

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 661.183.6+676.16
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-211-215>

Поступила в редакцию 09.03.2022
Received 09.03.2022

О. М. Мадаминов¹, О. А. Узаков¹, З. К. Дехканов², А. А. Саодатов²

¹Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

²Наманганский инженерно-технологический институт, Наманган, Узбекистан

ПОЛУЧЕНИЕ ТРИНАТРИЙФОСФАТА ОБМЕННЫМ РАЗЛОЖЕНИЕМ АММОФОСА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДОЙ

Аннотация. По результатам экспериментальных исследований разработан способ получения моногидрата тринатрийфосфата, который имеет низкую насыпную плотность и высокую точку гигроскопичности. Представлены результаты исследования физико-химических параметров получения тринатрийфосфата нейтрализацией аммофоса кальцинированной содой и гидроксидом натрия. Приведены данные физико-химических параметров процессов обменного разложения аммофоса кальцинированной содой с последующей нейтрализацией гидроксидом натрия.

Ключевые слова: аммофос, кальцинированная сода, фильтрация, едкий натрий, нейтрализация, тринатрийфосфат

Для цитирования. Получение тринатрийфосфата обменным разложением аммофоса кальцинированной содой / О. М. Мадаминов [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 211–215. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-211-215>

O. M. Madaminov¹, O. A. Uzakov¹, Z. K. Dexkanov², A. A. Saodatov²

¹Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan

²Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, Uzbekistan

OBTAINING TRISODIUM PHOSPHATE BY EXCHANGE DECOMPOSITION OF AMMOPHOS WITH SODA ASH

Abstract. Based on the results of experimental studies, a method for producing trisodium phosphate monohydrate, which has a low bulk density and a high hygroscopicity point, has been developed. The results of a study of the physicochemical parameters of obtaining trisodium phosphate by neutralization of ammophos with soda ash and sodium hydroxide are presented. The data on the physicochemical parameters of the processes of exchange decomposition of ammophos with soda ash followed by neutralization with sodium hydroxide are given.

Keywords: ammophos, soda ash, filtration, sodium hydroxide, neutralization, trisodium phosphate

For citation. Madaminov O. M., Uzakov O. A., Dexkanov Z. K., Saodatov A. A. Obtaining trisodium phosphate by exchange decomposition of ammophos with soda ash. *Vesti Natsyonal'nai akademii nauk Belarusi. Seryya khimichnykh nauk = Proceeding of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 2, pp. 211–215 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-211-215>

Введение. В условиях рыночной экономики постоянное усовершенствование существующих производственных технологий, разработка новых способов получения химических веществ и материалов дает возможность найти новые сферы применения сырьевых ресурсов страны, а также производить конкурентоспособную продукцию.

Одним из широко используемых химических соединений является тринатрийфосфат. Он применяется в энергетике, металлургии, машиностроении, целлюлозно-бумажной, пищевой промышленности и в других отраслях в качестве средства для растворения всех видов минеральных загрязнений, в том числе запущенных накипных отложений на внутренних поверхностях теплообменного оборудования, бытовых и водонагревательных приборов. Тринатрийфосфат используется для мытья и обезжиривания оборудования из коррозионноустойчивых к щелочным растворам материалов, в мясной и рыбной промышленности – для ручной и механизированной очистки копильных камер, на предприятиях общественного питания – для мойки и обезжиривания посуды, обработки оборотной стеклотары, емкостей, транспортеров и линий розлива [3–5].

Известно, что моющие средства любого назначения практически всегда используются в жесткой воде, которая обусловлена наличием ионов кальция, магния, железа и др., что снижает эффективность их воздействия. Тринатрийфосфат является одним из эффективных смягчителей

воды, обладающих антикоррозионными и диспергирующими свойствами. Его антикоррозионные свойства обусловлены образованием на поверхности металла фосфатной пленки, которая защищает обрабатываемую поверхность от коррозии [1].

Как известно, в случае использования экстракционной фосфорной кислоты, полученной кислотным разложением фосфатного сырья и содержащей достаточно большое количество примесей, требуется проведение ее очистки, так как наличие в ней железа, алюминия, титана, кальция, магния и нерастворимого остатка приводит как к снижению качества готового продукта, так и к ухудшению технологичности процесса за счет сложности отделения от нее примесей [2].

В данной работе приведены результаты физико-химических исследований процесса получения тринатрийфосфата обменным разложением аммофоса кальцинированной содой с последующей донейтрализацией гидроксидом натрия.

Экспериментальная часть. В качестве объектов исходных веществ в исследовании применяли аммофос (АО «Аммофос Максам»), кальцинированную соду (ООО «Кунградский содовый завод»), каустическую соду (АО «Ферганаазот»).

Для проведения опытов использовали стеклянный реактор, снабженный механической мешалкой и рубашкой для обогрева и охлаждения.

Аммофос с содержанием P_2O_5 46 мас.%, не растворимых в воде частиц не более 25 мас.% растворяли в воде для получения чистого раствора аммофоса определенной концентрации (18–22 %). В полученный раствор порциями добавляли кальцинированную соду при постоянном перемешивании при 80–90 °С. В данном процессе идет первый этап с обменным разложением аммофоса, образуя модинатрийфосфат с выделением аммиака и углекислого газа. Сначала идет растворение соды с ее гидролизом:



После завершения реакции (значения pH среды составляет 8,5–9,0, образуются модинатрийфосфаты) в раствор внесли воды с учетом образования насыщенного раствора тринатрийфосфата при 45–50 °С. Горячий раствор температуры 60–65 °С отфильтровали на вакуум-фильтре для очищения полученного раствора от не растворимых в воде частиц.

На следующем этапе в раствор динатрийфосфата при постоянном перемешивании вводили сухой гидроксид натрия в стехиометрическом соотношении для донейтрализации динатрийфосфата до образования тринатрийфосфата (ТНФ) (25–30 мас.%)



После чего значение среды раствора составляло pH 11,5–12,5. Затем раствор охлаждали до температуры 20–25 °С. После охлаждения кристаллы тринатрийфосфата отделяли на вакуум-фильтре, далее продукт сушили в сушильном шкафу при температуре 55–60 °С.

Данные по физико-механическим составам порошков солей и гранулированных материалов применяют при выполнении расчетов бункеров, питателей, транспортеров и другого оборудования. В связи с отсутствием литературных данных нами определены экспериментально физико-механические свойства образцов модинатрийфосфата безводного (МНФ), динатрийфосфата десятиводного (ДНФ), тринатрийфосфата десятиводного (ТНФ) и хлористого аммония (ХА) по методике [5–8]. Характеристики испытанных образцов фосфатов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Гранулометрический состав образцов солей, %

Table 1. Granulometric composition of salt samples, %

	>0,4 мм	0,2–0,4 мм	0,1–0,2 мм	0,063–0,1 мм	<0,063 мм
Сода	1	5	29	35	30
МНФ	3	9	46	28	15
ДНФ	3	16	34	35	12
ТНФ	8	40	44	24	6
ХА	1	16	43	16	2

Сравнивая гранулический состав полученных солей с гранулическим составом товарной соды ГОСТ (5100-85), можно отметить, что образец тринатрийфосфата десятиводного содержит большую долю частиц размером более 0,2 мм, а доля частиц размером менее 0,1 мм в нем не превышает 8 %. Доля таких частиц в мононатрийфосфате безводном, динатрийфосфате семиводном и хлористом аммонии существенно больше и составляет 40–47 %. В товарном карбонате натрия доля частиц размером менее 0,1 мм равна 65 % (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика образцов товарных фосфатов натрия, %

Table 2. Characteristics of commercial sodium phosphate samples, %

Номер образца	Состав, мас.%				Характеристика образца
	МНФ	ДНФ	ТНФ	Карбонат натрия	
1	99,6	ост	ост	ост	МНФ (ЗАО «Славянка»)
2	ост	99,5	ост	ост	ДНФ двенадцативодный лабораторный
3	ост	96,2	ост	ост	ДНФ семиводный лабораторный
4	ост	0,25	99,5	0,1	ТНФ двенадцативодный (ОАО «Корунд»)
5	ост	23,2	67,2	9,6	ТНФ двенадцативодный (ЗАО «Славянка»)
6	ост	5,25	91,6	3,1	ТНФ двенадцативодный (АО «Ферганаазот»)

Скорость процесса растворения аммофоса, как известно, зависит от температурного режима и интенсивности перемешивания. С увеличением температуры интенсивности перемешивания повышается скорость растворения аммофоса. При добавлении сухой кальцинированной соды в раствор аммофоса на этапе происходит растворение соды, затем в растворе идет реакция между реагентами с выделением аммиака и диоксида углерода. Температура реакционной массы держится в пределах 80–90 °С. При заданной температуре выделение газов из раствора ускоряется во времени. Кроме температуры, на скорость выделения образовавшихся газов при обменном разложении аммофоса с кальцинированной содой влияет количество воды, т. е. концентрация раствора аммофоса. При понижении концентрации аммофоса затрудняется выделение аммиака и углекислого газа за счет разбавления этих газов в растворе. Следовательно, увеличиваются энергозатраты на отгон аммиака и углекислого газа из раствора. А также следы аммиака, оставшиеся в растворе, препятствуют образованию зародышей кристаллов тринатрийфосфата. Увеличение концентрации аммофоса приводит к образованию кристаллов динатрийфосфата (который образуется в обменном разложении аммофоса с кальцинированной содой) в процессе фильтрации, впоследствии чего выход по продукту уменьшается. Экспериментальные данные показали, что оптимальная концентрация аммофоса для обменного разложения находится в пределах 18–22 мас.%. Понижение температуры приводит к уменьшению скорости выделения газов из раствора, а также скорости реакции. Дальнейшее повышение температуры выше 90 °С не влияет на скорость выделения отходящих газов, тем самым увеличивая энергетические расходы.

Процесс обменного разложения аммофоса с кальцинированной содой протекает с выделением тепла и образованием динатрийфосфата и мононатрийфосфата, содержание которых зависит от количества внесенной кальцинированной соды. Увеличение соотношения кальцинированной соды к аммофосу выше стехиометрического смещает равновесие в сторону образования динатрийфосфата за счет образовавшейся щелочи при гидролизе карбоната натрия, а уменьшение приводит к увеличению содержания мононатрийфосфата, который в свою очередь увеличивает расход гидроксида натрия при процессе донейтрализации.

Процесс донейтрализации с гидроксидом натрия происходит с выделением тепла. При этом образуются тринатрийфосфат. В водном растворе тринатрийфосфат гидролизует по следующей реакции [4]:



В зависимости от количества щелочи в растворе содержание динатрийфосфата колеблется в пределах 0,15–0,33 мас.%. Увеличение содержания гидроксида натрия на 4,9–5,2 мас.% при

днейтрализации смещает равновесие в сторону образования тринатрийфосфата в реакции (4). В случае уменьшения избыточного содержания щелочи в растворе ниже 4,9 мас.% увеличивается степень гидролиза тринатрийфосфата, а повышение содержания выше 5,2 мас.% незначительно влияет на процесс образования тринатрийфосфата, увеличивая расход по гидроксиду натрия.

Процесс образования кристаллов при охлаждении протекает с выделением тепла. В избытке щелочи при pH 11,5–12,0 раствора скорость образования зародышей кристаллов тринатрийфосфата увеличивается. Размер и скорость образования кристаллов напрямую зависит от скорости охлаждения раствора тринатрийфосфата (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Результаты политермической кристаллизации тринатрийфосфата из водных растворов в зависимости от скорости охлаждения

Table 3. Results of polythermal crystallization of trisodium phosphate from aqueous solutions depending on the cooling rate

Номер образца	Доля ТНФ в исходном растворе, мас.%	Скорость охлаждения, град/ч	Время фильтрации, мин	Масса выпавших кристаллов, г	Гранулометрический состав кристаллов, мас.%					
					Менее 0,063 мм	0,063 – 0,100 мм	0,100 – 0,200 мм	0,200 – 0,320 мм	0,320 – 0,500 мм	более 0,500 мм
1	13	0,5	10	185	90	3,5	2,2	1,8	1,5	1,0
2	12,5	1,0	10	173	86	5,0	2,7	2,5	2,0	1,8
3	12,8	1,5	10	175	80	7,5	4,1	3,6	2,5	2,3
4	12,9	2,0	10	176	72	10	6,5	4,7	3,8	3,0
5	13,1	2,5	10	187	61	15,4	8,8	6,5	4,6	3,7
6	12,7	3,0	10	175	55	18	9,9	7,6	5,2	4,3

Заключение. На основании результатов экспериментальных исследований разработан способ получения моногидратного тринатрийфосфата, обладающего низкой насыпной массой и высокой гигроскопической точкой. Как видно из табл. 3, с увеличением времени охлаждения раствора размер кристаллов увеличивается за счет роста зародышей кристаллов. Быстрое охлаждение приводит к образованию мелких зародышей кристаллов.

Список использованных источников

1. Способ получения тринатрийфосфата: пат. РФ № 2372282 / К. Ю. Колосс, Г. А. Малык, Т. И. Муллаходжаев, А. Л. Олифсон, А. Ю. Степанов, Т. Г. Ханина. – Оpubл. 10.11.2009.
2. Позин, М. Е. Технология минеральных солей / М. Е. Позин. – изд. 4-е, испр. – Л.: Химия, 1974. – 792 с.
3. Никандров, М. И. Разработка технологии концентрированных динатрий- и тринатрийфосфатов: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / М. И. Никандров. – Нижний Новгород, 2005.
4. Шейхет, Ф. И. Материаловедение химикатов, красителей и моющих средств: учеб. пособие / Ф. И. Шейхет. – М.: Лёгкая индустрия, 1969. – 324 с.
5. Никандров, М. И. Энергосберегающие циркуляционные технологии неорганических солей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.01 / М. И. Никандров. – Дзержинск, 2014. – 402 с.
6. Тринатрийфосфат из аммофоса / О. М. Мадаминов [и др.] // *Universum: техн. наук.* – 2020. – Вып. 3(72). – С. 41–46.
7. Uzakov, O. A. Obtaining Potassium Nitrate by the Conversion Method / O. A. Uzakov, Z. K. Dehkanov, X. Sh. Aripov // *Annals of the Romanian Society for Cell Biology.* – 2021. – Vol. 25, Is. 2. – P. 3164–3170. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/1295>
8. Development of Nitric Acid Benefication Technology of Phosphorite from in Presence of Ethanol *Annals of the Romanian Society for Cell Biology* / Z. K. Dehkanov [et al.] // *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*– 2021. – Vol. 25, Is. 2. – P. 3164–3170. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/2169>

References

1. Koloss K. Y., Malyk G. A., Mullakhodzhaev T. I., Olifson A. L., Stepanov A. Yu., Khanina T. G. *Method for producing trisodium phosphate*. Patent of the Russian Federation No. 2372282. Publ. date 10 November 2009 (in Russian).
2. Pozin M. E. *Technology of mineral salts*. 4th ed. Leningrad, Khimiya 1974. 792 p. (in Russian).
3. Nikandrov M. I. *Development of technology for concentrated disodium and trisodium phosphates*. Nizhny Novgorod, 2005 (in Russian).

4. Sheikhet F. I. Materials science of chemicals, dyes and detergents. Publishing house: Legkaya industriya Publ., 1969. 324 p. (in Russian).
5. Nikandrov M. I. *Energy-saving circulation technologies of inorganic salts*. Dzerzhinsk, 2014. 402 p. (in Russian).
6. Madaminov O. M., Uzakov O. A., Koraboev D. M., Saifullaev B. M. Trisodium phosphate from ammophos. *Universum: tekhnicheskije nauki* [Universum: technical sciences]. 2020, no. 3(72), pp. 41–46 (in Russian).
7. Uzakov O. A., Dehkanov Z. K., Aripov X. Sh. Obtaining Potassium Nitrate by the Conversion Method. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 3164–3170. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/1295>
8. Dehkanov Z. K., Aripov X. Sh., Usmonova Z. T., Aliyeva M. Sh., Kamalov A. V. Development of Nitric Acid Benefication Technology of Phosphorite from in Presence of Ethanol. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 3164–3170. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/2169>

Информация об авторах

Мадамино́в Отабек Маи́рабжа́нович – науч. сотрудник. Ферганский политехнический институт (ул. Киргили, 43, 150107, Фергана, Республика Узбекистан).

Узоков Ойбек Аслижанович – науч. сотрудник. Ферганский политехнический институт (ул. Чархий, 43, 150107, Фергана, Республика Узбекистан).

Дехканов Зулфикахар Киргизбаевич – д-р техн. наук, доцент. Наманганский инженерно-технологический институт (ул. Учкургон, 19, 160115, Наманган, Республика Узбекистан). E-mail: Zulfikaxar2404@gmail.com

Саодатов Азиз Азамжанович – науч. сотрудник. Ферганский политехнический институт (ул. Киргили, 43, 150107, Фергана, Республика Узбекистан).

Information about the authors

Madaminov Otabek M. – Researcher. Fergana Polytechnic Institute (43, Kirgili Str., 150107, Fergana, Republic of Uzbekistan).

Uzokov Oybek A. – Researcher. Fergana Polytechnic Institute (43, Charkhii Str., 150107, Fergana, Republic of Uzbekistan).

Dekhkanov Zulfikahar K. – D. Sc. (Engineering), Associate Professor. Namangan Institute of Engineering and Technology (19, Uchkurgon Str., 160115, Namangan, Republic of Uzbekistan). E-mail: Zulfikaxar2404@gmail.com

Saodatov Aziz A. – Researcher. Fergana Polytechnic Institute (43, Kirgili Str., 150107, Fergana, Republic of Uzbekistan).