

Научная статья
УДК 661.634.22
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.017

ПОЛУЧЕНИЕ КОРМОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ФОСФАТОВ АММОНИЯ В ПРОЦЕССЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

**Марк Сергеевич Мохорт¹, Надежда Александровна Трибуш², Олег Борисович Дормешкин³,
Андрей Николаевич Гаврилюк⁴**

^{1–4}Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

¹markmohort@gmail.com

²nadezhda.kryukova.03@mail.ru

³dormeshkin@yandex.ru

⁴gavriluk_andrew@mail.ru

Аннотация

В данной работе предложен комбинированный метод очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением кормового дигидрофосфата аммония и технического фосфата аммония. Установлено, что контроль pH (2,9–3) на первой стадии аммонизации позволяет получать дигидрофосфат аммония с содержанием P₂O₅ свыше 61 % и пониженным содержанием фтора.

Ключевые слова:

экстракционная фосфорная кислота, очистка, кормовые фосфаты, технические фосфаты

Финансирование:

работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» (задание 2.1.9, № 20240816).

Для цитирования:

Мохорт М. С., Трибуш Н. А., Дормешкин О. Б., Гаврилюк А. Н. Получение кормовых и технических фосфатов аммония в процессе комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 4. С. 95–98. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.017.

Original article

OBTAINING FEED AND INDUSTRIAL AMMONIUM PHOSPHATES IN THE PROCESS OF COMPLEX PURIFICATION OF WETPROCESS PHOSPHORIC ACID

Mark S. Mokhort¹, Nadezhda A. Trybush², Oleg B. Dormeshkin³, Andrey N. Gavriilyuk⁴

^{1–4}Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

¹markmohort@gmail.com

²nadezhda.kryukova.03@mail.ru

³dormeshkin@yandex.ru

⁴gavriluk_andrew@mail.ru

Abstract

In this paper, a combined method for purifying wet phosphoric acid to produce feed ammonium dihydrogen phosphate and technical ammonium phosphate is proposed. It has been established that pH control (2.9–3) at the first stage of ammonization allows for the production of ammonium dihydrogen phosphate with a P₂O₅ content of over 61 % and a reduced fluorine content.

Keywords:

wet-process phosphoric acid, purification, feed phosphates, technical phosphates

Funding:

The work was carried out within the framework of the State Scientific Research Program “Chemical Processes, Reagents and Technologies, Bioregulators and Bioorganic Chemistry” (task 2.1.9, No. 20240816).

For citation:

Mokhart M. S., Trybush N. A., Dormeshkin O. B., Gavriilyuk A. N. Obtaining feed and technical ammonium phosphates in the process of complex purification of wetprocess phosphoric acid // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 4. P. 95–98. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.017.

Введение

В условиях стремительного роста численности населения планеты и сокращения сельскохозяйственных угодий проблема продовольственного обеспечения приобретает особую значимость. Как ключевая отрасль агропромышленного комплекса, животноводство играет важную роль в удовлетворении потребности общества в продуктах питания. Международная практика показывает, что в первую очередь необходимо обеспечение животных высококачественными кормами, что невозможно без использования минеральных кормовых добавок, позволяющих компенсировать недостаток питательных веществ и повышать эффективность корма.

Фосфор, являясь жизненно важным элементом, необходим для нормального функционирования всех систем организма сельскохозяйственных животных, включая формирование костной ткани, энергетический обмен и синтез биологически активных соединений, в связи с этим даже кратковременный недостаток этого элемента приводит к существенному снижению продуктивных качеств животных. Согласно научным исследованиям наивысшей биологической доступностью для всех видов животных обладают безкальциевые фосфаты: аммония, натрия, калия.

Основным сырьем для производства кормовых фосфатов служит экстракционная фосфорная кислота (ЭФК), получаемая сернокислотной переработкой фосфатного сырья. Однако ее использование при производстве кормовых фосфатов невозможно, ввиду значительного количества примесей (от 5 до 15 мас. %), включая соединения тяжелых металлов, сульфаты и фториды, которые снижают качество конечного продукта и представляют опасность для здоровья животных, что приводит к необходимости разработки новых эффективных способов очистки экстракционной фосфорной кислоты.

Как показал анализ, одним из перспективных методов комплексной очистки ЭФК с последующей переработкой ОЭФК с получением кормовых фосфатов аммония является аммиачный метод, включающий частичную нейтрализацию фосфорной кислоты аммиаком. Основным недостатком метода является большая продолжительность процесса, связанная с необходимостью проведения длительной стадии химического старения частично аммонизированной кислоты с целью кристаллизации аморфных метастабильных соединений, образующихся в ходе протекания конверсионных процессов при повышении величины рН-стадии аммонизации.

Результаты исследований

Разработанный авторами комбинированный метод получения кормовых и технических фосфатов предусматривает предварительную очистку кислоты от серосодержащих соединений реагентным методом и ее последующую стадийную аммонизацию с промежуточным химическим старением частично аммонизированной суспензии после каждой ступени нейтрализации.

Проведение предварительного осаждения сульфатов обеспечивает частичное снижение содержания ряда нежелательных примесей, в частности, железа, алюминия и фтористых соединений, а также, как отмечено в ходе исследований, способствует достижению высокой скорости декантации и фильтрации частично аммонизированной суспензии на последующих стадиях очистки. Установлено, что применение двухстадийной аммонизации при оптимальных значениях рН и температурах позволяет доочистить кислоту от поливалентных и щелочноземельных металлов, а также фторсодержащих соединений. Дополнительное введение промежуточных стадий химического старения обеспечивает получение хорошо фильтруемого осадка, а также снижение содержания примесей в жидкой фазе за счет их хемосорбции на поверхности растущих кристаллов. Данные о содержании примесей в жидкой фазе при очистке ЭФК комбинированным методом представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных содержания примесей в растворе ЭФК на отдельных стадиях ее очистки позволяет сделать вывод о возможности получения кормовых фосфатов аммония, соответствующих нормативным требованиям к качеству кормовых фосфатов [1]. Общая степень очистки ЭФК от примесей составляет 93,5 %. Получение кормовых фосфатов аммония осуществляется путем отвода части аммонизированной суспензии после первой стадии химического старения с последующим центрифугированием и кристаллизацией фосфатов из фильтрата в политермическом режиме. На основании рентгенофазового анализа установлено, что основной кристаллической фазой является дигидрофосфат аммония.

Таблица 1

Остаточное содержание примесей в жидкой фазе при очистке ЭФК комбинированным методом

Состав	Исходная ЭФК	Стадии процесса очистки кислоты				
		обессульфачивание	I аммонизация	I хим. старение	II аммонизация	II хим. старение
P ₂ O ₅	25,304	28,469	19,384	20,030	21,673	21,235
Fe ₂ O ₃	2,931	2,585	1,010	1,144	0,865	0,617
Al ₂ O ₃	1,638	1,450	0,551	0,292	0,125	0,001
F	1,346	0,449	0,425	0,340	0,217	0,036
CaO	0,655	0,841	0,757	0,698	0,419	0,159
MgO	0,192	0,450	0,215	0,089	0,001	0,001
SO ₄ ²⁻	2,045	0,509	0,425	0,424	0,364	0,311
NH ₄ ⁺	отс.	отс.	9,359	9,207	15,585	15,387

Результаты исследования влияния величины pH суспензии на химический состав получаемого кормового дигидрофосфата аммония, на первой стадии аммонизации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость химического состава дигидрофосфата аммония от pH на первой стадии аммонизации

Состав	Опыт № 1 (pH 2,5)	Опыт № 2 (pH 2,9)	Опыт № 3 (pH 3)
Содержание основных компонентов, мас. %			
P ₂ O ₅	64,332	61,736	61,862
NH ₄ ⁺	13,500	13,740	13,83
F	0,357/0,402*	0,062	0,031
Fe ₂ O ₃	2,598	2,869	2,931
Al ₂ O ₃	2,636	2,838	2,833
CaO	0,290	0,547	0,679
MgO	0,565	0,424	0,289
Отношение F:P ₂ O ₅	0,005	0,001	0,0005

* Повторный опыт для подтверждения результатов.

Анализ представленных в таблице данных позволяет сделать вывод о значительном снижении содержания фтора в зависимости от значения pH на первой стадии аммонизации кислоты. Так, при регламентированном содержании P₂O₅ не менее 55 % и соотношении F:P₂O₅ не более 0,0045 содержание основного вещества (фосфора) в продукте, получаемом при значении pH, равном 2,9–3, составляет более 61 %, а соотношение F:P₂O₅ почти на порядок ниже регламентированного показателя 0,001 и 0,0005 соответственно, однако дигидрофосфат аммония полученный при pH = 2,5 не соответствует регламентированным стандартам по соотношению F:P₂O₅.

Достоинством полученных кормовых фосфатов является наличие дигидрофосфата железа. Так, суточная норма железа составляет от 40 до 150 мг/кг корма для разных видов сельскохозяйственных животных [2].

Из раствора, полученного после разделения суспензии методом центрифугирования после второй стадии химического старения, в изотермическом режиме получен дигидрофосфат аммония, соответствующий требованиям предъявляемым к качеству технических фосфатов ТУ 2148–148–05015182–2013 и ТУ 2148–001–48590531–02.

Выводы

Результаты исследования показали, что разработанный комбинированный метод очистки экстракционной фосфорной кислоты обеспечивает эффективное удаление примесей (соединений фтора, сульфатов, поливалентных металлов) и позволяет получать продукт, соответствующий требованиям к кормовым добавкам.

Преимуществом разработанного способа является использование неупаренной ЭФК, что позволяет снизить себестоимость конечных продуктов за счет отсутствия затрат на ее концентрирование, а также возможность дальнейшего использования очищенного раствора фосфатов аммония, полученного после очистки кислоты разработанным комбинированным методом, для производства технических фосфатов или NP-удобрений.

Список источников

1. ТУ 2148-001-48590531-02 «Моноаммонийфосфат на основе экстракционной фосфорной кислоты».
2. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа / В. М. Косолапов [и др.]. М.: Угреша Т, 2019. 273 с.

References

1. ТУ 2148-001-48590531-02 "Monoammonium phosphate based on extractive phosphoric acid"
2. Kosolapov V. M., Chuiikov V. A., Khudyakova N. K., Kosolapov V. G. *Mineral'nye elementy v kormah i metody ih analiza* [Mineral elements in feed and methods of their analysis]. Moscow, Ugresha T, 2019, 273 p.

Информация об авторах

М. С. Мохорт — аспирант;

Н. А. Трибуш — аспирант;

О. Б. Дормешкин — доктор технических наук, профессор;

А. Н. Гаврилюк — кандидат технических наук, доцент, проректор по учебной работе.

Information about the authors

M. S. Mokhart — Postgraduate Student;

N. A. Tribush — Postgraduate Student;

O. B. Dormeshkin — Dr. Sc. (Technical), Professor;

A. N. Hauryliuk — PhD (Technical), Associate Professor, Vice Rector for Academic Affairs.

Статья поступила в редакцию 26.06.2025; одобрена после рецензирования 25.08.2025; принята к публикации 27.08.2025.
The article was submitted 26.06.2025; approved after reviewing 25.08.2025; accepted for publication 27.08.2025.