

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Белорусского национального
технического университета,

доктор экономических наук, доцент



К.В. Якушенко

2026 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Белорусского национального технического университета
на диссертационную работу

Мохорта Марка Сергеевича на тему:

«Технология очистки экстракционной фосфорной кислоты
и получения кормовых, технических фосфатов»,

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности

05.17.01 – технология неорганических веществ

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК Республики Беларусь

Диссертационная работа Мохорта Марка Сергеевича посвящена исследованию процессов и разработке технологий очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых и технических фосфатов.

Результаты исследований, представленные в диссертации, соответствуют следующим пунктам раздела III паспорта специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ, утвержденного приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 28 марта 2024 года №83:

п. 1. «Химические и физико-химические основы технологических процессов получения неорганических продуктов, химический и минералогический состав, физико-химические и химико-технологические свойства исходного сырья, промежуточных и целевых продуктов»;

п. 5. «Разработка физико-химических основ химико-технологических процессов и технологических схем производства много-тоннажных продуктов химической промышленности: связанного азота, минеральных удобрений и солей, кислот, щелочей»;

п. 7. «Очистка технологических газовых смесей и отходящих газов, сточных вод, утилизация твердых неорганических отходов, создание замкнутых водооборотных циклов, малоотходных и экологически чистых

химических технологий получения неорганических веществ и материалов на их основе».

Таким образом, диссертация Мохорта Марка Сергеевича «Технология очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых, технических фосфатов» полностью соответствует специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ, по которой она представлена к защите.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Целью диссертационной работы Мохорта М.С. являлось изучение физико-химических процессов, протекающих при очистке экстракционной фосфорной кислоты от ионогенных примесей F^- , SO_4^{2-} , SiF_6^{2-} , Me^{n+} с учетом особенностей различных видов исходного фосфатного сырья; установление оптимальных технологических режимов и разработка технологии очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением на ее основе импортозамещающих видов продукции – кормовых и технических фосфатов.

Соискателем проведен детальный анализ мировой научной и технической литературы по теме диссертационного исследования. Рассмотрены мировые тенденции и направления развития производств фосфорной кислоты, современные методы и технологии очистки экстракционной фосфорной кислоты, получения кормовых и технических фосфатов. На основании анализа литературы определены актуальные направления исследования, связанные с комбинированием отдельных методов очистки экстракционной фосфорной кислоты, включающие выделение примесей в составе малорастворимых кремнефторидов щелочных и щелочноземельных металлов химическим методом с последующей доочисткой кислоты методом отдувки воздухом.

На основании проведенных соискателем исследований составов различных видов фосфатного сырья для получения экстракционной фосфорной кислоты установлено значительное перераспределение количественного содержания фосфорсодержащих минералов, в частности фторапатита и карбонатфторапатита. Указанные различия в содержании минералов в изученных видах фосфатного сырья напрямую определяют особенности технологического режима его кислотной переработки и выбор оптимальных технологических параметров, а также оказывают влияние на фазовое распределение основных ионогенных примесей.

Получены новые научные данные о фазовом распределении примесей фторидов, сульфатов, оксидов щелочных, щелочноземельных и поливалентных металлов, тяжелых металлов и мышьяка в системе $CaSO_4 - H_3PO_4 - H_2O$ при производстве экстракционной фосфорной кислоты, и ее упарки на лабораторной установке и в условиях действующего производства в зависимости от вида применяемого фосфатного сырья. Установлено, что различия в минералогическом составе сырья, в частности, форме содержания соединений фосфора, фтора и кремния приводят к

существенному изменению фазового распределения фтора, а также процесса выделения его в газовую фазу в целом.

Мохортом М.С. теоретически обосновано минимальное остаточное содержание фтора, достигаемое в процессе обесфторивания экстракционной фосфорной кислоты методом осаждения с использованием реагента на основе жидкого натриевого стекла и кальцинированной соды, с использованием экспериментально установленных данных растворимости гексафторсилката натрия в системе $\text{Na}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ в изотермическом и политермическом режимах в широком интервале изменения температуры и содержания ортофосфорной кислоты, что явилось основанием для последующего выбора оптимальных условий осуществления технологического процесса. Разработана методика количественного определения содержания фтора в составе комплексных соединений в очищенной ортофосфорной кислоте с учетом влияния содержащихся в ней ионогенных примесей, которая явилась теоретическим обоснованием целесообразности дополнительной стадии отдувки с целью достижения более глубокой степени обесфторивания

Экспериментально установлены оптимальные параметры технологического режима очистки экстракционной фосфорной кислоты, включающего осаждение ионогенных примесей в составе малорастворимых кремнефторидов щелочных и щелочноземельных металлов на стадии реагентной очистки с последующей отдувкой фторсодержащих примесей, обеспечивающие снижение остаточного содержания фтора до 0,015-0,043 масс. %.

Доказана возможность использования очищенной экстракционной фосфорной кислоты, полученной по разработанной в диссертационной работе технологии для производства кормовых и технических фосфатов калия и аммония. Установлены оптимальные технологические режимы и разработаны эффективные способы получения указанных продуктов, отвечающие нормативным требованиям, предъявляемым к водорастворимым фосфорно-калийным удобрениям, кормовому дигидрофосфату калия, техническому и кормовому дигидрофосфату аммония, новизна которых подтверждена заявками на выдачу патентов.

Таким образом, полученные соискателем научные результаты вносят существенный вклад в развитие фосфатной промышленности страны в области очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых и технических фосфатов, и представляют значительный научный и практический интерес для химической промышленности Республики Беларусь.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Соискателю может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук за следующие научные результаты:

– новые научные данные о фазовом распределении ионогенных

примесей фторидов, сульфатов, оксидов щелочных, щелочноземельных и поливалентных металлов, тяжелых металлов и мышьяка в системе $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ при получении экстракционной фосфорной кислоты, а также на стадии ее упарки в зависимости от вида и качества применяемого фосфатного сырья;

– экспериментально установленные данные растворимости гексафторсиликата натрия в системе $\text{Na}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ в изотермическом и политермическом режимах в интервале изменения температуры $20-80^\circ\text{C}$ и содержания ортофосфорной кислоты $40-65$ масс. %, соответствующие фактическим изменениям указанных параметров при получении очищенной экстракционной фосфорной кислоты;

– методика количественного определения содержания фтора в составе комплексных соединений в растворах очищенной ортофосфорной кислоты, учитывающая частичное содержание фтора в составе ионных и молекулярных форм фторидов и комплексных соединений, а также влияние ионогенных примесей, содержащихся в растворах неупаренной и упаренной экстракционной фосфорной кислоты;

– новые научные данные о влиянии технологических параметров на процесс реагентной очистки неупаренной и упаренной экстракционной фосфорной кислоты от вида и количества ионогенных примесей, обеспечивая их выделение в составе малорастворимых кремнефторидов щелочных металлов, а также на стадию отдувки;

– экспериментально установленные показатели физико-химических и химико-технологических свойств суспензий и осадков, образующихся на отдельных технологических стадиях, а также обоснование возможности повышения эффективности обесфторивания экстракционной фосфорной кислоты путем дополнительного введения стадии старения суспензии.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке технологии комбинированной очистки экстракционной фосфорной кислоты и разработанных в диссертационном исследовании способах получения импортозамещающих видов продукции – кормовых и технических фосфатов.

4. Замечания по диссертации

1. Из диссертации непонятно, чем обусловлен выбор кировского апатитового концентрата и фосфоритов Марокко в качестве объектов исследования при изучении составов различных видов фосфатного сырья и распределения ионогенных примесей при получении фосфорной кислоты.

2. В тексте диссертации (стр. 42 и 98) указано, что общая продолжительность процесса отдувки фторсодержащих примесей составляла 30 мин для экстракционной фосфорной кислоты и 60 мин для упаренной экстракционной фосфорной кислоты соответственно. Однако обоснование выбора продолжительности процесса отдувки отсутствует.

3. Не ясно, почему стадия растворения гексафторкремниевого отхода, в процессе получения технического гексафторсиликата натрия, проводится при

температуре 80°C, тогда как увеличение температуры до 100°C позволяет повысить растворимость Na_2SiF_6 , согласно представленным в таблице 5.2 данным.

4. При описании отличительных особенностей разработанных технологий получения дигидрофосфата калия (стр. 133) и дигидрофосфата аммония (стр. 136) от известных способов показана возможность проведения процесса при более низких величинах pH (дигидрофосфат калия) и сокращения количества стадий аммонизации (дигидрофосфата аммония). Однако в обоих случаях не указано количество примесного осадка удаляемого на стадии разделения, и не приведено сравнение данного показателя с прототипами.

Вышеуказанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Мохорта М.С.

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Оформление разделов диссертационной работы соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 1 монография, 4 статьи в научных изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертаций и 1 статья в иностранном научном издании, 2 статьи в других научных журналах, 6 материалов научно-технических конференций. Получен 1 патент Республики Беларусь, подано 2 заявки на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации, а также демонстрируют научную новизну, практическую значимость и основные положения, выносимые на защиту. Диссертация написана грамотным литературным языком, особого внимания заслуживает высокое качество иллюстративного материала. Соискателем разработана нормативно-техническая документация – технические условия на кислоту ортофосфорную очищенную (опытная партия).

Таким образом, научная квалификация Мохорта М.С. соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук.

6. Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы Мохорта М.С. рекомендуются к использованию на предприятиях по производству экстракционной фосфорной кислоты, с целью ее очистки и последующего получения кормовых и технических фосфатов калия и аммония, водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений.

7. Заключение

Диссертационная работа Мохорта Марка Сергеевича «Технология очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых, технических фосфатов» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ, является самостоятельной, завершенной научной квалификационной работой, результаты которой вносят существенный вклад в развитие фосфатной промышленности Республики Беларусь. Диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 20-21 и 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (Указ Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190), а также Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации (постановление Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3 в редакции постановления Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22.08.2022 № 5).

На основании вышеизложенного соискатель Мохорт Марк Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ за следующие новые научно обоснованные результаты, включающие:

– новые научные данные о фазовом распределении ионогенных примесей фторидов, сульфатов, оксидов щелочных, щелочноземельных и поливалентных металлов, тяжелых металлов и мышьяка в системе $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ в производстве экстракционной фосфорной кислоты при переработке фосфатного сырья различного химического и минералогического составов;

– экспериментально установленные данные растворимости гексафторсиликата натрия в системе $\text{Na}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ в области концентрированных растворов ортофосфорной кислоты в изотермическом и политермическом режимах в интервале изменения температуры 20–80°C и разработанная методика определения содержания фтора в составе комплексных соединений в растворах очищенной ортофосфорной кислоты с учетом влияния ионогенных примесей, послужившие теоретической основой выбора комбинированного метода обесфторивания экстракционной фосфорной кислоты, включающего осаждение с использованием натрийсодержащих реагентов и последующую отдувку, а также прогнозирования остаточного содержания фторид-ионов;

– состав осадительной композиции и установленные оптимальные параметры технологических стадий очистки экстракционной фосфорной кислоты, обеспечивающие снижение остаточного содержания фтора в кислоте с 0,263–1,800 до 0,015–0,043 масс. % для различных видов исходного фосфорсодержащего сырья, минимального остаточного содержания примесей тяжелых металлов и мышьяка;

– разработанную ресурсосберегающую технологию комбинированной очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением целевого продукта очищенной ортофосфорной кислоты, соответствующей нормативным требованиям для производства кормовых и технических фосфатов, а также побочного продукта – технического гексафторсиликата натрия.

Доклад соискателя Мохорта Марка Сергеевича и отзыв на диссертационную работу «Технология очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых, технических фосфатов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ, подготовленный экспертом к.т.н., доцентом Меженцевым А.А., назначенным приказом БНТУ от 04.05.2026 №196 «О подготовке отзыва оппонирующей организации», обсуждены на научном собрании кафедры «Инженерная экология» Белорусского национального технического университета (протокол № 11 от 12 мая 2026 г.).

В работе заседания приняли участие 23 человека из них: 13 – кандидатов наук, в том числе 4 кандидата технических наук (Меженцев А.А., Хрипович А.А., Морзак Г.И., Малькевич Н.Г.).

Результаты открытого голосования по отзыву оппонирующей организации присутствующих на заседании, которые имеют ученые степени: «за» – 13, «против» – 0, «воздержались» – 0.

Выражаем свое согласие на размещение отзыва оппонирующей организации на диссертационную работу Мохорта Марка Сергеевича в открытом доступе на сайте учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Председатель собрания:
заведующий кафедрой «Инженерная экология»,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

А.А. Цыганова

Эксперт:
доцент кафедры «Инженерная экология»,
кандидат технических наук, доцент

А.А. Меженцев

Секретарь собрания:
доцент кафедры «Инженерная экология»,
кандидат технических наук, доцент

А.А. Хрипович