

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.12  
по диссертации Кузьминых Константина Геннадьевича  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Диссертация «Физико-химические основы технологии галургического хлорида калия с улучшенными товарными характеристиками» по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ принята к защите 17 октября 2024 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.12, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от 27 января 2022 г. № 5-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Химические технологии» в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Пойлов Владимир Зотович, профессор кафедры «Химические технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

Почиталкина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор, 05.17.01 - Технология неорганических веществ, профессор кафедры «Технологии неорганических веществ и электрохимических процессов» ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»;

Шакиров Тимур Рустамович, кандидат технических наук, 2.6.7. Технология неорганических веществ, доцент кафедры «Технологии неорганических веществ и материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,

дали *положительные* отзывы диссертации.

**Ведущая организация** – Учреждение образования «Белорусский

государственный технологический университет» (г. Минск). Отзыв ведущей организации утвержден Саковичем Андреем Андреевичем, кандидатом технических наук, доцентом, первым проректором, заслушан на заседании кафедры «Технологии неорганических веществ и общей химической технологии» (протокол № 4 от 22 ноября 2024 г.), подписан Минаковским Александром Федоровичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Технологии неорганических веществ и общей химической технологии»; Флюрик Еленой Андреевной, кандидатом биологических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технологии неорганических веществ и общей химической технологии». В отзыве указано, что диссертационная работа Кузьминых К.Г. «Физико-химические основы технологии галургического хлорида калия с улучшенными товарными характеристиками» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технологические решения технологии галургического хлорида калия, позволяющие получать продукт с улучшенными товарными характеристиками; диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ (п. 1, п.8), а ее автор Кузьминых Константин Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их научными достижениями в области физико-химических основ технологии неорганических веществ, которые по предметной области соответствуют направлению диссертационного исследования соискателя; наличием достаточной квалификации для оценки научной и практической значимости, обоснованности и достоверности полученных выводов.

По теме диссертации соискателем опубликовано 12 научных трудов, в том числе 1 – в издании, индексированном в международных базах цитирования Web of Science, Scopus, 6 – в ведущих рецензируемых изданиях, 4 – в прочих изданиях, 2 патента РФ на изобретение. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Кузьминых, К.Г. Исследование процесса перекристаллизации хлорида калия под действием ультразвуковой обработки в изотермических условиях / К.Г. Кузьминых, В.З. Пойлов, О.К. Косвинцев, Е.О. Кузина // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 11. – С. 61-66 (ВАК).

*В работе соискателем изучено влияние параметров ультразвуковой обработки, длительности процесса и среды на перекристаллизацию хлорида калия в изотермических условиях. Установлено влияние параметров ультразвуковой обработки в среде органического растворителя, насыщенного и разбавленного растворов хлорида калия, на гранулометрический состав.*

2. Кузьминых, К.Г. Влияние параметров ультразвуковой обработки на процесс измельчения галургического хлорида калия / К.Г. Кузьминых, В.З. Пойлов, О.К. Косвинцев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 324, № 2. – С. 132-136 (ВАК).

*В статье соискателем изучено влияние параметров ультразвуковой обработки (интенсивность воздействия, продолжительность, объем обрабатываемой суспензии) на гранулометрический состав галургического хлорида калия. Установлено, что при увеличении интенсивности ультразвукового воздействия в диапазоне от 15 до 25 Вт/см<sup>2</sup> и продолжительности обработки до 8 минут происходит уменьшение среднего размера кристаллов, а при увеличении объема обрабатываемой суспензии при заданной интенсивности и длительности процесса эффективность ультразвукового воздействия уменьшается.*

3. Кузьминых, К.Г. Формирование гранулометрического состава хлорида калия в результате температурно-циклового обработки пылевидных фракций / К.Г. Кузьминых, В.З. Пойлов // Химическая промышленность сегодня. – 2015. – № 5. – С. 7-15 (ВАК).

*В работе соискателем исследовано влияние соотношения фаз жидкость/твердое на процесс температурно-циклового обработки мелких фракций галургического хлорида калия в среде насыщенного по хлоридам натрия и калия раствора. Установлено, что эти факторы существенно влияют на механизм протекания кристаллизации и гранулометрический состав получаемого хлорида калия. Показано, что при соотношении фаз жидкость/твердое менее 13 на стадии кристаллизации процесс агрегации частиц преобладает над процессом роста кристаллизационных блоков. В тех случаях, когда при нагревании суспензии происходит полное растворение хлорида калия, на стадии кристаллизации преобладает процесс роста кристаллизационных блоков. Наибольшее укрупнение кристаллов хлорида калия происходит при соотношении фаз жидкость/твердое равном 13.*

4. Пойлов, В.З. Деграция ферроцианида калия, используемого в качестве антислеживателя / В.З. Пойлов, К.Г. Кузьминых, С.Н. Титков, С.Н. Алиферова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 8. – С. 45-52 (Web of Science, Scopus, ВАК).

*В статье соискателем теоретическим анализом и экспериментальным путем установлено, что химическая деграция гексацианоферрата (II) калия протекает в основном при термической обработке водного раствора антислеживателя с образованием осадка гидроксида железа и синильной кислоты. Установлено, что с увеличением температуры обработки продукта KCl с 60 до 120 °С процесс деграции антислеживателя усиливается, а остаточное содержание гексацианоферрата (II) калия в продукте снижается. С повышением температуры термообработки и концентрации гексацианоферрата (II) калия в растворе антислеживателя его потери на хлориде калия возрастают. При этом повышенная температура поступающего из сушильного аппарата горячего хлорида калия способствует ускорению высыхания раствора антислеживателя, что ухудшает его распределение на поверхности кристаллических частиц готового продукта.*

5. Кузьминых, К.Г. Влияние параметров ультразвуковой обработки на формирование гранулометрического состава хлорида калия при

политермической кристаллизации / К.Г. Кузьминых // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – № 4 (56). – С. 53-58 (ВАК).

*В работе соискателем показано, что эффективность ультразвукового воздействия на стадии кристаллизации существенно выше, чем при диспергации сформировавшихся кристаллов. Выявлено, что на процесс диспергации оказывает влияние интенсивность ультразвукового воздействия, продолжительность обработки. С увеличением интенсивности акустического воздействия и продолжительности обработки происходит уменьшение среднего размера частиц хлорида калия как на стадии кристаллизации, так и при диспергации сформировавшихся кристаллов KCl.*

6. Кузьминых, К.Г. Выявление и устранение причин ухудшения показателей качества хлорида калия, получаемого по галургической технологии / К.Г. Кузьминых, В.З. Пойлов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – № 4 (56). – С. 59-68 (ВАК).

*В статье соискателем установлено, что причиной повышения содержания пылевидных фракций KCl при хранении аминированного продукта на складе является расклинивающий эффект (эффект Ребиндера), возникающий при адсорбции антислеживателя (амин), наносимого на продукт в виде плава. Для снижения расклинивающего эффекта предложено использовать в качестве антислеживателя для галургического KCl раствор солянокислого стеариламина с концентрацией 0,8 масс.% или водный раствор гексацианоферрата (II) калия с концентрацией 2 масс.%. Показано, что введение добавки карбамида в пределах 0,2-0,5 масс.% в раствор антислеживателя с частичным замещением кальцинированной соды позволяет снизить эффект деградации гексацианоферрата (II) калия. Выявлено, что причиной изменения окраски хлористого калия с белой на светло-синий, обработанного антислеживателем с гексацианоферратом (II) калия, является внешнее воздействие на продукт кислой среды, а также повышенное содержание иона  $Fe^{3+}$  в KCl. Изменение окраски вызвано образованием «берлинской лазури» на поверхности хлорида калия.*

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы положительные: **Нараев Вячеслав Николаевич** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология неорганических веществ», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»; **Тимаков Максим Владимирович** кандидат технических наук, начальник отдела СС ООО «УРАЛАЙТЕХ», АО «ВНИИ Галургии»; **Ильин Александр Александрович** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры материаловедения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»; **Зубарев Михаил Павлович** кандидат химических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности», ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»; **Ходяшев Михаил Борисович** кандидат химических наук, директор филиала «Уральский» ФГБУ «ВНИИ Экология»;

**Баян Екатерина Михайловна** доктор технических наук, доцент, доцент химического факультета, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение «Южный федеральный университет»; **Кунин Алексей Владимирович** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология неорганических веществ», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет».

В отзывах дана высокая оценка научного уровня диссертации Кузьминых Константина Геннадьевича, ее теоретической и практической значимости. Отмечено, что диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** физико-химические основы процесса получения продукта с пониженным содержанием пылевидных фракций;

**предложено** для регулирования гранулометрического состава KCl, получаемого на регулируемой вакуум-кристаллизационной установке, осуществлять ультразвуковое воздействие на суспензию KCl;

**доказана** эффективность обработки суспензии кристаллизата KCl после стадии сгущения острым паром, обеспечивающая снижение содержания пылевидной фракции, хлорида натрия и влажности кристаллического хлорида после фильтрации;

**установлена** причина повышения содержания пылевидных фракций KCl при хранении аминированного продукта на складе;

**определены** причины деградации антислеживателя на основе гексацианоферрата (II) калия, приводящие к повышению гигроскопичности продукта KCl.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказано**, что при ультразвуковой обработке суспензии KCl происходит диспергация кристаллов, эффективность которой возрастает с повышением интенсивности до 0,3 Вт/(г суспензии);

**установлена** математическая зависимость, позволяющая регулировать дисперсность KCl путем изменения режимов ультразвуковой обработки;

**разработаны** лабораторная установка и методика для исследования процессов растворения и кристаллизации KCl с программируемыми температурными режимами, позволяющие изучать динамику процесса с регистрацией числа, формы и размера частиц хлорида калия;

**изложены** особенности и закономерности протекания процесса перекристаллизации KCl в системе KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O при температурно-цикловой обработки суспензии KCl различной дисперсности путем нагрева и охлаждения суспензии в диапазоне температурных колебаний от 20 до 50°C;

**изучено** влияние стабилизирующей добавки (карбамид) в растворе антислеживателя и температуры продукта после стадии сушки на деградацию антислеживателя на основе гексацианоферрата (II) калия.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработан** способ получения хлорида калия (патент РФ №2552459) с заданным гранулометрическим составом (со средним массовым размером в диапазоне 0,13-0,72 мм) путем ультразвуковой обработки кристаллизата КС1 после регулируемой вакуум-кристаллизационной установки;

**предложен** и апробирован в промышленных условиях способ снижения пылевидных фракций в мелкокристаллическом 98,2%-ном хлориде калия (патент РФ №2779661) за счет обработки острым паром суспензии после стадии вакуум-кристаллизации и сгущения; проведены опытно-промышленные испытания данного способа на сильвинитовой обогатительной фабрике Соликамского калийного рудоуправления №1 ПАО «Уралкалий»;

**сформулированы** рекомендации по замене антислеживателя плава амина на раствор солянокислого амина или водный раствор гексацианоферрата (II) калия, позволяющие снизить эффект разрушения кристаллических частиц продукта КС1;

**представлены** практические рекомендации, позволяющие сохранить эффективность антислеживателя на основе гексацианоферрата (II) калия при обработке продукта КС1.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

**экспериментальные работы** проведены в лабораторных условиях с применением современных экспериментальных методов изучения процессов диспергации и перекристаллизации КС1, деградации антислеживателя, анализа товарных характеристик кристаллического продукта КС1 с использованием оптической и электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентного, рентгеноструктурного методов анализа, зондовой системы видеомикроскопии;

**идея базируется** на анализе и обобщении отечественного и зарубежного опыта применения общепринятых стандартных методов исследования;

**установлено**, что результаты, полученные автором, согласуются с данными, представленными в современной научной литературе по данной тематике.

**Личный вклад соискателя** заключается в проведении экспериментальных и теоретических исследований, анализе, обработке и интерпретации полученных данных и их оформлении в виде научных публикаций. Постановка задач исследований, программы работ, определение способов решения задач и обсуждение полученных результатов осуществлялись при непосредственном участии автора.

**Диссертационный совет пришел к выводам** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 28.05.2024 № 27-О: в работе изложены и научно обоснованы технологические решения по совершенствованию технологий галургического хлорида калия с улучшенными

товарными характеристиками, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие калийной промышленности Российской Федерации.

На заседании 19 декабря 2024 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.12 принял решение присудить Кузьминых Константину Геннадьевичу ученую степень кандидата технических наук (протокол № 10 от 19 декабря 2024 г.).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – 0, воздержавшихся – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.12,  
доктор технических наук, профессор



Рудакова Л.В.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент

ИУ.05.12,

Слюсарь Н.Н.

«20» декабря 2024 г.