

## Отзыв

научного руководителя доктора технических наук, профессора

**Дормешкина Олега Борисовича**

на диссертационную работу **Мохорта Марка Сергеевича**

«Физико-химические основы и технология очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением кормовых и технических фосфатов»

по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ

Мохорт М.С. в 2022 г. окончила факультет химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (БГТУ) по специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» с присвоением квалификации инженер-химик-технолог. В период с 01.09.2022 по 30.06.2023 гг. обучался в очной магистратуре БГТУ с присвоением степени магистра, а далее с 01.11.2023 г. по настоящее время в очной аспирантуре БГТУ по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ. В периоды с 01.09.2023 по 30.06.2024 гг., с 13.09.2024 по 30.06.2025 гг. Мохорт М.С. работал в БГТУ в должности преподавателя-стажера кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. С 01.09.2025 г. работает ассистентом кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии.

Мохорт М.С. активно занимается научно-исследовательской деятельностью. В качестве исполнителя работал в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», задание 1.3 «Исследование особенностей распределения ионогенных и гетерогенных примесей в системе  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при получении ортофосфорной кислоты на основе различных видов фосфатного сырья, изучение химических и физико-химических способов ее очистки с получением кормовых фосфатов и технических солей» (ГБ 21–109, 2021–2023 гг.); задание 2.1.9 «Разработка метода получения ортофосфорной кислоты технической квалификации на основе комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты» (ГБ 24–107, 2024–2025 гг.); задание 2.1.08 26-107 «Разработка физико-химических основ и методов получения импортозамещающих видов продукции – технических и кормовых фосфатов на основе ортофосфорной кислоты различной квалификации» (ГБ 26–107, 2026–2030 гг.). Соискатель активно работает по договорам, выполняемым в соответствии с планами инновационных работ концерна «Белнефтехим» и ОАО «Гомельский химический завод».

### Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационная работа актуальна для Республики Беларусь, поскольку направлена на изучение физико-химических процессов, протекающих при очистке экстракционной фосфорной кислоты от ионогенных примесей, с учетом особенностей различных видов исходного фосфатного сырья, установление наиболее рациональных технологических режимов и разработке технологии очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением на ее

основе импортозамещающих видов продукции - кормовых и технических фосфатов.

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденным указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156, приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2026–2030 гг., утвержденным указом Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 г. № 135, научным направлениям учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» и выполнялась в рамках научных программ: Государственная программа научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», подпрограмма «Химические технологии, процессы и реагенты», задание 1.3 «Исследование особенностей распределения ионогенных и гетерогенных примесей в системе  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при получении ортофосфорной кислоты на основе различных видов фосфатного сырья, изучение химических и физико-химических способов ее очистки с получением кормовых фосфатов и технических солей», задание 2.1.9 «Разработка метода получения ортофосфорной кислоты технической квалификации на основе комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты»; по договорам, выполняемым в соответствии с планами инновационных работ концерна «Белнефтехим» и ОАО «ГХЗ».

Соответствие названия диссертации ее содержанию.

Тема диссертации «Физико-химические основы и технология очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением кормовых и технических фосфатов» в полной мере раскрывает сущность выполненных исследований.

Соответствие содержания диссертации отрасли науки и специальности.

Диссертация Мохорта М.С. соответствует отрасли технических наук, так как ее результаты направлены на решение прикладной технической задачи: разработку технологии комбинированной очистки экстракционной фосфорной кислоты с получением на ее основе кормовых и технических фосфатов.

Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ, предмету ее формулы – изучение физико-химических основ и разработка технологических процессов получения неорганических продуктов по п.п. 1, 5 и 7 области исследований.

Научная, практическая и экономическая значимость работы.

Научная значимость результатов диссертации заключается в том, что:  
– получены новые научные данные о фазовом распределении ионогенных примесей в системе  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при производстве продукционной ЭФК, а также на стадии ее упарки на модельной установке и в условиях действующего производства в зависимости от вида применяемого фосфатного сырья, качественного и количественного содержания отдельных минералов;

– экспериментально установленные данные 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 области концентрированных растворов ортофосфорной кислоты в широком интервале изменения температур, позволившие теоретически обосновать минимальное остаточное содержание фторид-ионов, достигаемое в процессе обесфторивания ЭФК методом осаждения с использованием солей щелочных металлов, а также явившиеся основанием для последующего выбора оптимальных условий осуществления технологического процесса;

– разработан состав осадительной композиции, оптимальное количество и соотношение отдельных ингредиентов в которой обеспечивает достижение максимальной степени обесфторивания ЭФК и снижение остаточного содержания фтора на стадии реагентной очистки с 0,263 – 1,800 до 0,040 – 0,072 мас. % в зависимости от вида кислоты, минимальное остаточное содержание тяжелых металлов и мышьяка, необходимое для последующего использования кислоты при получении технических и кормовых фосфатов;

– доказано, что лимитирующей стадией очистки ЭФК является стадия роста кристаллов гексафторсилката натрия и последующее выделение осадка; полученные данные явились основанием дополнительного введения в технологический процесс стадии старения суспензии, что обеспечило улучшение химико-технологических характеристик осадков (повышением скорости отстаивания с 0,04 до 0,28 см/мин, возрастание коэффициента фильтрации с  $9,04 \cdot 10^{-6}$  до  $3,4 \cdot 10^{-5}$  см/с, снижением конечного объема отстоя с 6,7 до 3,0 %), а также снижение остаточного содержания фтора в ОЭФК;

– разработана методика количественного определения содержания фтора в составе комплексных соединений в растворах очищенной ортофосфорной кислоты с учетом влияния содержащихся в кислоте ионогенных примесей; подтверждена невозможность достижения полного удаления соединений фтора с использованием лишь осадительного метода, ввиду присутствия его в составе комплексных соединений. Обоснована целесообразность введения дополнительной стадии очистки ЭФК методом отдувки с целью достижения более глубокой степени обесфторивания;

– экспериментально установлены оптимальные параметры технологического режима очистки ЭФК, включающего осаждение ионогенных примесей в составе малорастворимых кремнефторидов щелочных металлов на стадии реагентной очистки с последующей отдувкой фторсодержащих примесей, обеспечивающие снижение остаточного содержания фтора до 0,015 – 0,043 мас. % для различных видов кислот;

– доказана возможность использования ОЭФК, полученной по разработанной в рамках диссертационных исследований технологии для получения кормовых и технических фосфатов калия и аммония; установлены оптимальные технологические режимы и разработаны новые способы получения указанных продуктов, полностью отвечающих нормативным требованиям.

Практическая значимость результатов диссертации определяется разработкой малоотходной технологии получения кислоты ортофосфорной очищенной на основе экстракционной фосфорной кислоты производства ОАО «Гомельский химический завод», включающей переработку отхода очистки ЭФК с получением побочного продукта - технического гексафторсиликата натрия, технологических схем получения кормовых и технических фосфатов калия на основе ОЭФК и подтверждается актами производственных и лабораторных испытаний.

Ожидаемый годовой экономический эффект организации производства по выпуску ОЭФК на опытной установке цеха ЦФК-1 ОАО «ГХЗ» составляет 9 635 300 дол. США или 28 230 500 бел. руб. Согласно данным производителей, отпускная цена за одну тонну гексафторсиликата натрия составляет 62 000 тыс. росс. руб., или 788,78 дол. США. Таким образом, реализация побочного продукта позволит получить дополнительный экономический эффект в размере 690 427 дол. США или 2 048 013 бел. руб.

Степень новизны научных результатов.

В диссертационной работе получены следующие новые научные данные:

– результаты исследования фазового распределения ионогенных примесей в системе  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при получении ЭФК, 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 °С и содержания ортофосфорной кислоты 40 – 65 мас. %, соответствующих фактическим интервалам изменения указанных параметров при получении ОЭФК;

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

– новые научные данные о влиянии отдельных технологических параметров на процесс реагентной очистки неупаренной и упаренной ЭФК от ионогенных примесей с их выделением 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 ЭФК путем дополнительного введения стадии старения суспензии.

Апробация полученных результатов исследований и сведения об их использовании.

Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались на научных форумах, конференциях и выставках, перечень которых представлен в диссертации и автореферате. Разработанные технологии и новые виды

продукции успешно экспонировались на ряде республиканских и международных выставок. По результатам участия в конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» в рамках Международной выставки «НИ-ТЕСН'2025» (г. Санкт-Петербург, 2025 г.) разработка «Технология комплексной очистки ЭФК с получением кормовых и технических фосфатов» награждена Дипломом и серебряной медалью.

Практическая значимость работы подтверждена актом проведения производственных испытаний технологии получения кислоты ортофосфорной очищенной комбинированным методом на ОАО «Гомельский химический завод»; заключением о возможности получения технического монокалийфосфата на основе экстракционной фосфорной кислоты производства ОАО «Гомельский химический завод», актами изготовления лабораторных партий: кислоты ортофосфорной очищенной, гексафторсиликата натрия технического, стекла смальтового белого, а также разработанной нормативно-технической документацией, перечень которой имеется в составе Приложения к диссертации, а также приведен в автореферате, 11 справками внедрения результатов НИР в учебный процесс.

Наличие опубликованных работ по теме исследования.

По результатам выполненного исследования опубликовано 17 печатных работ, 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. Разработана необходимая нормативно-техническая документация, включая технические условия, лабораторно-технологические регламенты, программу промышленных испытаний.

Считаю, что по результатам выполненной квалификационной работы Мохорт М.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ за:

– новые научные данные о фазовом распределении ионогенных примесей в системе  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  в производстве ЭФК при переработке фосфатного сырья различного химического и минералогического состава;

– 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 °С, методику количественного определения фтора в составе комплексных соединений в растворах очищенной ортофосфорной кислоты с учётом влияния ионогенных примесей, послуживших научной основой для выбора комбинированного метода обесфторивания ЭФК методом осаждения с использованием солей щелочных металлов и последующей отдувкой, а также прогнозирования остаточного содержания фторид-ионов;

– состав осадительной композиции и установленные оптимальные параметры отдельных технологических стадий очистки ЭФК, обеспечивающие снижение остаточного содержания фтора в кислоте с 0,263–1,800 до 0,015–0,043 мас. % для различных видов исходного фосфатного сырья, минимальное остаточное содержание примесей тяжелых металлов и мышьяка;

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

Выражаю согласие на размещение данного отзыва на официальном сайте учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель, профессор,  
д.т.н., профессор кафедры ТНВиОХТ  
УО «Белорусский государственный  
технологический университет»



О.Б. Дормешкин

Подпись *Дормешкина О.Б.*  
Свидетельствую: *А.В.С.*  
Специалист по  
кадрам БГТУ  
«13» *02.* 2026 г.