Технологические подходы к получению фосфорсодержащих продуктов на основе экстракционной фосфорной кислоты

Халикулова Гулнора Ибодуллаевна[1] преподаватель, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5613-1250 · **Турдиалева Шахзода Исматуллаевна**[2] DSc, доцент

[1]Международный институт пищевой технологии и инженерии
[2]Университет Альфраганус

gulnoraxalikulova6@gmail.com

DOI 10.66073/ReFocus-Conf/1610076

Для цитирования: Халикулова Гулнора Ибодуллаевна, Турдиалева Шахзода Исматуллаевна. Технологические подходы к получению фосфорсодержащих продуктов на основе экстракционной фосфорной кислоты // Разработка инновационных климатоустойчивых технологий для мониторинга и контроля эффективности водопользования и влияния засоления на урожайность сельскохозяйственных культур и жизнедеятельность населения Приаралья: материалы Международной научно-практической конференции. – Нукус, 2026. – С. 295–297. – DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/1610076

Аннотация. В статье систематизированы технологические решения, связанные с концентрированием экстракционной фосфорной кислоты и ее дальнейшим использованием для синтеза фосфорсодержащих материалов. Рассмотрены результаты исследований, посвященных упариванию десульфатированной экстракционной фосфорной кислоты с применением $SrCO_3$, а также получению дикальцийфосфата и трикальцийфосфата при взаимодействии фосфорной кислоты с карбонатом кальция. Показано, что регулирование концентрации кислоты является существенным этапом подготовки исходного сырья. Анализ опубликованных данных позволил выделить условия, при которых формируются кальцийфосфатные продукты с высоким содержанием усвояемых соединений фосфора и кальция. Для дикальцийфосфата наиболее результативным сочетанием параметров являлись 50,58 % P_2O_5 и 95 %-ная стехиометрическая норма кислоты. Для трикальцийфосфата соответствующая концентрация кислоты сочеталась со 100 %-ной стехиометрической нормой. Полученные материалы соответствовали требованиям ГОСТ 23999-80 и рассматриваются как потенциальные фосфатные добавки для сельскохозяйственного применения.
Ключевые слова: экстракционная фосфорная кислота, концентрирование, десульфатация, P_2O_5, кальцийфосфаты, дикальцийфосфат, трикальцийфосфат, фосфатные добавки.

Введение

Соединения фосфора имеют существенное значение для сельскохозяйственного производства, поскольку используются как в составе минеральных удобрений, так и при изготовлении кормовых фосфатных добавок. В связи с этим важной технологической задачей остается рациональное использование фосфорсодержащего сырья и повышение эффективности его последующей переработки. Одним из промежуточных продуктов такого производства служит экстракционная фосфорная кислота (ЭФК), характеристики которой непосредственно связаны с возможностями дальнейшего получения концентрированных фосфорных соединений. При влажном способе получения фосфорной кислоты образуется продукт с относительно невысоким содержанием P_2O_5. Согласно опубликованным данным И.Е. Хошимова и соавторов, концентрация P_2O_5 в исходной влажной фосфорной кислоте находится примерно в пределах 16–18 %. Поэтому перед использованием кислоты для производства более концентрированных продуктов необходимы дополнительные операции, в том числе упаривание, сушка и грануляция. Особое значение при концентрировании имеет изменение физико-химических свойств раствора. В исследовании И.Е. Хошимова и соавторов

изучались температурные условия кипения и давление паров экстракционной фосфорной кислоты после десульфатации с помощью $SrCO_3$. Одновременно анализировался состав образующихся осадков, а инфракрасная спектроскопия использовалась для дополнительной характеристики системы. Полученные результаты представляют интерес при выборе технологических условий концентрирования и совершенствовании процессов переработки фосфорного сырья. Другой технологический этап связан с превращением фосфорной кислоты в целевые кальцийфосфатные соединения. В исследовании Ш.И. Турдиалиевой и соавторов рассмотрено получение дикальцийфосфата (DCP) и трикальцийфосфата (TCP) путем взаимодействия термической фосфорной кислоты с карбонатом кальция. Сопоставление этих данных с результатами по концентрированию ЭФК позволяет рассматривать подготовку кислоты и синтез конечного фосфатного продукта как взаимосвязанные стадии единого технологического процесса.

Материалы и методы

Работа основана на анализе опубликованных экспериментальных результатов, относящихся к концентрированию фосфорной кислоты и получению кальцийфосфатных продуктов. В исследованиях, посвященных синтезу кальцийфосфатов, исходной средой служила термическая фосфорная кислота. Использовались концентрации 54,87; 69,82 и 83,21 % H_3PO_4, которым соответствовали значения 39,75; 50,58 и 60,30 % P_2O_5. В качестве кальцийсодержащего компонента применялся карбонат кальция в форме мела с содержанием $CaCO_3$ 99,5 %. Размер частиц исходного материала составлял менее 0,25 мм. Эксперименты проводились при 90, 95 и 100 % стехиометрической нормы. Дикальцийфосфат синтезировали с возвратом части продукта при соотношении продукт:возврат 1:1, тогда как при получении трикальцийфосфата возвратный режим не применялся. При синтезе DCP фосфорную кислоту, предварительно нагретую до 80 °C, подавали в карбонат кальция. После этого реакционную массу перемешивали при 60 °C в течение 6–8 минут и выдерживали при 50 °C один час. Далее продукт подвергали сушке. Для оценки особенностей концентрирования ЭФК учитывались опубликованные данные по температуре кипения, давлению пара и ИК-спектроскопической характеристике кислоты после десульфатации $SrCO_3$.

Результаты

Анализ рассмотренных исследований показывает, что содержание P_2O_5 в кислоте существенно влияет на возможность ее дальнейшего технологического использования. Исходная влажная ЭФК с содержанием порядка 16–18 % P_2O_5 нуждается в предварительном концентрировании, если предполагается получение продуктов с более высокой концентрацией фосфора. При этом режим упаривания должен учитывать температуру процесса, давление паров и образование твердых фаз. Полученные сведения позволяют связать стадию концентрирования кислоты с последующим синтезом кальцийфосфатных материалов. Для DCP наиболее подходящим вариантом из исследованных условий оказалась кислота с содержанием 50,58 % P_2O_5 при 95 %-ной стехиометрической норме. При этих параметрах в продукте определено 47,09 % общего P_2O_5, из которого 46,97 % приходилось на усвояемую форму, а доля водорастворимого P_2O_5 составляла 4,14 %. Содержание общего CaO достигало 39,99 %, усвояемого CaO — 39,93 %, водорастворимого CaO — 5,04 %. Влажность продукта составляла 0,37 %, значение pH — 5,31. При синтезе TCP изменение стехиометрического соотношения реагентов приводило к иному составу конечного материала. Наиболее подходящим вариантом в рассмотренных экспериментах была 100 %-ная стехиометрическая норма кислоты при концентрации 50,58 % P_2O_5. Полученный продукт содержал 35,95 % общего P_2O_5 и 35,22 % усвояемого P_2O_5. Доля общего CaO составляла 44,49 %, усвояемого CaO — 43,94 %. Содержание воды равнялось 2,19 %, а pH составлял 7,7.

Таким образом, сопоставление результатов DCP и TCP показывает, что изменение количества фосфорной кислоты относительно стехиометрической потребности является одним из факторов, определяющих состав конечного продукта. Для дикальцийфосфата

наиболее результативной оказалась норма 95 %, тогда как при получении трикальцийфосфата предпочтительным в рамках рассмотренных данных являлся полный, 100 %-ный, стехиометрический расход кислоты.

С технологической точки зрения результаты двух рассмотренных направлений дополняют друг друга. На первой стадии экстракционная фосфорная кислота подвергается подготовке и концентрированию после удаления части сульфатных компонентов. На следующем этапе концентрированная кислота может использоваться как фосфорсодержащий реагент для получения кальцийфосфатных соединений.

Последовательность основных операций можно представить в следующем виде:

экстракционная фосфорная кислота → десульфатация → концентрирование → синтез кальцийфосфатного продукта.

Практический интерес такой схемы связан с возможностью рационального использования промежуточного продукта производства фосфорной кислоты. Полученные в рассмотренном исследовании DCP и TCP соответствовали требованиям ГОСТ 23999-80. Согласно приведенным в источнике данным, такие продукты могут рассматриваться как фосфатные добавки для рационов крупного рогатого скота, птицы и рыб. Вместе с тем приведенные результаты следует рассматривать именно как анализ опубликованных исследований. Перенос выбранных режимов в промышленный процесс потребует дополнительной оценки материального баланса, энергетических затрат, характеристик исходного сырья и стабильности качества готового продукта.

Выводы и рекомендации

1. Концентрирование экстракционной фосфорной кислоты следует рассматривать как значимую подготовительную операцию перед получением концентрированных фосфорсодержащих продуктов.

2. Совместный учет температуры кипения, давления пара, состава осадка и результатов ИК-спектроскопии позволяет глубже характеризовать изменения, происходящие в ЭФК при ее концентрировании.

3. В рассмотренных условиях для дикальцийфосфата наиболее подходящими были концентрация 50,58 % P_2O_5 и 95 %-ная стехиометрическая норма кислоты. При этом содержание общего P_2O_5 составило 47,09 %, а общего CaO — 39,99 %.

4. Для трикальцийфосфата наиболее подходящим сочетанием параметров являлись 50,58 % P_2O_5 и 100 %-ная стехиометрическая норма кислоты. В готовом продукте содержалось 35,95 % общего P_2O_5 и 44,49 % общего CaO.

5. Рассмотренные технологические подходы могут служить основой для дальнейшей разработки ресурсосберегающих схем переработки фосфорсодержащего сырья. Для практического внедрения необходима дополнительная технологическая и экономическая оценка.

Список литературы

1. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S., Rifky M. Investigation of Vapor Pressure and Infrared Spectroscopic Analysis of Phosphoric Acid Extract Evaporation after Desulfation with $SrCO_3$ // Eurasian Journal of Chemistry. — 2024. — Vol. 29. — No. 4 (116). — P. 82–91. — DOI: 10.31489/2959-0663/4-24-4.
2. Turdialieva Sh., Nomozov Sh., Namazov Sh., Ishmanova Z., Kholmurodov J., Oxundadayev A., Kamalov A. Production of food-grade calcium phosphate utilizing thermal phosphoric acid and lime // E3S Web of Conferences. — 2025. — Vol. 613. — Article 01010. — DOI: 10.1051/e3sconf/202561301010.
3. Турдиалиева Ш.И. Упаренная экстракционная фосфорная кислота и ее физико-химические свойства // Материалы 85-й научно-технической конференции. — БГТУ, 2021.