получения сульфата калия / Ю. В. Букша, Г. В. Осипова, Ю. С. Сафрыгин // Горный журнал. – 2007. – № 8. – С. 83–85.
3. Получение сульфата калия взаимодействием хлорида калия и сульфата кальция / И. И. Гончарик [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2017. – № 3. – С. 98–103.
4. Способ производства оксида магния или продуктов его гидратации: пат. 1599304 СССР: МПК CS 248963/CS PV 9911-83/27.12.83/ 3. Мирослав, М. Венделин, Г. Честмир; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт для петрохимии Приевидза. – № 7774229/23-26; заявл. 09.07.86; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38.
5. Способ определения триэтаноламина в воде: пат. 1649395 СССР: МПК А1 (19) (11) (5) 4 G 01 N 21/78 / Л. Н. Демущая, Н. В. Онола, Н. Ф. Фалендыш; заявитель и патентообладатель Институт коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского. – № 4692473/04; заявл. 15.08.89; опубл. 23.06.91, Бюл. № 18.

References

1. Yushchenko I. S. Characteristics of bulk soil (phosphogypsum). *Geology, geo-ecology and resource potential of the Urals and adjacent territories*, 2017, no. 5, pp. 99–102 (in Russian).
2. Buksha Y. V., Osipova G. V., Safrygin Y. S. Conversion methods for producing potassium sulfate. *Gornyi Zhurnal*, 2007, no. 8, pp. 83–85 (in Russian).
3. Goncharik I. I., Shevchuk V. V., Kudina O. A. (eds.) Preparation of potassium sulfate in a reaction of potassium chloride and calcium sulfate. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2017, no 3, pp. 98–103 (in Russian).
4. Miroslav Z., Vendelin M., Chestmir G. *The method of production of magnesium oxide or products of its hydration*. Institute for petrochemistry, Prievidza, no 159930, 1990 (in Russian).
5. Demutska L. N., Onola N. V., Falendysh N. F. *The method for determining triethanolamine in water*. Patent USSR, Institute of colloid chemistry and water chemistry by A. V. Dumansky, no 1649395, 1991 (in Russian).

Информация об авторах

Готто Земфира Акифовна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: zima.gotto@bk.ru

Гончарик Инна Иосифовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: igiclpns@rambler.ru

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент, д-р хим. наук, зав. отделом минеральных удобрений, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Навныко Анна Леонидовна – мл. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anna.navnyko.86@mail.ru

Осипова Елена Олеговна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: osipovaelena@gmail.ru

Остапенко Юлия Константиновна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: yuliya77@mail.ru

Information about the authors

Zemfira A. Gotto – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zima.gotto@bk.ru

Ina I. Hancharyk – Ph. D. (Engineering), Senior Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igiclpns@rambler.ru

Viacheslau V. Shevchuk – Corresponding Member, D. Sc. (Chemistry), Head of the Department of Mineral Fertilizers, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Anna L. Navnyko – Junior Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna.navnyko.86@mail.ru

Elena O. Osipova – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: osipovaelena@gmail.ru

Yuliya K. Ostapenko – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yuliya77@mail.ru