

May 2022

RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CRYSTALLINE MONOCALCIUM PHOSPHATE BASED ON EXTRACTION PHOSPHORIC ACID FROM PHOSPHORITES OF CENTRAL KYZYLKUMS

Kholtura MIRZAKULOV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, khchmirzakulov@mail.ru

Gavkhar MELIKULOVA

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, melikulova@mail.ru

Mohichehra SHAYMARDANOVA

Termez Engineering-Technological Institute, Termez, Uzbekistan, mohichehra@mail.ru

Sherzod KHUJAMBERDIEV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, sherzod0108@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

 Part of the [Materials Science and Engineering Commons](#)

Recommended Citation

MIRZAKULOV, Kholtura; MELIKULOVA, Gavkhar; SHAYMARDANOVA, Mohichehra; and KHUJAMBERDIEV, Sherzod (2022) "RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CRYSTALLINE MONOCALCIUM PHOSPHATE BASED ON EXTRACTION PHOSPHORIC ACID FROM PHOSPHORITES OF CENTRAL KYZYLKUMS," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 1, Article 3.

DOI: 10.34920/cce202213

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss1/3>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering.

RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CRYSTALLINE MONOCALCIUM PHOSPHATE BASED ON EXTRACTION PHOSPHORIC ACID FROM PHOSPHORITES OF CENTRAL KYZYLKUMS

Kholtura MIRZAKULOV¹ (khchmirzakulov@mail.ru), Gavkhar MELIKULOVA¹ (melikulova@mail.ru), Mohichehra SHAYMARDANOVA² (mohichehra@mail.ru), Sherzod KHUJAMBERDIEV¹ (sherzod0108@mail.ru),

¹Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan

²Termez Engineering-Technological Institute, Termez, Uzbekistan

The aim of the research is to establish the optimal parameters of the technological process for the production of feed, crystalline monocalcium phosphate based on defluorinated and desulphated extraction phosphoric acid obtained from phosphorites of the Central Kyzylkum and limestone.

The influence of technological parameters, such as the norms and concentration of phosphoric acid, the process temperature on the filtration rate indicators, the rheological properties of the suspension and the mother liquor, as well as the dependence of the change in the commercial property of crystalline feed monocalcium phosphate, were studied.

It is shown that, regardless of the initial acid concentration (45-55% P₂O₅), monocalcium phosphate contains 53.2-54.8% P₂O₅ total and 0.009-0.02% fluorine.

Keywords: limestone, evaporation, crystallization, drying, crystalline monocalcium phosphate

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МОНОКАЛЬЦИЙФОСФАТА НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ФОСФОРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

Холтура МИРЗАКУЛОВ¹ (khchmirzakulov@mail.ru), Гавхар МЕЛИКУЛОВА¹ (melikulova@mail.ru), Мохичехра ШАЙМАРДАНОВА² (mohichehra@mail.ru), Шерзод ХУЖАМБЕРДИЕВ¹ (sherzod0108@mail.ru),

¹Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

²Термезский инженерно-технологический институт, Термез, Узбекистан

Целью исследований является установление оптимальных параметров технологического процесса производства кормового, кристаллического монокальцийфосфата на основе обезфторенной и обессульфаченной экстракционной фосфорной кислоты полученной из фосфоритов Центральных Кызылкумов и известняка.

Изучено влияние технологических параметров, таких как нормы и концентрация фосфорной кислоты, температура процесса на показатели скорости фильтрации, реологические свойства суспензии и маточного раствора, а также зависимость изменения товарного свойства кристаллического кормового монокальцийфосфата.

Показано, что в зависимости от исходной концентрации кислоты (45-55% P₂O₅) кристаллический монокальцийфосфат содержит 53,2-54,8% P₂O₅ общ. и 0,009-0,018% фтора.

Ключевые слова: известняк, упарка, кристаллизация, сушка, кристаллический монокальцийфосфат

MARKAZIY QIZILQUM FOSFORITLARIDAN OLINGAN EKSTRAKSION FOSFOR KISLOTA ASOSIDA KRISTALLANGAN MONOKALSIYFOSFAT OLIH JARAYONINI TADQIQOTI

Xolto'ra MIRZAKULOV¹ (khchmirzakulov@mail.ru), Gavhar MELIKULOVA¹ (melikulova@mail.ru), Moxichehra SHAYMARDANOVA² (mohichehra@mail.ru), Sherzod XUJAMBERDIYEV¹ (sherzod0108@mail.ru),

¹Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

²Termez muhandislik-texnologiya instituti, Termez, O'zbekiston

Tadqiqot maqsadi Markaziy Qizilqum fosforitlaridan olingan fiorsizlantirilgan va sulfatsizlantirilgan ekstraktsion fosfor kislotasi va ohaktosh asosida ozuqabop, kristallangan monokalsiyfosfat ishlab chiqarish jarayonlarining maqbul texnologik parametrlarini o'rnatishdan iborat.

Fosfor kisloata me'yorlari va konsentratsiyasi, jarayon haroratlarining filtratsiya tezligi ko'rsatkichlariga, suspenziya va aylanma eritmaning reologik xossalriga, shuningdek, kristallangan ozuqabop monokalsiyfosfatning tovar xossalaridagi o'zgarishlarga bog'liqligi kabi texnologik parametrlarning ta'siri o'rganilgan.

Kristall monokalsiyfosfat tarkibi bug'latilgan kisloata konsentratsiyasiga (45-55% P₂O₅) bog'liq ravishda 53,2-54,8% P₂O₅ umum. va 0,009-0,018% ftordan iborat.

Kalit so'zlar: ohaktosh, bug'lanish, kristallanish, quritish, kristall monokalsiyfosfat

DOI: 10.34920/cce202213

Введение

В мире в настоящее время из-за быстро растущего населения планеты, с сокращением пахотных и поливных земель, обеспечение населения продовольствием и питьевой водой приобретает все большую остроту. Несмотря на громадные достижения в земледелии, животноводстве это проблема до сих пор остается нерешенной. Одним из наиболее эффективных способов решения этой проблемы является дальнейшее повышение урожайности сельскохозяйственных культур и производительности животноводства, птицеводства, рыбоводства.

Фосфор занимает особое место среди химических элементов. Он входит в состав многих минералов, прежде всего, фосфатов кальция [1, 2]. Мировое потребление кормовых фосфатов кальция превысило шесть миллионов тонн в год и продолжает ежегодно увеличиваться [3, 4]. Фосфор является важнейшей составляющей кормовых рационов домашнего скота, птицы, рыб. Он входит в состав нуклеиновых кислот, фосфатов, фосфопротеинов и других соединений, является необходимым компонентом для построения костной ткани. Недостаток фосфора в рационах сельскохозяйственных животных снижает мясную и молоч-

ную продуктивность, приводит к возникновению костных заболеваний и нарушению функции воспроизводства. Для устранения дефицита фосфора в организме животных применяют минеральные кормовые добавки, которые вводят для улучшения качества рационов в кормах [5-8].

Фосфор и кальций участвуют в обменных процессах организма, обуславливают высокую эффективность кормовых минеральных добавок. Качество кормовых фосфатов кальция оценивается по содержанию в них усвояемых форм питательных элементов при минимальной концентрации вредных примесей, таких как фтор, свинец мышьяк, кадмий, ртуть. Биологическая усвояемость фосфора из кормовых фосфатов кальция – монокальцийфосфата, дикальцийфосфата, трикальцийфосфата составляет не менее 80% [9-11].

Мировой ассортимент основных минеральных подкормок насчитывает более 10 наименований. Широкое применение в животноводстве, птицеводстве, рыбоводстве получили фосфорсодержащие минеральные подкормки на основе фосфатов кальция, натрия, аммония и других химических компонентов [12, 13].

Среднегодовой рост потребления кормовых фосфатов в мире составляет 6%, что примерно в 2,5 раза выше, чем для фосфорсодержащих удобрений. Больше всего кормовых фосфатов потребляет Американский континент – 50%, Азия – 18%, 21% приходится на Западную Европу и только 9% на Центральную и Восточную Европу. Самый большой среднегодовой рост потребления кормовых фосфатов наблюдается в Латинской Америке (Бразилия +14%) и Азии (Китай +10%). Ожидается рост потребления кормовых фосфатов и в Центральной Азии. Здесь следует отметить, что крупнейший производитель кормовых фосфатов в Азии компания Lomon (Китай), имеющая развернутый ассортимент продукции и выпускающая до 600 тыс. тонн в год кормовых фосфатов кальция полностью ориентирована на внутренний рынок. Практически полностью реализуют свою продукцию на внутреннем рынке и бразильские производители кормовых фосфатов [4, 14].

В последние годы получили распространение способы получения монокальцийфосфата жидкофазным циркуляционным методом. Суть метода заключается в разложении Полпинского фосфатного сырья [15-17] и фосфоритов Центральных Кызылкумов (ЦК) [18, 19] 3-5 кратным избытком концентрированной 40-65% по P_2O_5 фосфорной кислотой при температурах 60-90 °С, кристаллизации монокальцийфосфата при охлаждении и отделении от маточного раствора [15-19]. Преимуществом цик-

лического способа является возможность получения монокальцийфосфата практически из любых видов фосфатного сырья.

С использованием диаграмм растворимости в системах $CaO-P_2O_5-H_2O$ и $CaO-P_2O_5-HCl-H_2O$ проведены графические расчеты процесса получения моногидрата монокальцийфосфата из фосфоритов Каратау [20-23] и ЦК [24, 25] в условиях рецикла маточного раствора для температуры 40 °С.

В связи с этим, наши исследования были направлены на получение обесфторенного монокальцийфосфата кормовой и более высокой чистоты из экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) на основе фосфоритов ЦК, которая сильно загрязнена полуторными окислами и фтором [26, 27].

Методы исследований

ЭФК предварительно очищали от сульфатов и фтора, используя фосконцентрат и соли натрия – карбонат и метасиликат [28-31]. Очищенная кислота имела состав (масс. %): P_2O_5 - 17,02; SO_4 - 0,23; CaO - 1,58; MgO - 0,49; Fe_2O_3 - 0,25; Al_2O_3 - 0,38; F - 0,30. В качестве кальцийсодержащего сырья использовали природный известняк Кутарминского месторождения, содержащий (масс. %): CaO - 54,88; MgO - 0,47; SiO_2 - 0,49; Fe_2O_3 - 0,10; Al_2O_3 - 0,21; п.п.п. - 43,76.

Исследования процесса проводили на модельной экспериментальной установке, имитирующей производственные условия - процесс состоящий из реактора, механической мешалки и термостата при температуре 95-100 °С и продолжительности процесса 3 часа. После достижения заданного времени фосфатную массу - суспензию фильтровали при температуре опыта для отделения нерастворимого остатка, фильтрат охлаждали до температуры 60-80 °С и отделяли кристаллический монокальцийфосфат, промывали водой или насыщенным раствором монокальцийфосфата и сушили при температуре 100-110 °С. Анализ исходных, промежуточных и конечных продуктов проводили известными методами химического и физико-химического анализа [32-35].

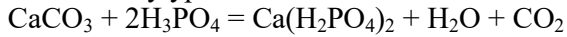
Исследование микроструктуры образцов осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM-EVO MA 10 (Carl Zeiss) с рентгеновским спектрометром Aztec Energy Advanced X-Act-Oxford Instruments, ускоряющее напряжение 12 кВ [36].

Результаты и обсуждение

С целью получения обесфторенного монокальцийфосфата в кристаллическом виде, без посторонних примесей был исследован процесс разложения известняка обесфторенной

и обессульфаченной ЭФК из фосфоритов ЦК, предварительно упаренной до содержания 40-55% P₂O₅ при ее норме 300-500% от стехиометрии на образование монокальцийфосфата.

Процесс получения монокальцийфосфата, путем разложения известняка концентрированной фосфорной кислотой, протекает по общеизвестному уравнению:



Маточный раствор, после отделения кристаллов монокальцийфосфата, содержит растворенную в фосфорной кислоте соль кальция, а нерастворимый остаток содержит неразложившийся известняк.

Блок-схема циркуляционного способа получения кристаллического, обесфторенного монокальцийфосфата представлена на рисунке 1.

Результаты исследования процессов кристаллизации и получения кристаллического монокальцийфосфата при нормах 300-500% упаренной ЭФК с содержанием 45, 50 и 55% P₂O₅ приведены в таблице 1.

Фосфорнокислотная масса разложения известняка по 45% P₂O₅ фосфорной кислотой

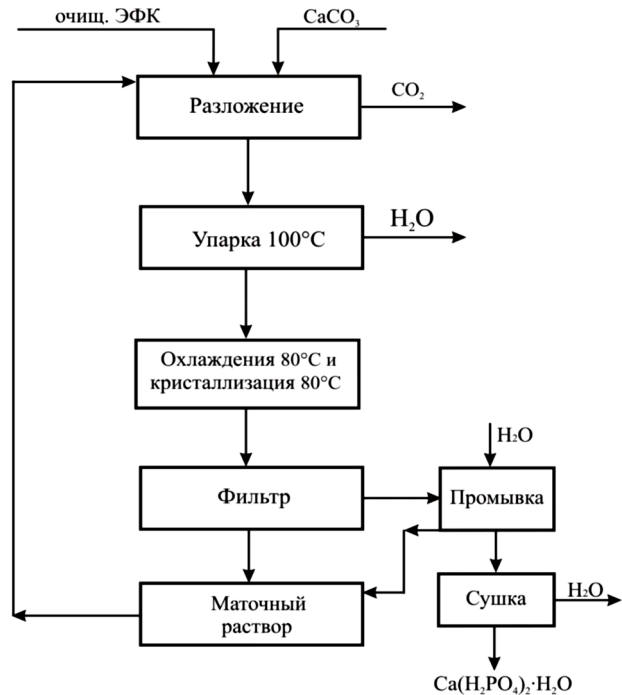


Рисунок 1. Блок-схема получения кристаллического монокальцийфосфата на основе упаренной экстракционной фосфорной кислоты Центральных Кызылкумов и известняка при норме 400%.

Таблица 1

Влияние нормы и концентрации упаренной экстракционной фосфорной кислоты на химический состав и технологические показатели производства кормового монокальцийфосфата (при температуре 60 °С)

Норма H ₃ PO ₄ , % от стехиометрии	H ₃ PO ₄ , % P ₂ O ₅	Содержание, %				Показатель фильтрации		
		P ₂ O ₅		CaO	F	Продолжительность, сек	Масса осадка, г	Съем осадка, кг/м ² ·ч
		Общ.	Своб.					
300	45	52,6	16,1	16,7	0,018	не фильтруется		
400		52,8	12,0	18,9	0,016	не фильтруется		
300	50	53,6	14,5	16,7	0,012	240	17,5	330
400		53,9	13,7	17,3	0,010	240	17,5	330
500		54,3	11,3	17,5	0,009	250	17,9	380
300	55	53,8	15,9	14,6	0,012	не фильтруется		
400		55,7	12,0	15,3	0,009	280	17,2	180
500		54,8	11,2	16,6	0,008	130	17,8	450

при нормах 300 и 400% от стехиометрии практически не фильтруется. Аналогичная картина наблюдается и при норме 55% фосфорной кислоты 300%.

Наилучшие результаты по фильтрации наблюдаются при использовании 50% по P₂O₅ фосфорной кислоты при нормах 300-500% и при использовании 55% по P₂O₅ фосфорной кислоты при норме 500%. При этом съем осадка монокальцийфосфата составляет 330-450 кг/

м²·ч, а содержание P₂O₅общ. составляет 53,6-54,8%, P₂O₅св. 11,2 – 14,5%, CaO 16,6 – 17,5% и фтора 0,008-0,018%.

В таблице 2 приведены результаты исследования влияния температуры на процесс кристаллизации монокальцийфосфата, его состав и скорость фильтрации при норме ЭФК 400%.

Из таблицы видно, что понижение температуры существенно влияет на процесс формирования кристаллов монокальцийфосфата. При

Таблица 2

Влияние температуры кристаллизации и концентрации упаренной экстракционной фосфорной кислоты на химический состав и технологические показатели производства кормового монокальцийфосфата

Температура кристаллизации, °С	H ₃ PO ₄ , % P ₂ O ₅	Содержание, %				Показатель фильтрации		
		P ₂ O ₅		CaO	F	Продолжительность, сек	Масса осадка, г	Съем осадка, кг/м ² ·ч
		Общ.	Своб.					
40	45	51,3	21,2	13,7	0,022	не фильтруется		
60		52,8	12,0	18,9	0,018	плохо фильтруется		
80		53,2	18,3	16,2	0,012	180	19,0	470
100		53,8	19,0	17,2	0,009	120	18,6	550
60	50	53,9	13,7	17,3	0,016	240	17,5	230
80		54,2	12,0	18,5	0,011	45	28,0	680
100		54,7	9,4	18,9	0,009	30	27,6	820
60	55	53,8	15,9	14,6	0,016	не фильтруется		
80		55,1	15,4	16,9	0,010	30	30,0	760
100		54,8	4,6	19,2	0,008	20	27,5	960

понижение температуры фильтрата до 40 °С образуются мелкие кристаллы, которые плохо фильтруются или практически не фильтруются. Хорошие результаты по фильтрации монокальцийфосфата достигаются при охлаждении фильтрата до температуры 60-100 °С. Скорости фильтрации при этих условиях составляют для концентрации фосфорной кислоты 45% P₂O₅ 470-550 кг/м²·ч, для 50% P₂O₅ 680-820 кг/м²·ч, 55% P₂O₅ 760-960 кг/м²·ч. Содержание P₂O₅общ изменяется от 53,2% до 55,1%, свободная форма P₂O₅ составляет 19,0-4,6%, а содержание CaO 16,2-19,2% и фтора 0,008-0,022%.

Высокое содержание свободной P₂O₅ не позволяет использовать монокальцийфосфат для получения комбикормов и в качестве фосфатно-кальциевой добавки к кормам животных, птиц, рыб. Для снижения кислотности монокальцийфосфата его нейтрализовали известняком (табл. 3).

При нейтрализации кристаллического монокальцийфосфата, полученного с использованием 45% по P₂O₅ ЭФК при норме 400% известняком в количестве 10, 15 и 20% от массы монокальцийфосфата содержание свободной P₂O₅ снижается с 18,3% до 2,7% при кристаллизации монокальцийфосфата при температуре 80°С и с 19,0% до 2,5% при кристаллизации монокальцийфосфата при температуре 100°С. рН 10% раствора нейтрализованного, кристаллического монокальцийфосфата при этом повышается с 2,6 до 3,3 и с 2,5 до 3,5.

При нейтрализации кристаллического монокальцийфосфата, полученного с использованием 50% по P₂O₅ ЭФК при норме 400% известняком в количестве 10 и 15% от массы монокальцийфосфата содержание свободной P₂O₅ снижается с 12,6% до 4,1% при кристаллизации монокальцийфосфата при температуре 60 °С и с 12,0% до 4,7% при кристаллизации монокальцийфосфата при температуре 80 °С. рН 10% раствора нейтрализованного, кристаллического монокальцийфосфата при этом повышается с 2,6 до 3,3 и с 2,5 до 3,5.

При нейтрализации кристаллического монокальцийфосфата полученного при норме кислоты 400% содержание P₂O₅св. снижается с 15,4% до 2,5%, соответственно, для монокальцийфосфата, полученного при температуре кристаллизации 80 °С.

Исследованы реологические свойства продуктов при разложении карбоната кальция при повышенной норме ЭФК. Норму ЭФК изменяли в пределах от 300 до 450%, а температуру от 40 до 100 °С. Экспериментальные данные представлены в таблицах 4 и 5.

В таблице 4 приведены данные описывающие реологические свойства суспензии монокальцийфосфата в зависимости от нормы кислоты и температуры процесса.

Со снижением нормы ЭФК суспензии, плотность и вязкость повышаются незначительно и составляют при температуре 40 °С 1,263-1,527 г/см³ и 3,234-17,753 мПа·с.

Таблица 3

Влияние количества карбоната кальция на кислотные показатели и товарные свойства кристаллического монокальцийфосфата

Кол-во Са- СО ₃ , % от массы	Н ₃ РО ₄ , % Р ₂ О ₅	Норма Н ₃ РО ₄ , % от стех.	°С	рН	Содержание, %		
					Р ₂ О ₅		СаО
					Общ.	Своб.	
0	45	400	80	2,5	53,2	18,3	16,2
10				2,8	50,5	8,6	17,1
15				3,1	49,2	4,8	17,6
20				3,3	48,0	2,7	18,0
0	45	400	100	2,2	53,8	19,0	17,2
10				3,0	51,1	8,7	18,2
15				3,1	49,9	5,4	18,7
20				3,3	48,9	2,5	19,2
0	50	400	60	2,6	53,9	12,6	17,3
10				3,1	51,2	9,2	18,3
15				3,3	49,9	4,1	18,7
0	50	400	80	2,5	54,2	12,0	18,5
10				3,2	51,4	9,8	19,6
15				3,5	50,1	4,7	20,1
0	55	400	80	2,2	55,1	15,4	16,9
10				2,8	52,3	8,6	17,9
15				3,2	51,0	5,3	18,3
20				3,5	49,8	2,5	18,8

Повышение температуры суспензии приводит к снижению плотности и вязкости суспензии. При норме ЭФК 450% повышение температуры с 40 до 100 °С плотность снижается с 1,263 г/см³ до 1,239 г/см³, а вязкость при этих условиях снижается с 3,234 мПа·с до 1,245 мПа·с. Это указывает на приемлемые реологические свойства суспензии монокальцийфосфата.

В таблице 5 приведены реологические свойства маточных растворов, полученных по-

сле фильтрации суспензии кристаллического монокальцийфосфата при различных нормах кислоты и температуры процесса.

Со снижением нормы ЭФК суспензии плотность и вязкость повышаются и составляют при температуре 40 °С 1,175-1,420 г/см³ и 3,008-16,510 мПа·с.

Повышение температуры суспензии приводит к снижению плотности и вязкости суспензии. При норме ЭФК 450% повышении температуры с 40 до 100 °С плотность снижа-

Таблице 4

Влияние нормы экстракционной фосфорной кислоты и температуры процесса на плотность и вязкость суспензии, образующихся при разложении карбоната кальция при повышенной норме кислоты

Нормы ЭФК, %	Плотность, г/см ³					Вязкость, мПа·с				
	40 °С	60 °С	80 °С	90 °С	100 °С	40 °С	60 °С	80 °С	90 °С	100 °С
450	1,263	1,252	1,244	1,241	1,239	3,234	2,258	1,487	1,256	1,245
400	1,320	1,308	1,300	1,297	1,295	3,593	2,509	1,652	1,395	1,379
375	1,379	1,367	1,358	1,355	1,352	6,314	4,243	2,904	2,358	1,344
350	1,434	1,421	1,412	1,409	1,406	9,035	5,977	4,156	3,322	3,309
325	1,480	1,467	1,458	1,455	1,452	12,055	7,975	5,546	4,432	4,415
300	1,527	1,513	1,504	1,500	1,497	17,753	11,746	8,167	6,527	6,502

Таблице 5

Влияние нормы экстракционной фосфорной кислоты и температуры процесса на плотность и вязкость маточного раствора, образующихся после фильтрации суспензии при разложении карбоната кальция

Нормы ЭФК, %	Плотность, г/см ³					Вязкость, мПа·с				
	40 °С	60 °С	80 °С	90 °С	100 °С	40 °С	60 °С	80 °С	90 °С	100 °С
450	1,175	1,164	1,157	1,154	1,151	3,008	2,099	1,383	1,268	1,206
400	1,228	1,217	1,209	1,206	1,203	3,341	2,333	1,536	1,397	1,327
375	1,282	1,271	1,263	1,260	1,257	5,872	3,946	2,701	2,193	2,084
350	1,334	1,322	1,313	1,310	1,307	8,402	5,559	3,865	3,089	2,935
325	1,376	1,364	1,356	1,353	1,349	11,211	7,417	5,158	4,122	3,875
300	1,420	1,407	1,399	1,395	1,392	16,510	10,924	7,595	6,069	5,644

ется с 1,175 г/см³ до 1,151 г/см³, а вязкость при этих условиях снижается с 3,008 мПа·с до 1,206 мПа·с. Это указывает на приемлемые реологические свойства суспензии монокальцийфосфата.

По результатам проведенных исследований установлено, что в пределах всех изучен-

ных технологических параметров значения плотности и вязкости монокальцийфосфатных суспензии и маточных растворов, полученных после фильтрации, имеют большую текучесть и позволяют транспортировать их перекачивающими устройствами без каких-либо ограничений.

Электронное изображение 89

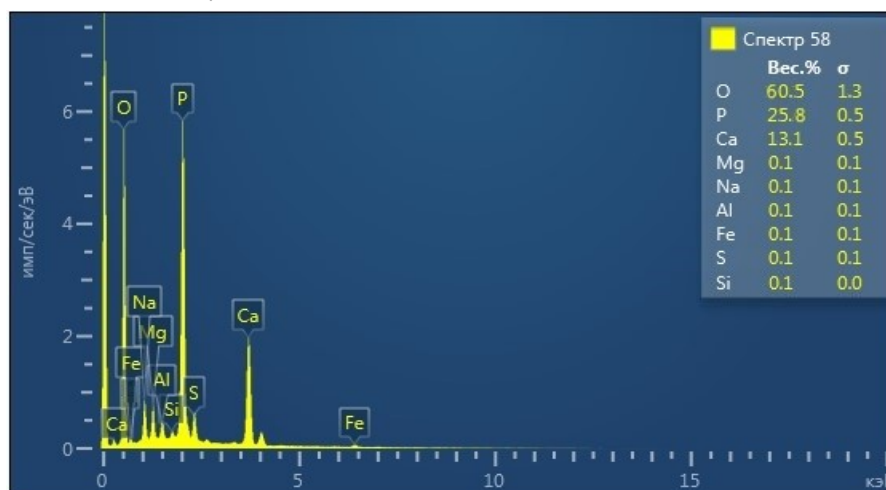
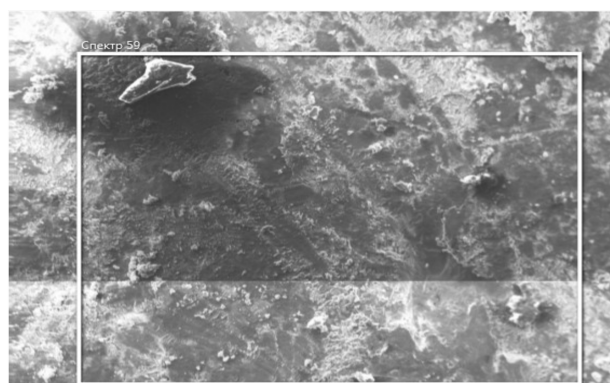


Рисунок 2. Сканирующего микроскопического анализа кормового монокальцийфосфата.

Таблица 6
Результаты элементного химического
анализа монокальцийфосфата

Элемент	Масс. %	Сигма, масс. %
O	60.51	1.29
Na	0.09	0.03
Mg	0.06	0.03
Al	0.08	0.04
Si	0.06	0.02
P	25.8	0.22
S	0.09	0.04
Ca	13.08	0.35
Fe	0.07	0.04
Сумма:	100.00	

Электронно-микроскопический снимок кристаллов монокальцийфосфата, полученный после отделения от маточного раствора, а также результаты их элементного химического анализа, приведены на рисунке 2 и в таблице 6. Микроскопический анализ кристаллического монокальцийфосфата показывает следующее содержание элементов : O-51,28%, F-0,11%; Na -1,51%; Mg-1,89%; Al-0,92%; Si-0,11%; P-23,38%; S-0,31%, что соответствует их нормам

содержания в кормовом монокальцийфосфате.

Таким образом, экспериментальным путем установлена возможность получения кристаллического монокальцийфосфата кормового и более высокой чистоты, определены оптимальные параметры всех стадий процесса, определены основные физико-химические и товарные свойства.

Заключение

Таким образом, на модельной экспериментальной установке, имитирующей производственные условия, установлена возможность получения кормового, кристаллического монокальцийфосфата, определены оптимальные технологические параметры всех стадий процесса: концентрация ЭФК 45-55% P_2O_5 , норма 350-500%, температура - 100°C, продолжительность процесса 180-300 мин.

Соответствие образованию кристаллического монокальцийфосфата подтверждено химическими анализами и физико-химическими методами исследования. Полученные соли кристаллического монокальцийфосфата имеют следующий химический состав: P_2O_5 - 50,1-55,2%; CaO - 18,5-20,1%; фтор - 0,009-0,018% и полностью соответствуют показателям предъявляемым требованиями ГОСТ-23999-80 к кормовым монокальцийфосфатам.

REFERENCES

- Degtyarov V. Effektivnost' monokal'tsiyfosfata pri kormlenii zhivotnykh [Efficiency of monocalcium phosphate in animal feeding]. *Dairy and meat cattle breeding*, 2003, no. 2, pp. 7-10.
- Vandyshva A.A. Resursosberegayushchiye tekhnologii v proizvodstve obesfloreannogo kormovogo fosfata [Resource-saving technologies in the production of fluorine-free feed phosphate]. *Young Scientist*, 2015, vol. 23, no. 1, pp. 16-19.
- Litsova N.M. *Tekhnologiya polucheniya kormovykh fosfatov kal'tsiya v granulirovannom vide na osnove mela i ekstraktsionnoy fosfomoy kisloty. Diss. kand. texn. nauk* [Technology for obtaining feed calcium phosphates in granular form based on chalk and extractive phosphoric acid. PhD diss.]. Moscow, 2004. 136 p.
- Melikulova G.E. *Razrabotka tekhnologii kormovykh fosfatov ammoniya i kal'tsiya iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov. Diss. PhD* [Development of technology of ammonium and calcium feed phosphates from phosphorites of Central Kyzylkum. PhD diss.]. Tashkent, 2018. 122 p.
- Kisilev V.G. *Polucheniye monokal'tsiyfosfata iz bednogo fosfatnogo syr'ya po retsirkulyatsionnoy skheme. Diss. kand. texn. nauk* [Obtaining monocalcium phosphate from poor phosphate raw materials according to the recycling scheme. PhD diss.]. Moscow, 2013. 165 p.
- Klassen P.V., Zavertyayeva T.I., Adamov Ye.A., Milkov G.A., Razmakhnina G.S. *Ispol'zovaniye bednogo fosfatnogo syr'ya dlya polucheniya fosfomoykh udobreniy* [The use of poor phosphate raw materials for the production of phosphate fertilizers]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2003, no. 12, pp. 4-8.
- Sharipov T.V., Mustafin A.G. *Sposob polucheniya dikal'tsiyfosfata* [Method for obtaining dicalcium phosphate]. Patent RU, no. 2411222, 2011.
- Dmitrevskiy B.A., Treushchenko N.N., Lavrova T.V. *Sposob polucheniya kormovogo dikal'tsiyfosfata* [Method for obtaining feed dicalcium phosphate]. Patent RU, no. 2373144, 2009.
- Ryadchikov V.G. *Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Fundamentals of nutrition and feeding of farm animals]. Krasnodar, 2012. 328 p.
- Yegorov I.A., Andrianova Ye.N., Grigor'yeva Ye.N. *Ispol'zovaniye deflorirovannogo fosfata i monokal'tsiyfosfata v kombikormakh dlya tsyplyat-broylerov i kur-nesushek* [The use of defluorinated phosphate and monocalcium phosphate in feed for broiler chickens and laying hens]. *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2010, no. 9, pp. 77-80. 12.
- Sharipov T.V., Mustafin A.G. *Sposob polucheniya dikal'tsiyfosfata* [Method for obtaining dicalcium phosphate]. Patent RU, no. 2461517, 2012. 13.
- Gorlov I.F., Randelin D.A., Struk A.N., Struk V.N., Struk M.V., Struk N.V. *Innovatsionnyye tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya novykh kormovykh i biologicheski aktivnykh dobavok pri proizvodstve myasa sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i ptitsy* [Innovative technologies for the development and use of new feed and biologically active additives in the production of meat of farm animals and poultry]. Volgograd, 2012. 236 p.
- Vinogradov V.N., Duborezov V.M., Kirilov M.P. *Kormleniye i kormoproizvodstvo v molochnom skotovodstve* [Feeding and fodder production in dairy cattle breeding]. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK*, 2009, no. 8, pp. 33-35. 10.
- Melikulova G.E., Mirzakulov Kh.Ch., Usmanov I.I., Isakov A.F. *Issledovaniye protsessov polucheniya kormovogo dikal'tsiyfosfata iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov* [Study of the process of obtaining feeder dicalcium phosphate from phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Universum: Tekhnicheskkiye nauki*, 2018, no. 6(51). (In Russ.) Available at: <https://7universon.com/ru/tech/archive/item/6037>. (accessed 25.06.2018) 25.
- Kiselev V.G., Ryashko A.I., Pochitalkina I.A., Petropavlovskiy I.A. *Osobennosti kislотноy pererabotki fosfatnogo syr'ya Polpinskogo mestorozhdeniya* [Features of acid processing of phosphate raw materials of the Polpinskoye deposit]. *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2011, no. 8, pp. 65-69.
- Petropavlovskiy I.A., Pochitalkina I.A., Kiselev V.G., Akhnazarova S.L., Myrzakhmetova B.B. *Polucheniye monokal'tsiyfosfata iz bednogo fosfatnogo syr'ya zhidkofaznym tsirkulyatsionnym sposobom* [Obtaining monocalcium phosphate from poor phosphate raw materials by liquid-phase circulation method]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2012, no. 8, pp. 453-456.
- Alimov U.K. *Razrabotka resursosberegayushchey tekhnologii vysokokontsentrirannykh fosforsoderzhashchikh udobreniy na osnove fosforitov Tsen-*

- tral'nykh Kyzylkum. Diss. dokt. texn. nauk*. [Development of a resource-saving technology for highly concentrated phosphorus-containing fertilizers based on phosphorites of the Central Kyzylkum. DSc diss.]. Tashkent, 2019. 229 p.
18. Alimov U.K., Namazov SH.S., Reymov A.M., Kaymakova D.A. Potochno-tsirkulyatsionnyy sposob polucheniya dvoynogo superfosfata na osnove fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Flow-circulation method for obtaining double superphosphate based on phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2015, no. 3, pp. 109-118.
 19. Kiselev V.G., Pochitalkina I.A., Petropavlovskiy I.A. Polucheniye monokal'tsiyfosfata iz nizkosortnogo fosfatnogo syr'ya [Obtaining monocalcium phosphate from low-grade phosphate raw materials]. *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2010, no. 9, pp. 77-80.
 20. Myrzakhmetov B.B., Besterekov U.B., Petropavlovskiy I.A. Polucheniye dvoynogo superfosfata iz fosforitov Kokdzhon i Koxsu zhidkofaznym metodom [Obtaining double superphosphate from Kokjon and Koxsu phosphorites by the liquid-phase method]. *Ob'yedinennyy nauchnyy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 60-64.
 21. Myrzakhmetov B.B., Besterekov U.B., Petropavlovskiy I.A., Pochitalkina I.A., Kiselev B.G. Kineticheskiye zakonomernosti razlozheniya nizkosortnykh fosforitov zhidkofaznym metodom v usloviyakh retsikla matochnoogo rastvora [Kinetic regularities of decomposition of low-grade phosphorites by the liquid-phase method under the conditions of recycling the mother solution]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2012, no. 5, pp. 6-9.
 22. Akhmetova S.O., Moldobekov Sh.M. Tekhnologiya pererabotki nizkosortnykh fosforitov Karatau na monokal'tsiyfosfat [Processing technology of low-grade Karatau phosphorites for monocalcium phosphate]. *Novosti nauki Kazakhstana*, 1999, no. 2, pp. 11-15.
 23. Moldabekov K.T., Zhantasov Zh.K., Zhanmoldayeva Zh.M., Balabekov O. Kinetika razlozheniya nizkokachestvennykh fosforitov fosfomoy kisloty i polucheniye dvoynogo superfosfata tsiklicheskim sposobom [Kinetics of decomposition of low-quality phosphorites of phosphoric acid and production of double superphosphate in a cyclic way]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii*, 2013, no. 11, pp. 107-112.
 24. Alimov U.K., Rasulov A.A., Namazov SH.S., Reymov A.M., Kaymanova D.K. Optimal'nyy rezhim protsessy pererabotki fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkum uparennoy ekstraktsionnoy fosfomoy kislotoy [Optimal mode of processing of phosphorites of the Central Kyzylkum by stripped off extractive phosphoric acid]. *Universum: Tekhnicheskiye nauki*, 2016, no. 8(29). (In Russ.) Available at: <http://universum.com/ru/tech/archive/item/3572>. (accessed 25.08.2016) 23.
 25. Alimov U.K., Rasulov A.A., Namazov SH.S., Kaymakova D.A. Ispol'zovaniye mineralizovannoy massy fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov v protsesse polucheniya dvoynogo superfosfata tsiklicheskim sposobom [The use of the mineralized mass of phosphorites of the Central Kyzylkum in the process of obtaining double superphosphate in a cyclic way]. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2017, no. 1, pp. 4-10.
 26. Shaymardanova M.A., Melikulova G.E., Khuzhamberdiyev Sh.M., Mirzakulov Kh.Ch. Tekhnologiya polucheniya kornovogo monokal'tsiyfosfata iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Technology for obtaining feed monocalcium phosphate from phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Universum: Tekhnicheskiye nauki*, 2021, no. 10(91). (In Russ.) Available at: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/12471>. (accessed 25.10.2021)
 27. Shaymardanova M., Usmanov I., Melikulova G., Mirzakulov K. Monokal'tsiyfosfat iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Monocalcium phosphate from Central Kyzylkum phosphorites]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2019, no. 2, pp. 12-15.
 28. Khodzhamkulov S.Z., Mirzakulov Kh.Ch., Melikulova G.E., Usmanov I.I. Issledovaniye protsessa obesforivaniya ekstraktsionnoy fosfomoy kisloty iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Study of the process of defluorination of extractive phosphoric acid from phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2020, no. 2, pp. 37-39.
 29. Khodzhamkulov S.Z., Khujamberdiyev Sh.M., Melikulova G.E., Mirzakulov Kh.Ch., Shaymardanova M.A. Separation of phases formed during the process of desfluorination of extraction phosphoric acid with sodium phosphates. *International journal of advanced research in science, engineering and technology*, 2020, vol. 7, no. 10, pp. 15192-15196.
 30. Mirzakulov Kh.Ch., Usmanov I.I., Sadikov B.B., Volinskova N.V., Melikulova G.E., Umarov Sh.I. *Sposob polucheniya kornovogo pretsipitata* [The method of obtaining feed precipitate]. Patent UZ, no. 05054, 2015.
 31. Arifdzhanova K.S., Mirzakulov Kh.Ch., Melikulova G.E., Khuzhamkulov S.Z., Usmanov I.I. Issledovaniye protsessa obesulfachivaniya ekstraktsionnoy fosfomoy kisloty iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Study of the desulfation process of extractive phosphoric acid from phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Khimicheskaya promyshlennost'*, 2017, no. 5, pp. 18-25.
 32. Kelman F.N., Brutskus E.B., Osherovich R.I. *Metody analiza pri kontrole proizvodstva semoy kisloty i fosfomoykh udobreniy* [Analysis methods for controlling the production of sulfuric acid and phosphate fertilizers]. Moscow, Statchem Publ., 1982. 352 p.
 33. GOST 23999-80. Fodder calcium phosphate. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 10 p. (In Russ.)
 34. Vinnik M.M., Urbanov L.N. e.a. *Metody analiza fosfatnogo syr'ya, fosfomoykh i kompleksnykh udobreniy, kornovoykh fosfatov* [Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphate and complex fertilizers, feed phosphates]. Moscow, Chemistry Publ., 1975. 218 p.
 35. Shvartsenbakh G., Flashka G. *Kompleksonometricheskoye titrovaniye* [Complexometric titration]. Moscow, Chemistry Publ., 1970. 360 p.
 36. Kalmykov K.B., Dmitriyeva N.Ye. *Skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgeno-spektral'nyy analiz neorganicheskikh materialov* [Scanning electron microscopy and X-ray spectral analysis of inorganic materials]. Moscow, 2017. 52 p.