



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АММОНИЗАЦИИ
НЕОЧИЩЕННОЙ
ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ
ПОЛУЧЕНИИ
АЗОТНО-ФОСФОРНО-МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ

¹Халикулова Г.И., ²Турдалиева Ш.И.

¹Ассистент кафедры «Технология
и инженерия пищевых продуктов»

международный институт пищевых технологий и инженерии

²DSc, доцент кафедры «Фармация и химия»

университета Альфраганус

Abstract. This article considers the technological feasibility of producing a complex nitrogen-phosphorus-magnesium fertilizer based on unpurified wet-process phosphoric acid (WPA) using the ammoniation method. The main chemical transformations during the interaction of phosphoric acid with ammonia, the effect of the neutralization degree and pH on the phosphate system composition, as well as the role of magnesium in forming the final product are analyzed. It is demonstrated that impurities in wet-process phosphoric acid, including magnesium, iron, aluminum, and calcium compounds, as well as fluorine-containing components, can significantly affect solubility, viscosity, and the formation of insoluble phases. Based on literature data, a research methodology is proposed, including WPA preparation, ammoniation, pH adjustment, introduction of a magnesium-containing component, phase separation, product drying, and analytical control of the N, P₂O₅, and Mg contents. This work can serve as a basis for laboratory research and subsequent optimization of the operating parameters.

Keywords: wet-process phosphoric acid; ammoniation; ammonia; monoammonium phosphate; diammonium phosphate; magnesium.



Аннотация. В статье рассмотрена технологическая возможность получения комплексного азотно-фосфорно-магниевого удобрения на основе неочищенной экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) методом аммонизации. Проанализированы основные химические превращения при взаимодействии фосфорной кислоты с аммиаком, влияние степени нейтрализации и pH на состав фосфатной системы, а также роль магния в формировании конечного продукта. Показано, что примеси wet-process фосфорной кислоты, включая соединения магния, железа, алюминия, кальция и фторсодержащие компоненты, могут существенно влиять на растворимость, вязкость и образование нерастворимых фаз. На основании литературных данных предложена технологическая схема исследования: подготовка ЭФК, аммонизация, регулирование pH, введение магнийсодержащего компонента, разделение и сушка продукта, а также контроль содержания N, P_2O_5 и Mg. Работа может служить основой для лабораторного исследования и последующей оптимизации технологического режима.

Ключевые слова: экстракционная фосфорная кислота; аммонизация; аммиак; моноаммонийфосфат; диаммонийфосфат; магний.

Введение. Производство комплексных минеральных удобрений является важным направлением химической технологии, поскольку позволяет получать продукты, содержащие несколько элементов питания в одной грануле или частице. Азот необходим для синтеза белков и роста вегетативной массы растений, фосфор участвует в энергетическом обмене и развитии корневой системы, а магний является центральным элементом молекулы хлорофилла и участвует в фотосинтезе.

Материалы и Методы: В качестве основного фосфорсодержащего сырья использовалась неочищенная экстракционная фосфорная кислота (ЭФК), полученная мокрым способом переработки фосфатного сырья (wet-process phosphoric acid). В отличие от термической кислоты,



исходная ЭФК содержала примеси минерального происхождения (соединения железа, алюминия, магния, кальция, кремния и фтора). Для проведения процесса аммонизации применяли аммиак (NH_3). В качестве источника магния использовали магнийсодержащее сырье/компонент. Процесс получения азотно-фосфорно-магниевого удобрения осуществлялся поэтапно по следующей технологической схеме: неочищенная ЭФК $\rightarrow$ Анализ сырья $\rightarrow$ Аммонизация NH_3 $\rightarrow$ Контроль Т и рН $\rightarrow$ Введение Mg-компонента $\rightarrow$ Выдержка и кристаллизация $\rightarrow$ Отделение/Сушка $\rightarrow$ Гранулирование $\rightarrow$ Контроль качества

1. Подготовительный этап: Выполнение входного анализа химического состава исходной ЭФК.

2. Этап аммонизации: Постепенный барботаж/дозирование аммиака в экстракционную фосфорную кислоту при непрерывном и интенсивном перемешивании. В ходе процесса непрерывно фиксировались температура реакционной смеси и значение рН.

3. Введение магниевого компонента: При достижении целевого уровня рН в систему вводили рассчитанное количество магнийсодержащего компонента с заданием фиксированного соотношения Mg:P.

4. Кристаллизация и фазовое разделение: Реагирующую суспензию выдерживали при заданных технологических параметрах течение установленного времени для завершения процессов фазообразования.

5. Последующая обработка: Полученную аммонизированную суспензию подвергали фазовому разделению, сушке и гранулированию. В ходе проведения серии опытов варьировали следующие ключевые параметры:

- Значение рН системы (в диапазоне 3–5);
- Соотношение компонентов (Mg:P);
- Температура процесса и время выдержки;



- Степень нейтрализации (К нейтр), рассчитываемая как отношение фактически введенного количества аммиака к теоретически необходимому для заданной степени нейтрализации H_3PO_4 :

$$K_{\text{нейтр}} = n(\text{NH}_3)_{\text{факт}} / n(\text{NH}_3)_{\text{теор}}$$

Для оценки состава и свойств сырья и готового продукта применяли комплекс химических и физико-химических методов анализа:

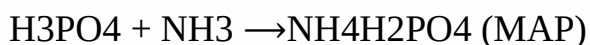
Анализ сырья: Определение концентрации P_2O_5 , общей кислотности, а также содержания примесных элементов (Mg, Fe, Al, Ca, F).

Анализ готового продукта: Определение содержания общего азота (N), общего и водорастворимого P_2O_5 , общего и усвояемого/доступного Mg, а также массовой доли влаги и нерастворимого остатка.

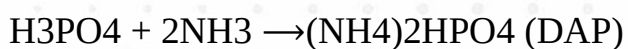
Физико-механические и технологические свойства: Для гранулированного продукта определяли гранулометрический состав, статическую прочность гранул, гигроскопичность и реологические характеристики (вязкость и текучесть) аммонизированной суспензии.

Результаты и Обсуждение: В основе получения аммонийфосфатных удобрений лежит последовательное кислотно-основное взаимодействие фосфорной кислоты с аммиаком. В зависимости от степени нейтрализации и pH среды в фосфатной системе протекают следующие ключевые реакции:

На первом этапе образуется моноаммонийфосфат (MAP):



При дальнейшем увеличении подачи аммиака и повышении pH системы происходит формирование диаммонийфосфата (DAP):



Анализ показал, что для получения устойчивой суспензии моноаммонийфосфата на основе wet-process кислоты оптимальный



диапазон лежит в интервале рН 3–5. В исследуемой системе точка максимального формирования целевой фазы находится около рН 4,5. Однако данное значение не является универсальным и требует индивидуальной корректировки в зависимости от конкретного химического профиля исходной ЭФК.

Неочищенная ЭФК представляет собой сложную многокомпонентную систему. Повышение рН в процессе аммонизации приводит к изменению растворимости примесей (Fe, Al, Ca, Si, F) и их постепенному осаждению с образованием коллоидных и твёрдых водонерастворимых фаз.

При введении магния в аммонизированную фосфатную систему происходит образование магнийсодержащих фосфатных соединений (например, типа струвита/гидрофосфатов магния-аммония). Установлено следующее:

- Выбор соотношения Mg:P: Превышение критической концентрации магния при высоких значениях рН провоцирует избыточное осаждение водонерастворимых фаз, что снижает долю доступных форм питательных элементов.
- Управление растворимостью: При правильном подборе степени нейтрализации и мольного соотношения Mg:P магнийсодержащая фаза формируется в доступной для растений форме или служат эффективной матрицей для связывания аммония и фосфата без ухудшения товарных качеств удобрения.

Определяющим фактором для промышленной реализации технологии является вязкость аммонизированной суспензии. Выпадение примесных фаз и магниевых солей при нейтрализации существенно увеличивает густоту и структурную вязкость системы, что затрудняет её



перемешивание, перекачку и последующее распыление при гранулировании.

Результаты показывают, что выбор оптимального режима нейтрализации нельзя производить исключительно по химическому составу конечного продукта. Необходима комплексная оптимизация:

- Поддержание pH и температуры на уровнях, обеспечивающих минимальную вязкость при максимальной стабильности суспензии;
- Регулирование доли осаждающихся примесей для сохранения нормальной текучести пульпы.

В результате предложенного технологического подхода достигается получение комплексного азотно-фосфорно-магниевого удобрения с высоким содержанием усвояемых форм N, P₂O₅ и Mg. Использование неочищенной экстракционной фосфорной кислоты без этапа её дорогостоящей глубокой очистки позволяет существенно снизить себестоимость готового продукта и обеспечить рациональное использование фосфатного сырья.

Вместе с тем, присутствие экологически значимых примесей (в частности, соединений фтора и тяжёлых металлов) требует строгого контроля их распределения между жидкой и твёрдой фазами на этапе выдержки, что делает необходимым проведение дальнейших опытно-промышленных испытаний.

Заключение. Аммонизация неочищенной экстракционной фосфорной кислоты является перспективной основой для получения азотно-фосфорных и многокомпонентных удобрений. Химическая сущность процесса заключается в нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком с образованием фосфатов аммония. Введение магнийсодержащего компонента расширяет состав удобрения, но одновременно требует контроля фазового состава и растворимости



магния. Ключевыми параметрами оптимизации являются pH, степень нейтрализации, температура, концентрация ЭФК, соотношение Mg:P и время процесса. Для научно обоснованного выбора режима необходимо провести серию лабораторных опытов и определить взаимосвязь между условиями процесса, химическим составом и физическими свойствами продукта. Перспективным направлением дальнейшей работы является получение экспериментальных данных по влиянию pH и дозы магния на содержание водорастворимого P_2O_5 , форму магния, вязкость суспензии и свойства гранулированного продукта. Полученные результаты могут стать основой для разработки технологического регламента производства азотно-фосфорно-магниевого удобрения.

Использованная литература:

1. He F., Zhou X., Luo T., Wang X. Study on the preparation of high-concentration ammonium phosphate suspension fertilizer from wet-process phosphoric acid and its rheological properties. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2024. Vol. 161. Article 105497. DOI: 10.1016/j.jtice.2024.105497.
2. Miao L., Yan Z., Wang X., Zhong Y., Yang J., Xu D. A novel hierarchical structured calcium magnesium ammonium polyphosphate for high-performance slow-release fertilizer. ScienceDirect.
3. Mamurov B., Shamshidinov I. Изучение процесса получения кальций и магнийфосфатных удобрений путем нейтрализации экстракционной фосфорной кислоты доломитом. Универсум: технические науки. 2022. № 7(100).
4. Removal of Mg^{2+} and Al^{3+} from high-concentration wet-process phosphoric acid by NH_4MgAlF_6 complexation-precipitation. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2026. Vol. 14, Issue 1, 121094.



5. Ammonium Phosphate. ScienceDirect Topics: описание
промышленного получения аммонийфосфатных удобрений.