

661  
468

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 661.632.1:661.832

**Дормешкин Олег Борисович**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ-  
КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ СИСТЕМ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ

Минск 2008

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

Научный консультант **Воробьев Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Кузьменков Михаил Иванович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, заведующий кафедрой химической технологии вяжущих материалов, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»;  
**Акаев Олег Павлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии, Костромской государственной университет им. Н.А. Некрасова;

**Ратько Анатолий Иванович**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, заведующий лабораторией адсорбентов и адсорбционных процессов, Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация

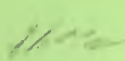
Белорусский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной и химической промышленности ОАО «БЕЛГОРХИМПРОМ»

Защита состоится «20» мая 2008 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д. 02. 08. 02 при УО «Белорусский государственный технологический университет» в аудитории 240 корп. 4; Беларусь, 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а; E-mail: [root.@bstu.unibel.by](mailto:root.@bstu.unibel.by); факс: (017)227-62-17, 26-10-75; телефон ученого секретаря совета: (017)227-15-44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан « 5 » апреля 2008 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
доктор технических наук, доцент



Левданский А.Э.

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на громадный прогресс человечества, проблема обеспечения продовольственной безопасности остается одной из главных задач всех государств мира. В условиях преобладания в Республике Беларусь дерново-подзолистых почв, нахождения значительной части посевных площадей в зоне рискованного земледелия применение удобрений является одним из наиболее мощных факторов интенсификации сельскохозяйственного производства. В соответствии с Программой социально-экономического развития и возрождения села к 2010 году применение минеральных удобрений должно возрасти до 1760 тыс. т, в том числе фосфорных – до 300 тыс. т действующих веществ. Важным фактором эффективного применения удобрений является увеличение объемов производства полных комплексных удобрений. Причем нарастающая тенденция выращивания сельскохозяйственных культур, характеризующихся повышенным потреблением серы, таких как пшеница, масличные культуры для производства биотоплива, привела к хронической недопоставке серы в почву и предопределило увеличение спроса в серосодержащих комплексных удобрениях. Активное внедрение новых агрохимических технологий выращивания сельскохозяйственных культур в закрытом грунте по интенсивным технологиям с применением капиллярных систем подвода питательных элементов привело к резкому увеличению спроса на бесхлорные водорастворимые удобрения, которые в республике не производятся. Традиционные технологии их получения, основанные на использовании термической фосфорной кислоты, гидроксида или карбоната калия, неприемлемы ввиду отсутствия производства этих продуктов в республике, а организация производства на основе более дешевых и доступных видов сырья сдерживается отсутствием научных разработок, пригодных для промышленного освоения. Серьезнейшей проблемой является обеспечение сырья. На территории Республики Беларусь имеются разведанные запасы фосфоритов, однако их промышленное освоение сдерживается отсутствием рекомендаций по оптимальному методу добычи, необходимостью решения ряда научно-технических и экологических проблем. По этой причине республика вынуждена импортировать весь объем фосфатного сырья.

Несмотря на большое внимание к этой проблеме, до настоящего времени попыток комплексного анализа состояния и перспектив производства фосфорных и комплексных минеральных удобрений в Республике Беларусь с учетом потребностей сельхозпроизводителей, сырьевой базы и общемировых тенденций не предпринималось. Такой анализ впервые был выполнен в рамках диссертационной работы и позволил выявить основные научные и технические проблемы, определить пути решения обозначенных проблем.

Отсутствие отечественной сырьевой базы и возрастающие сложности с

1  
1074 ар.

**БІБЛІЯТЭКА**  
Беларускага дзяржаўнага  
тэхналагічнага ўніверсітэта

поставками фосфатного сырья выдвигают на первый план задачи по совершенствованию существующих и разработке новых ресурсосберегающих технологий фосфорсодержащих удобрений, обеспечивающих снижение потерь сырья и вовлечение в промышленную переработку вторичных видов сырья, включая промышленные фосфорсодержащие отходы, получение новых марок комплексных удобрений, в том числе серосодержащих и бесхлорных водорастворимых, с повышенным коэффициентом использования питательных веществ растениями, расширение их ассортимента.

Решение этих крайне актуальных для Республики Беларусь проблем явилось целью диссертационной работы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** В основу диссертации положены обобщенные результаты личных исследований автора, полученные при выполнении ряда госбюджетных и хозяйственных работ кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии БГТУ по заданиям научных программ: Республиканской научно-технической программы 85.01.р «Разработать и внедрить в производство технологические процессы, обеспечивающие утилизацию накопившихся отходов производства», утвержденной Президиумом Совета Министров БССР, пр. № 6 от 9.12.85 г. (ГБ 86-12 «Разработка процессов получения удобрений и технических продуктов с использованием отходов производства фосфорных удобрений», № гос. регистрации 01860022825, 1986–1990 гг.); Государственной научно-технической программы (ГНТП) «Минеральные удобрения» на 1997–1999 гг., утвержденной Советом Министров Республики Беларусь, пр. № 7 от 17.01.1997 г. задание 2.05 «Разработать и освоить в опытно-промышленных условиях технологию получения новых марок комплексных удобрений на Гомельском химическом заводе» (БС 95-045, № гос. регистрации 19973189, 1997–1998 гг.) и задание 2.02 «Провести исследования по химической переработке фосфоритов Беларуси с получением фосфорной кислоты, фосфорных и комплексных удобрений и выдать исходные данные для разработки ТЭД целесообразности освоения месторождений» (БС 95-043, № гос. регистрации 19971607, 1997–1998 гг.); ГНТП «Минеральные удобрения» на 2001–2005 гг., утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 141 от 1.02.2001 г. задание 1.07 «Разработать и освоить технологию комплексного бесхлорного водорастворимого удобрения – нитрата калия для тепличного хозяйства на базе отечественного сырья» (БС 21-136, № гос. регистрации 2002178, 2001–2005 гг.) и задание 2.12 «Разработать и освоить технологию комплексного бесхлорного водорастворимого удобрения –

фосфата калия для тепличного хозяйства на базе отечественного сырья» (ГБ 2/2001, № гос. регистрации 20023981, 2001–2005 гг.); Государственной координационной программы научных исследований «Химические реагенты и материалы», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1339 от 28.11.2005 г. задание 48 «Исследовать физико-химические закономерности процессов, протекающих в многокомпонентных карбамидсодержащих водно-солевых системах при получении комплексных удобрений» (БС 26-129, № гос. регистрации 20063595, 2006–2010 гг.); по теме «Разработать теоретические основы конверсионных процессов в системах  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2\text{-NH}_4\text{NO}_3\text{-KCl-KNO}_3\text{-NH}_4\text{Cl-H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4\text{-KCl-KH}_2\text{PO}_4\text{-NH}_4\text{Cl-H}_2\text{O}$ » (ГБ 99-090, № гос. регистрации 19992648, 1999–2000 гг.), включенной в план НИР БГТУ; по договорам, выполняемым в соответствии с планами инновационных работ концерна «Белнефтехим» и предприятий отрасли: ХД 89-49 «Разработка и внедрение технологии переработки фторфосфатных шламов в производстве суперфосфата (аммофосфата) по поточной технологии» (№ гос. регистрации 01890074599, 1989–1990 гг.); ХД 89-52 «Разработка технологии утилизации фторфосфатных шламов очистки сточных вод» (№ гос. регистрации 01890087021, 1989–1991 гг.); ХД 92-11 «Совершенствование технологии очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод с получением конечных продуктов» (№ гос. регистрации 01920013867, 1992–1993 гг.); ИФЗ 25-011 «Разработка исходных данных для проектирования реконструкции цеха аммонизированного суперфосфата с переводом на гибкие технологии производства NP и NPK удобрений» (№ гос. регистрации 20051866, 2005–2006 гг.); ИФЗ 25-033 «Разработка исходных данных для выполнения проекта реконструкции цеха сложно-смешанных минеральных удобрений с увеличением мощности цеха до 100 тысяч тонн физического веса» (№ гос. регистрации 20052923, 2005–2006 гг.).

**Цель и задачи исследования.** *Целью исследований* является разработка научных основ и создание новых ресурсосберегающих технологий получения серосодержащих, бесхлорных, жидких и суспендированных комплексных удобрений на основе многокомпонентных водно-солевых систем.

Основные научные и прикладные *задачи исследований*, решение которых обеспечивает достижение поставленной цели:

1. Установить химизм процессов, протекающих в незагустеваяющих суспензиях в присутствии карбамида при серно- и фосфорнокислотном разложении фосфатного сырья, состав и свойства продуктов химических превращений, обосновать оптимальный режим и разработать новые ресурсосберегающие технологии получения комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений с заданным соотношением питательных компонентов.

2. Изучить конверсионные процессы в многокомпонентных взаимных водно-солевых системах:  $\text{K}^+, \text{NH}_4^+ // \text{NO}_3^-, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}^+, \text{NH}_4^+ // \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+ // \text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ ; установить основные закономерности и оптимальный режим технологических стадий (конверсии, кристаллизации, отмывки) получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений с регулируемым химическим и дисперсным составом на основе технических продуктов – упаренной экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), аммофоса, аммонийной селитры, жидких азотных удобрений КАС; исследовать процессы получения жидких и суспендированных комплексных удобрений (ЖКУ и СЖКУ) на основе побочных продуктов, изучить их физико-химические свойства; разработать безотходные технологические схемы получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений – калийаммонийфосфата и нитрата калия.

3. Исследовать процессы нейтрализации разбавленных растворов в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  в неравновесных условиях, образования и старения осадков и разработать технологию комбинированной стадийной очистки сточных вод производств фосфорных удобрений, обеспечивающую достижение минимального содержания в них фтора и фосфора, позволяющую направленно регулировать состав и свойства образующихся осадков и получать обогащенные фторфосфатные шламы с их последующей переработкой в качестве вторичного фосфатного сырья.

4. Провести опытно-промышленную проверку и промышленное освоение разработанных ресурсосберегающих технологий комплексных удобрений, в том числе серосодержащих, а также бесхлорных водорастворимых удобрений; определить агрохимическую эффективность и технико-экономические показатели их производства.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являлись технологии серосодержащих, бесхлорных, жидких и суспендированных комплексных удобрений на основе процессов, протекающих в многокомпонентных водно-солевых системах. Предметом исследования – химико-технологические процессы, включающие взаимодействие во взаимных многокомпонентных водно-солевых системах:  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+ // \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+ // \text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+ // \text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ ; карбамидсодержащих системах на основе фосфорнокислых суспензий; системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  в области разбавленных растворов, а также процессы, лежащие в основе разрабатываемых технологий: кислотного разложения, конверсии, стадийной нейтрализации, осаждения и кристаллизации, гранулирования и сушки продуктов, кондиционирования и переработки фторфосфатных шламов.

Выбор объекта и предмета исследований определен исходя из цели диссертационной работы, а также методологии исследований, в основу которой положена концепция комплексного подхода к рассмотрению производства удобрений как единой химико-технологической системы (ХТС). Комплексный

подход предполагает разделение системы на ряд подсистем, выделение основных научных и технических проблем по каждой подсистеме и формулирование исходя из этого задач исследований. Такой подход соответствует общему принципу оптимизации ХТС, предполагающему её декомпозицию с последующим анализом, синтезом единой структуры ХТС и определением оптимальных условий ее функционирования.

**Положения, выносимые на защиту.** Результаты комплексного исследования химико-технологических процессов в многокомпонентных водно-солевых системах  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+//H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$ ; карбамидсодержащих системах на основе фосфорнокислых суспензий; системе  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  в области разбавленных растворов в широком интервале концентраций, значений pH, температур, включающие:

- Теоретическое и экспериментальное обоснование роли карбамида в процессах обменного взаимодействия при серно- и фосфорнокислотном разложении фосфатного сырья в загустевающих суспензиях, химизм, фазовый состав и свойства промежуточных и конечных продуктов химического взаимодействия при получении комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений на основе карбамидсодержащих систем.

- Новые научные данные по растворимости в системе  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - H_2O$  в присутствии карбамида и теоретическое обоснование использования растворов жидкого азотного удобрения КАС в качестве исходного азотсодержащего компонента для получения нитрата калия, что обеспечило повышение выхода продукта по калию до 72,2–73,1%.

- Физико-химические основы конверсионных химико-технологических процессов, протекающих во взаимных водно-солевых системах:  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+//H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$  в политермических условиях с участием хлорида калия, растворов нитрата и фосфатов аммония, получаемых из технических продуктов – упаренной ЭФК, аммофоса, аммонийной селитры и жидких азотных удобрений КАС, позволившие обосновать оптимальный технологический режим получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений с минимальным содержанием хлора и нерастворимого осадка.

- Способы направленного регулирования химического и дисперсного составов бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений, структурно-адсорбционных и химико-технологических свойств фторфосфатных шламов, образующихся при выщелачивании аммофоса и аммонизации ЭФК, обеспечивающие получение продуктов с заданным соотношением питательных веществ. Установленные особенности изогидрической кристаллизации нитрата калия и калийаммонийфосфата в политермических условиях.

• Разработанные новые виды серосодержащих, бесхлорных водорастворимых, а также жидких и суспендированных комплексных удобрений. Бесхлорное водорастворимое комплексное удобрение – калийаммонийфосфат содержит 50–55 мас. % фосфора (в пересчете на  $P_2O_5$ ), 1,5–3 мас. % азота, 24–29 мас. % калия (в пересчете на  $K_2O$ ) и по агрохимической эффективности при использовании в тепличных хозяйствах соответствует лучшим зарубежным аналогам. Новые виды жидких комплексных удобрений (КАС-К) марок 26:0:3, 28:0:3, суспендированных комплексных удобрений марок 10:5:15, 12:6:7 на основе отработанных конверсионных растворов характеризуются хорошими физическими свойствами и высокой агрохимической эффективностью при использовании на открытом грунте.

• Результаты исследования золь-гель превращений в области разбавленных растворов в системе  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  в неравновесных условиях, особенностей образования и формирования высокодисперсных осадков в зависимости от условий осаждения и старения, которые явились научной основой разработанного комбинированного способа стадийной очистки сточных вод производств фосфорных удобрений, обеспечивающего снижение остаточного содержания фтора с 20–25 до 0,2–0,5 мг/л, получение обогащенных фторфосфатных шламов с их последующей переработкой в качестве вторичного фосфатного сырья.

• Новые ресурсосберегающие технологии получения серосодержащих и бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений, обеспечивающие значительное сокращение количества образующихся отходов, возврат части отходов в технологический цикл либо полное исключение отходов при организации замкнутых конверсионных циклов.

**Личный вклад соискателя.** Вклад автора диссертационной работы выражается в постановке цели и задач исследований, разработке методологии исследований, их проведении и интерпретации результатов, обобщении и формулировке основных положений и выводов, подготовке в соавторстве и лично публикаций и научных докладов, составлении формул и описании изобретений, разработке и согласовании научно-технической документации. В работе использованы материалы кандидатских диссертаций В.И. Шатило и Д.М. Новика, выполненные при научной консультации диссертанта. Соискатель участвовал в проведении всех промышленных испытаний, освоении новых технологических процессов и видов удобрений, представленных в диссертации.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались на следующих научных съездах, конференциях, симпозиумах: Менделеевских съездах по общей и прикладной химии (XV г. Минск, 1993 г., XVII г. Казань, 2003 г., XVIII г. Москва, 2007 г.); Всесоюзной конференции «Пути использования вторичных ресурсов для производ-



ства строительных материалов» (г. Чимкент, 1986 г.); Всесоюзной конференции «Фосфаты-87» (г. Ташкент, 1987 г.); Всесоюзных научных конференциях по технологии неорганических веществ и минеральных удобрений (XIII г. Горький, 1985 г., XIV г. Львов, 1988 г.); Всесоюзных отраслевых совещаниях «Проблемы рационального использования фосфатного сырья и интенсификации технологических процессов» (г. Черкассы, 1989 г.) и «Перспективы развития производств серной кислоты и фосфорных удобрений до 2000 года» (г. Москва, 1990 г.); Межгосударственной научно-технической конференции «Химия радионуклидов и металл-ионов в природных объектах» (г. Минск, 1992 г.); 3-й Международной выставке и симпозиуме «Белхимия-97» (г. Минск, 1997 г.); Научно-практической конференции по актуальным вопросам химизации сельского хозяйства (г. Ташкент, 2003 г.); Республиканской научно-практической конференции (г. Минск, 2005 г.); XI Международной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии-2006», (г. Самара, 2006 г.); 10-м Международном симпозиуме «Технологии, оборудование и качество: материалы, Экспофорум-2007» (г. Минск, 2007 г.); Международных научно-технических конференциях: «Достижения науки и техники в области ресурсосбережения и экологии» (г. Гомель, 1989 г.), «Проблемы промышленной экологии и комплексной утилизации отходов производства» (г. Витебск, 1995 г.), «Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии» (г. Гродно, 1994 г.), «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе» (г. Минск, 1999 г.), «Ресурс- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов» (г. Минск, 2000 г.), «Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов» (г. Минск, 2001 г.), «Новые технологии в химической промышленности» (г. Минск, 2002 г.), «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (г. Гродно, 2002 г.), «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» (г. Минск, 2003 г.), «Ресурс- и энергосберегающие технологии промышленного производства» (г. Витебск, 2003 г.), «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления» (г. Минск, 2004 г.), «Ресурс- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (г. Минск, 2005 г.), «Техника и технология защиты окружающей среды» (г. Минск, 2006 г.); «Реактив-2007» (г. Минск, 2007 г.); 22-х научно-технических конференциях БГТУ (1986–2007 гг.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации изданы 1 монография, 1 брошюра, опубликованы 36 статей (общим объемом 39,8 авторского листа), 21 материал конференций, 24 тезиса докладов, 9 описаний изобретений к авторским свидетельствам и патентам. Без соавторов опубликовано 7 статей, 2 материала конференций и 2 тезиса докладов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация (329 с.) включает перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, основную часть, изложенную в 8 главах, заключение и библиографический список (29 с.), состоящий из 242 использованных источников и 94 собственных публикаций соискателя. Приложение (165 с.) содержит таблицы и расчеты вспомогательного характера, документы, подтверждающие практическое применение результатов исследований, рекомендации по их использованию. Результаты исследований изложены на 196 с. печатного текста и представлены на 91 иллюстрации (56 с.) и в 96 таблицах (48 с.).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

**В первой главе** (аналитический обзор литературы) представлен анализ состояния научных исследований и основных тенденций развития производств фосфорсодержащих минеральных удобрений. Проанализировано состояние и перспективы их производства в Республике Беларусь. Выполненный анализ сырьевой базы позволил выделить основные негативные тенденции и сделать вывод, что для стран, ориентированных на импорт сырья, особую актуальность приобретает задача внедрения новых ресурсосберегающих технологий, поиска альтернативных источников фосфатного сырья, вовлечение в переработку вторичных видов сырья – промышленных фосфорсодержащих отходов. Анализ тенденций развития производств фосфорных и комплексных удобрений показал значительную активизацию исследований по переработке низкосортных фосфатных руд. Другой устойчивой тенденцией является увеличение доли комплексных удобрений, производимых на основе суперфосфатов с использованием карбамида. Однако получение этих удобрений является сложной задачей, требующей решения ряда научных проблем. Анализ существующих схем получения фосфорных и комплексных удобрений на основе серноокислотной переработки фосфатного сырья показал, что лежащие в их основе химико-технологические процессы имеют ряд недостатков и сопряжены с образованием большого количества отходов, с которыми теряется значительная часть фосфора, большинство предлагаемых решений направлено на дифференцированное решение частных задач утилизации какого-либо отхода в отрыве от процессов, приводящих к их образованию. Систематизированы и обобщены результаты исследований перспективных технологий бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений, производство которых в Республике Беларусь отсутствует. Наиболее предпочтительными в условиях республики являются конверсионные методы, однако известные методы характеризуются многостадийностью, энергоемкостью, сопряжены с образованием трудноутилизируемых побочных продуктов.

Выполненный аналитический обзор позволил выявить основные научные и технические проблемы, обосновать общую концепцию работы, сформулировать предмет и задачи диссертационных исследований.

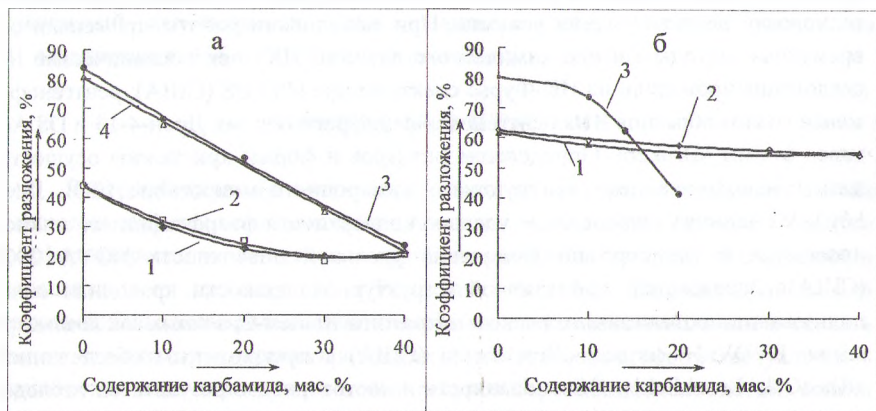
**Во второй главе** представлено описание объектов исследования, используемых при проведении исследований методов и оборудования.

Химический анализ сырья, промежуточных и конечных продуктов, а также изучение их свойств проводили по стандартным методикам, принятым в технологии неорганических веществ. При выполнении работы применяли современные методы физико-химического анализа. ИК спектроскопические исследования проводили на ИК-Фурье спектрометре NEXUS (США), рентгенофазовый анализ образцов – на рентгеновских дифрактометрах Дрон-4-13 и D8 Advance фирмы «Bruker». Определение размеров и формы кристаллов осуществляли с использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610LV (Япония). Определение удельной поверхности фторфосфатных шламов проводили на приборе по измерению удельной поверхности NOVA 2000 (США). Определение эффективной (структурной) вязкости проводили с использованием ротационного вискозиметра типа Reotest-2, а также вискозиметра марки RVDV-2+ фирмы «Brookfield» (США) с программным обеспечением «RheoCalc Brookfield». Обоснованность и достоверность результатов исследований базируется на высокой воспроизводимости экспериментальных данных, не противоречащих фундаментальным научным представлениям, и подтверждается данными промышленных испытаний.

**Третья глава** посвящена рассмотрению закономерностей физико-химических превращений в многокомпонентных карбамидсодержащих системах при получении комплексных серосодержащих NPK и NPKS удобрений кислотными методами. Установлено отрицательное влияние карбамида на процесс серно- и фосфорнокислотного разложения природных фосфатов в незагустевающих суспензиях при его введении совместно с кислотами на начальной стадии (рисунок 1). В процессе сушки фосфорнокислых суспензий имеет место доразложение фосфатного сырья, однако тенденция уменьшения степени его разложения в присутствии карбамида сохраняется, а при содержании карбамида свыше 40 мас. % разложение сырья фактически прекращается.

Введение карбамида существенно влияет на фазовый состав, содержание и распределение различных форм фосфора. На ИК-спектрах образцов, образующихся на стадии разложения и не содержащих карбамида, а также образцов, содержащих 10 мас. %  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , присутствуют полосы, характерные для  $\text{CaSO}_4$ . На ИК-спектрах образцов с более высоким содержанием карбамида, кроме того, присутствуют полосы в области частот колебаний связей N–H, C=O и C–N ( $3500\text{--}3200$  и  $1700\text{--}1400$   $\text{cm}^{-1}$ ), в частности при  $1700$ ,  $1650$  и  $1560$   $\text{cm}^{-1}$ , отличающиеся от полос, характерных для карбамида. Для интерпретации этих

данных были синтезированы модельные соединения карбамида с  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  и записаны их ИК-спектры. Сравнение ИК-спектров этих соединений позволило сделать вывод о присутствии в высушенных суспензиях аддукта сульфата карбамида (3358, 3185, 1700, 1655, 1558, 743  $\text{cm}^{-1}$ ), образование которого является главной причиной существенного уменьшения степени разложения фосфатного сырья серной кислотой в присутствии карбамида.



а – сернокислотное разложение; б – фосфорнокислотное разложение

Расчетные значения коэффициента разложения: 1 – по содержанию  $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{усв}}$  после стадии разложения; 2 – по содержанию неусвояемой  $\text{P}_2\text{O}_5$  после стадий разложения; 3 – по содержанию  $\text{P}_2\text{O}_5_{\text{усв}}$  после стадии сушки; 4 – по содержанию неусвояемой  $\text{P}_2\text{O}_5$  после стадии сушки

**Рисунок 1 – Влияние карбамида на процесс кислотного разложения природных фосфатов**

Представлены новые научные данные о реологических свойствах суспензий, образующихся на различных технологических стадиях получения комплексных удобрений, в зависимости от температуры, продолжительности смешения и условий введения азот- и калийсодержащих компонентов в технологический процесс. Минимальной вязкостью, не превышающей 15–18 мПа·с, обладают суспензии, не содержащие в составе хлорида калия, а характер зависимости изменения вязкости от скорости вращения шпинделя позволяет отнести их к ньютоновским жидкостям. Для всех других суспензий имеет место уменьшение вязкости с увеличением скорости вращения, что позволяет классифицировать их как псевдопластичные неньютоновские жидкости. Введение хлорида калия вызывает значительное ухудшение реологических свойств суспензий, особенно в присутствии в системе аммонийных солей, что обусловлено протеканием процессов конверсии с образованием сингенита, гоергеита, характеризующихся невысокой растворимостью. Введение в состав суспензий амидных

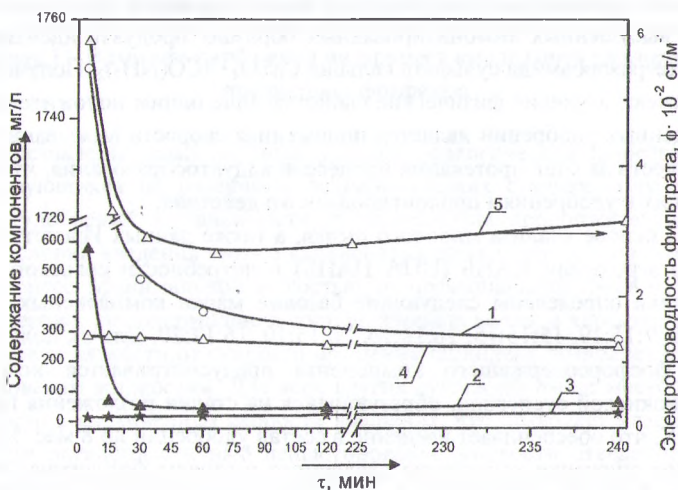
форм азота улучшает реологические свойства суспензий независимо от места введения, однако оптимальным является введение карбамида в суспензию после стадии разложения, так как обеспечивает снижение ее вязкости и тем самым позволяет уменьшить количество вводимой в систему жидкой фазы и расход теплоносителя на последующей стадии сушки. Анализ кинетических кривых изменения вязкости суспензий позволяет отнести их к реопексным суспензиям. В зависимости от состава, условий введения азот- и калийсодержащих реагентов значения вязкости изменяются в широких пределах, однако для всех марок удобрений при температурах свыше 50°C суспензия оставалась текучей.

Представлены результаты рентгенофазовых исследований образцов, образующихся на различных технологических стадиях, позволившие определить фазовый состав промежуточных и конечных продуктов и установить химизм взаимодействия, который существенно отличается от известного химизма получения комплексных удобрений на основе суперфосфатов и карбоаммофосфатов, что обусловлено протеканием процессов обменного взаимодействия сульфата, дигидрофосфата аммония и хлорида калия с участием сульфата кальция при введении хлорида калия в частично или полностью нейтрализованную незагустевшую суспензию с образованием различных по составу, структуре и свойствам серосодержащих соединений – сингенита  $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$ , гоергеита  $K_2Ca_5(SO_4)_6 \cdot H_2O$ , двойных дигидрофосфатов и сульфатов калия-аммония, дигидрофосфата калия. Введение карбамида способствует ускорению конверсии за счет связывания образующегося хлорида аммония. При введении карбамида в высушенных аммонизированных образцах продукта идентифицирован аддукт тетракарбамида сульфата кальция  $CaSO_4 \cdot 4CO(NH_2)_2$ . Полученные удобрения имеют хорошие физические свойства. Еще одним положительным свойством данных удобрений является пониженная скорость вымывания питательных веществ за счет протекания процессов аддуктообразования, что позволяет отнести их к удобрениям пролонгированного действия.

На основе анализа мирового рынка, а также данных Института почвоведения и агрохимии НАНБ (ИПА НАНБ) о потребности сельского хозяйства республики определены следующие базовые марки комплексных удобрений: 10:15:15, 7:15:19, 15:15:15, 16:16:16, 20:15:10, 16:12:20. Для их получения в качестве фосфорсодержащего компонента предусматривается использование фосфорноокислой суспензии, образующейся на стадии разложения при получении ЭФК, что обеспечивает введение в состав удобрений до 8 мас. % серы, значительное снижение количества удаляемого в отвалы фосфогипса за счет исключения его промежуточного отделения. Полученные результаты явились теоретической основой разработки новой ресурсосберегающей технологии комплексных NPS и NPKS удобрений.

**В четвертой главе** представлено научное обоснование комбинированной

стадийной очистки сточных вод производств фосфорсодержащих удобрений с получением обогащенных фторфосфатных шламов. Как показал анализ существующих ХТС получения фосфорных и комплексных удобрений, значительная часть фосфора (в среднем от 2 до 4 тыс. т в пересчете на  $P_2O_5$  для одного предприятия) теряется со сточными водами и шламами, образующимися при их очистке. Поэтому одним из направлений повышения эффективности использования фосфатного сырья является увеличение степени очистки сточных вод с последующей переработкой образующихся шламов в качестве вторичного фосфатного сырья. Приведенный анализ организации и состояния водопользования ряда предприятий отрасли показал, что формирование схем водоборотных циклов и технологический режим промежуточной очистки реализуются на многих из них без учета особенностей качественно-количественного состава стоков, а также закономерностей процесса нейтрализации. На основании исследований физико-химических особенностей процесса нейтрализации в системе  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  в области разбавленных растворов в неравновесных условиях показано, что взаимное влияние процессов взаимодействия диссоциированных в растворе ионов  $H^+$  при введении ионов  $OH^-$  и гидролиза образующихся фосфатов кальция до более основных соединений обуславливает сложный характер изменения величины pH, содержания ионогенных примесей и химико-технологических свойств образующихся осадков во времени и в зависимости от условий ведения процесса (рисунок 2).



1 —  $SiO_2$ ; 2 —  $P_2O_5$ ; 3 —  $F^-$ ; 4 —  $SiO_2$  в фильтрате через 10 часов; введено стехиометрическое количество  $CaO$ , рассчитанное по реакциям до  $CaF_2$  и  $Ca_3(PO_4)_2$ ; температура —  $23^\circ C$

**Рисунок 2 — Зависимость состава жидкой фазы от продолжительности ( $\tau$ ) процесса нейтрализации**

Доказано, что значительные различия в оценке характера протекающих в системе процессов отдельными исследователями, обусловлены игнорированием влияния внешних параметров – продолжительности и температуры процесса на изменение основного внутреннего параметра системы – рН нейтрализации.

Установлены особенности формирования и старения осадков в исследуемой системе в области разбавленных растворов, влияние процесса старения на основные химико-технологические свойства осадков, позволившие сформулировать способы направленного регулирования состава и свойств образующихся осадков. Показано, что между осадком и жидкой фазой идет вторичное химическое взаимодействие, отличное от реакции первичного образования осадка, протекающего с большой скоростью. Процесс хеомстарения осадка осложняется протеканием процесса старения жидкой фазы, обусловленного полимеризацией монокремниевой кислоты (кривая 4, рисунок 2). Поскольку содержание  $\text{SiO}_2$  в системе мало и образующийся при полимеризации разбавленный золь не в состоянии сформировать пространственную сетку по всему объему, при агрегации происходит выпадение кремнегеля в виде хлопьевидного осадка, существенно ухудшающего химико-технологические свойства.

Результаты исследования влияния условий осаждения, состава ионогенных примесей и осадителя на выделение фтора и фосфора в твердую фазу позволили установить, что в интервале значений рН 5,0–5,7 до 99% фтора и 93% фосфора переходят в осадок, промежуточное выделение которого обеспечивает получение обогащенного фторфосфатного шлама, содержащего до 28 мас. %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Образующийся осадок имеет хорошие химико-технологические свойства. Промежуточное удаление основного количества фтора и фосфора на первой стадии позволяет снизить остаточное содержание фосфора с 25 до 7–12 мг/л (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), фтора с 20 до 6–11 мг/л. Введение дополнительной стадии карбонизации щелочной суспензии после второй стадии нейтрализации при поддержании оптимального режима нейтрализации обеспечивает снижение остаточного содержания фтора до 0,20–0,24 мг/л (таблица 1).

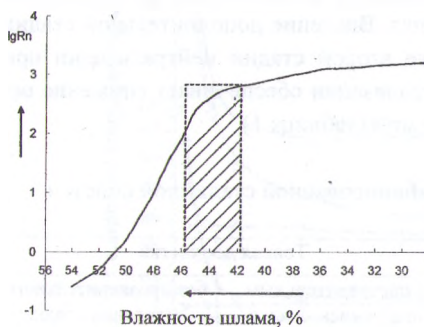
Таблица 1 – Результаты исследования комбинированной стадийной очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод

Основная очистка				Тонкая доочистка			
1 стадия		2 стадия		с предварительным отделением осадка		без предварительного отделения осадка	
рН	содержание фтора, мг/л	рН	содержание фтора, мг/л	рН карбонизации	содержание фтора, мг/л	рН карбонизации	содержание фтора, мг/л
5,8	13,41	10,55	2,08	7,0	0,42	7,0	0,20
5,5	16,50	9,80	4,15	7,0	0,50	7,0	0,24

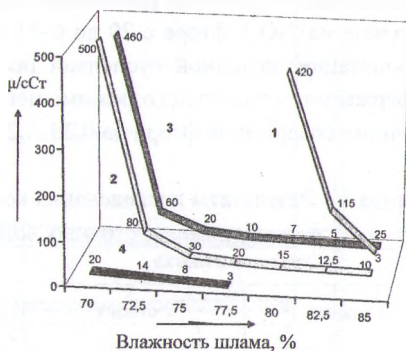
Доказано, что в присутствии в исследуемой системе ионов аммония минимум растворимости соединений фтора смещается в область более высоких значений pH, поэтому увеличение величины pH на первой стадии нейтрализации до 10,5–12,0 обеспечивает достижение высокой степени очистки от фтора в случае присутствия в сточных водах ионов аммония.

**В пятой главе** представлены результаты исследований состава, реологических, структурно-механических, химико-технологических свойств фторфосфатных шламов очистки сточных вод, способов их переработки в качестве вторичного фосфатного сырья для получения фосфорсодержащих продуктов.

В зависимости от условий образования шламы представляют собой дисперсные системы как с коагуляционной, так и с конденсационно-кристаллизационной структурой. По мере изменения содержания жидкой фазы свойства шламов непрерывно изменяются, причем особенно резкие изменения происходят при переходе от коагуляционной к конденсационно-кристаллизационной структуре. С использованием метода пенетрационных испытаний определены граничные условия этого перехода. Кривая изменения удельного сопротивления  $R_n$  (кг/см<sup>2</sup>) имеет резкий излом в интервале влажности 42–46%, соответствующий образованию конденсационно-кристаллизационной структуры (рисунок 3). Подсушенный до указанной влажности шлам обладает определенной прочностью (гуковская область деформаций), но при воздействии даже небольшой нагрузки разрушается (область текучести практически отсутствует). Приведены данные структурно-механических, химико-технологических и реологических свойств естественновысушенных шламов в интервале влажности от 1 до 42%, а также шламов интервале влажности от 65 до 85% (рисунок 4).



**Рисунок 3 – Зависимость удельного сопротивления пенетрации (в полулогарифмических координатах) от влажности шлама**



1 – шлам Алмалыкского завода, температура 20°C; 2 – шлам ООО «БМУ», температура 20°C; 3 – шлам ООО «БМУ», температура 40°C; 4 – обогащенный шлам ОАО «ГХЗ», температура 20°C

**Рисунок 4 – Зависимость кинематической вязкости шламов от влажности**



Характер изменения вязкости шламов различных предприятий существенно отличается, что, как показано в диссертации, обусловлено особенностями составов фосфатного сырья, сточных вод и принятых схем очистки (рисунок 4).

В интервале значений pH 4,5–5,5 кривая вязкости имеет минимум, поэтому обогащенные фторфосфатные шламы, образующиеся по двухстадийной схеме, характеризуются наименьшей вязкостью. При определении структурно-механических свойств порошкообразных образцов шламов использованы методы прямого определения, качественной оценки, оценки технологических характеристик. Причем такие характеристики, как текучесть, оценивались несколькими различными методами, включая комплексный метод Карра. Полученные данные позволили определить оптимальный способ введения шламов в технологический процесс, необходимое для их транспортировки оборудование.

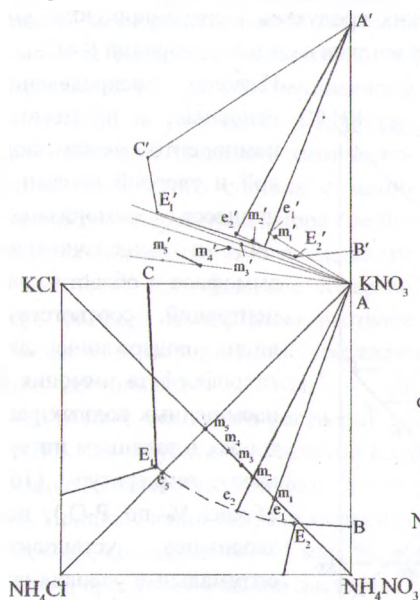
В результате исследований процесса сернокислотного разложения шламов получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных технологических параметров на степень разложения и удаления фтора в газовую фазу. Оптимизация уравнений регрессии позволила определить технологический режим, при котором степень разложения составила 99,3%, степень удаления фтора в газовую фазу – 67,8%. Введение шламов, предварительно обработанных серной кислотой в оптимальных условиях, в производство фосфорсодержащих удобрений в качестве вторичного фосфатного сырья обеспечивает улучшение основных технологических показателей: снижение сроков созревания с 12 до 6–8 суток (для камерного метода), возрастание общей степени разложения сырья до 96–99%, снижение нормы расхода кислоты. Введение шламов в технологический процесс получения ЭФК полугидратным и полугидратно-дигидратным методами наряду с повышением степени разложения, производительности фильтрации и эффективности отмывки позволяет снизить количество образующегося в процессе хранения и упарки вторичного осадка в 3,5–9,0 раз, что обеспечивает значительное уменьшение «инкрустации оборудования». Предложен новый способ переработки обогащенных шламов, основанный на селективной экстракции фосфора растворами сернокислого аммония. Его преимуществом является исключение использования концентрированных минеральных кислот, отсутствие необходимости использования кондиционного фосфатного сырья, получение комплексного NPKS удобрения с хорошими физическими свойствами. Результаты промышленных испытаний способа на ОАО «ГХЗ» показали, что при обработке шламов растворами сернокислого аммония в оптимальном режиме степень извлечения фосфора в жидкую фазу достигает 91,6–93,5%, до 98% фтора остается в шламе, полученное удобрение содержит до 49 мас. % питательных веществ (с учетом серы).

**Шестая глава** посвящена разработке теоретических основ новых безотходных конверсионных технологий комплексных бесхлорных водораствори-

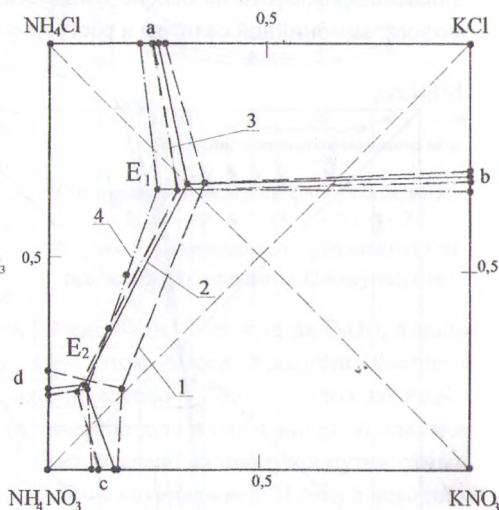
мых удобрений на основе исследования химико-технологических процессов в многокомпонентных взаимных водно-солевых системах. Представлены результаты сравнительного анализа известных вариантов конверсионных процессов с использованием графоаналитического метода исследования диаграмм растворимости в системе  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - H_2O$ . Показано, что наиболее целесообразным является осуществление конверсионного процесса в одну стадию с переработкой маточных растворов на ЖКУ, что позволяет исключить энергоемкие стадии выпарки и кристаллизации побочных продуктов. Сведения о возможности реализации такого варианта конверсионного процесса в литературе отсутствуют. Несмотря на исключение стадии упарки, основной задачей оптимизации процесса по предлагаемому варианту явилось определение условий, обеспечивающих минимизацию объема жидкой фазы в системе, при минимальном содержании хлора в целевом продукте. Установлено, что минимальное содержание хлора в продукте достигается при содержании  $NH_4NO_3$  в исходном растворе, равном 50 мас. %. В процессе конверсии исходные компоненты реагируют в эквимольном соотношении. Однако, как следует из расчета материальных балансов, а также анализа водной проекции диаграммы, при введении стехиометрического количества твердого  $KCl$  в 50%-ный раствор  $NH_4NO_3$  коннода кристаллизации  $Am_5'$  на вертикальной проекции не попадает в поле кристаллизации нитрата калия  $A'S'E_1'E_2'B'$  (рисунок 5). Количество жидкой фазы в системе является недостаточным, в результате чего в процессе кристаллизации в твердую фазу будут переходить две соли –  $KNO_3$  и  $NH_4Cl$ , а содержание хлора в продукте резко возрастет. Только для фигуративной точки  $m_2$ , соответствующей 50%-ной норме вводимого  $KCl$ , точка  $m_2'$  на вертикальной проекции диаграммы оказывается в поле насыщения по нитрату калия. Введение дополнительного количества воды, необходимого для попадания в поле кристаллизации нитрата калия, приведет к снижению выхода продукта и общего содержания питательных элементов в нем.

Для создания безотходной технологии предусмотрено дополнительное введение в состав получаемого на основе маточных растворов ЖКУ карбамида, однако имеющиеся в литературе сведения не позволяют спрогнозировать влияние карбамида на технологические показатели процесса. Получены новые научные данные о влиянии карбамида на растворимость в системе  $K^+, NH_4^+//NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ . Определены составы насыщенных растворов и соответствующей им твердой фазы в тройных и двойных эвтонических точках, а также на линии, соединяющей точки тройных эвтоник при фиксированных концентрациях карбамида (изоконцентрах карбамида). С использованием рентгенофазового и ИК-спектрального анализов установлен состав твердых фаз, соответствующих насыщенным растворам в двойных и тройных эвтониках. В твердой фазе, соответствующей эвтонической точке  $E_1$  для всех изоконцентрат кар-

бамида, и эвтонической точке  $E_2$  при содержании карбамида свыше 27 мас. %, присутствует  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$ . Образование аддукта объясняет установленный факт резкого увеличения содержания хлора в продукте при содержании карбамида выше 25 мас. %. На диаграмме растворимости, построенной по экспериментальным данным (рисунок 6), наглядно видно увеличение площади поля кристаллизации нитрата калия по мере повышения содержания карбамида, что позволило спрогнозировать повышение выхода целевого продукта и явилось теоретической основой для разработки конверсионного технологического процесса получения нитрата калия с использованием в качестве исходного нитрат-содержащего компонента жидкого азотного удобрения КАС.



**Рисунок 5 – Изотерма растворимости в системе  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+//\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$  (горизонтальная и вертикальная проекции) при  $60^\circ\text{C}$**



Содержание карбамида (мас. %):  
 1 – без карбамида; 2 – 9,2; 3 – 16,0; 4 – 27,0  
**Рисунок 6 – Изотерма растворимости в системе  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+//\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$  в присутствии карбамида при  $20^\circ\text{C}$**

Для установления возможности получения бесхлорных водорастворимых NPK удобрений выполнен графоаналитический анализ процесса конверсии с использованием диаграмм растворимости в системе  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+//\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ , позволивший теоретически обосновать возможность получения бесхлорных водорастворимых комплексных NPK удобрений заданного состава и оптимальный технологический режим процесса. Схема графических построений приведена на рисунке 7. Точки  $n'$  и  $m'$  отвечают составам кристаллизующихся продуктов, образующихся при конверсии 16 и 20%-ных (по  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) растворов фосфа-

тов аммония при стехиометрическом количестве хлорида калия и представляющих твердые растворы дигидрофосфата калия и аммония. Анализ результатов позволил сделать следующие выводы: с увеличением содержания фосфата аммония в исходном растворе при равном мольном соотношении  $K^+ : NH_4^+$  кристаллизующиеся твердые растворы обогащаются по дигидрофосфату аммония; количество вводимой в систему воды должно быть достаточным для предотвращения перехода хлорсодержащих солей в твердую фазу при кристаллизации.

В седьмой главе представлены результаты исследования закономерностей и отработки оптимального режима конверсионных процессов получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений – нитрата калия и калийаммонийфосфата на основе технических продуктов – упаренной ЭФК, аммофоса, аммонийной селитры и растворов жидких азотных удобрений КАС.

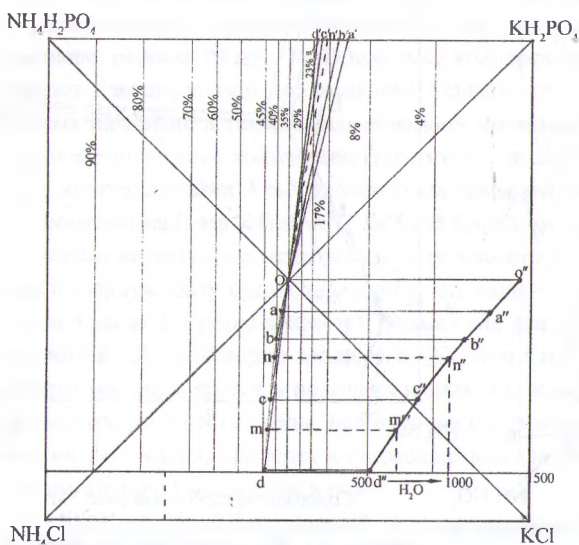


Рисунок 7 – Схема графоаналитических расчетов в системе  $NH_4^+, K^+ / NH_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$

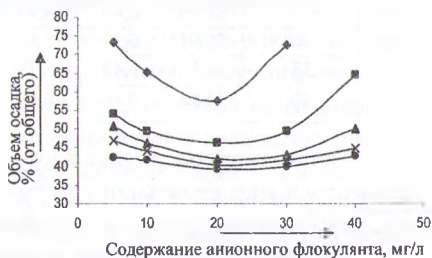
Изучено распределение основных и примесных компонентов между жидкой и твердой фазами в процессе аммонизации ЭФК и выщелачивания аммофоса в области концентраций, соответствующих содержанию дигидрофосфата аммония в насыщенных водных растворах в заданном интервале температур (16–25 мас. % по  $P_2O_5$ ), позволившее установить оптимальные условия получения растворов фосфатов аммония с минимальным содержанием примесей, пригодных для последующего производ-

ства калийаммонийфосфата. Лимитирующей стадией получения растворов фосфатов аммония является сгущение и фильтрация аммонизированной суспензии, что обусловлено присутствием сложных комплексов металламмонийфосфатов и фосфат-фторидов железа и алюминия, образующих гелеобразный осадок. Так, удельная поверхность осадка, образующегося при выщелачивании аммофоса, составляет  $63,25 \text{ м}^2/\text{г}$ , а при аммонизации ЭФК –  $157,38 \text{ м}^2/\text{г}$ . Использование известных методов интенсификации процесса разделения суспензий не оказывает

заметного влияния. Установлено, что достижение максимального флокулирующего эффекта, обеспечивающего очистку системы от дисперсных частиц при достаточной большой протяженности области дестабилизации и приводящего к увеличению скорости осветления суспензии в 5–10 раз, снижению объема отстоя осадка в 2,5–3 раза и возрастанию коэффициента фильтрации в 2,5 раза, достигается при введении в систему оптимальных норм и соотношения анионного и катионного флокулянтов марки «Praestol» (рисунок 8).

Исследование влияния отдельных технологических параметров на процесс конверсии между хлоридом калия, растворами фосфата и нитрата аммония позволило установить оптимальный режим, обеспечивающий получение нитрата калия и калийаммонийфосфата заданного химического и дисперсного состава с минимальным содержанием хлора (не более 1%) и нерастворимого осадка (не более 0,1%). Оптимальное содержание фосфора в исходном растворе фосфатов аммония должно составлять 20 мас. % (в пересчете на  $P_2O_5$ ), а мольное соотношение  $K^+ : NH_4^+$  – 1,0. При этом масса продукта достигает 35,3 г/(100 г исходного раствора), выход по калию – 52,6%, выход по  $P_2O_5$  – 85,5%. По результатам расчетов все количество хлора содержится во влажном осадке в составе жидкой фазы и может быть удалено из продукта путем отмывки. При получении нитрата калия оптимальное содержание  $NH_4NO_3$  в исходном растворе составляет 50–55 мас. %, норма KCl – 50–55% от стехиометрической. Выход продукта по калию достигает 52,8%. Дальнейшее увеличение нормы KCl и содержания  $NH_4NO_3$  приводит к интенсивной кристаллизации  $NH_4Cl$ . Подтверждены теоретические выводы, сделанные при изучении диаграмм растворимости  $K^+$ ,  $NH_4^+ // NO_3^-$ ,  $Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$  о положительном влиянии карбамида на процесс конверсии за счет увеличения площади поля кристаллизации нитрата калия. Введение карбамида в исходный раствор на стадии конверсии, а также использование в качестве исходного нитратсодержащего компонента жидкого азотного удобрения КАС обеспечивает увеличение как общего количества продукта, так и выхода продукта по калию до 72,0–73,1%.

Дополнительное введение стадии промывки наряду со значительным снижением содержания хлора и возрастанием суммарного содержания питательных компонентов позволяет регулировать химический состав продукта за счет использования различных видов промывной жидкости (таблица 2).



Содержание катионного флокулянта, мг/л:  
 ◆ – 5; ■ – 10; ▲ – 15; × – 20; ● – 25

**Рисунок 8 – Зависимость объема отстоя осадка от содержания флокулянтов**

Таблица 2 – Состав осадков калийаммонийфосфата до и после их промывки

Масса промывной жидкости, % (от массы осадка)		Содержание компонентов (на сухое вещество), мас.%				Потеря массы, %	Соотношение $K^+ : NH_4^+$	Степень отмывки от хлора, %
вода	раствор фосфата аммония (16% $P_2O_5$ )	$P_2O_5$	$Cl^-$	$NH_4^+$	$K^+$			
0		48,0	4,50	5,60	19,60	–	1,61	–
33	–	51,99	0,40	4,46	20,13	14,7	2,07	91,2
50	–	51,95	0,34	4,39	20,50	25,2	2,15	92,5
–	33	54,15	0,40	5,77	18,10	2,3	1,44	91,2
–	50	54,88	0,20	6,49	16,45	2,4	1,17	95,6

Остаточное содержание хлора в осадке нитрата калия в зависимости от количества и вида промывного раствора (раствор аммонийной селитры, раствор КАС, вода) снизилось с 3,9 до 0,12–0,64%.

Исследованы особенности процесса изогидрической кристаллизации нитрата калия и калийаммонийфосфата в политермических условиях. При массовой кристаллизации полученный нитрат калия представляет собой прочные сростки сильно развитых вдоль единичной оси призматических кристаллов ромбической сингонии, обладающих упорядоченностью расположения вдоль вертикальной единичной оси (рисунок 9). Вид кристаллов характеризуется некоторым искажением их граней, наличием на гранях больших и малых «боковых» наростов, взаимно ориентированных в основном направлении роста кристаллов. Наличие в составе исходного раствора КАС карбамида существенно влияет на форму и размер кристаллов (рисунок 10). Сильное высаливающее действие карбамида по отношению к нитрату калия приводит к быстрому пересыщению системы с последующей массовой кристаллизацией и образованием дендритных форм кристаллов.



Рисунок 9 – Микрофотография кристаллов нитрата калия, полученных конверсией раствора нитрата аммония

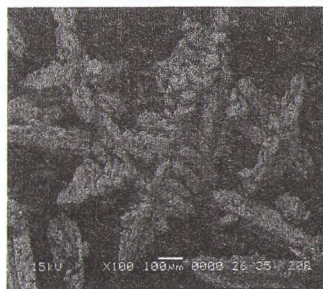


Рисунок 10 – Микрофотография кристаллов нитрата калия, полученных конверсией раствора КАС

Структура граней оказывается несовершенной, они покрыты мелкими кристаллами, имеющими иную ориентацию, чем грани, на которых они растут.

Калийаммонийфосфат кристаллизуется из раствора в виде прочных снопообразных сростков кристаллов – призматических игл, шириной от 3 до 28 мкм, взаимно ориентированных в основном направлении роста кристалла, которые могут быть отнесены к приближенно-закономерным сросткам. Установленные особенности и оптимальные условия стадии кристаллизации и отмывки обеспечили решение задачи повышения качества бесхлорных водорастворимых удобрений и возможность направленного регулирования химического и дисперсного состава продуктов с учетом требований потребителей.

Отработанные маточные растворы представляют собой насыщенные растворы соответствующих солей и содержат значительное количество питательных элементов. Для создания безотходных конверсионных технологических циклов предложена их переработка с получением ЖКУ и СЖКУ. Разработаны оптимальные составы ЖКУ марок 26:0:3, 28:0:3, СЖКУ марок 10:5:15, 12:6:7 и технологии их получения. По основным физико-химическим свойствам СЖКУ и ЖКУ соответствуют выпускаемым промышленностью маркам жидких удобрений (таблица 3). Температура кристаллизации ЖКУ составляет от –3 до –7°С. Результаты исследования коррозионной активности разработанных ЖКУ и СЖКУ показали возможность использования для их хранения стандартного оборудования без дополнительной антикоррозионной защиты (балл стойкости стали Ст.3 в исследуемых растворах – 6). В случае длительного хранения предусматривается введение в состав удобрений ингибиторов коррозии (глубинный показатель коррозии для стали Ст.3 составляет 0,2–0,6 мм/г).

Таблица 3 – Свойства СЖКУ марки 10:5:15

Содержание бентонитовой глины, мас. %	Тонина помола стандартных удобрений, мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, мПа · с	рН	Объем суспензионного слоя, % (от общего)		
					через сутки	через неделю	через месяц
0	–0,160	1,268	7,68	3,70	56,9	53,1	53,1
	–0,315	1,269	не измеряли	3,65	50,0	47,0	47,0
1	<b>–0,160</b>	<b>1,309</b>	<b>13,50</b>	<b>4,40</b>	<b>80,0</b>	<b>73,0</b>	<b>73,0</b>
	–0,315	1,314	не измеряли	4,35	75,0	72,0	72,0
2	–0,160	1,321	216,00	4,70	80,0	80,0	80,0

Разработанные новые виды ЖКУ и СЖКУ прошли экспертизу в Республиканском центре гигиены и эпидемиологии и зарегистрированы в реестре государственной регистрации Госстандарта Республики Беларусь.

Полученные результаты явились основой разработки безотходных техно-

логий получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений – нитрата калия и НРК удобрений на основе калийаммонийфосфата.

Представлены результаты двухлетних агрохимических испытаний разработанных бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений в системах капельного полива закрытых теплиц Института овощеводства НАНБ, показавшие, что их эффективность по исследуемым культурам (томат и огурец) находится на уровне, а на некоторых питательных грунтах превосходит эффективность импортных удобрений (таблица 4). Биохимический состав плодов практически не изменился. Подача растворов не оказала отрицательного влияния на работу оборудования системы капельного полива.

Результаты агрохимических испытаний новых видов удобрений на основе конверсионных растворов в полевых условиях, проведенных ИПА НАНБ, показали, что эффективность ЖКУ марки 26:0:3 и СЖКУ марок 10:5:15, 12:6:7 при возделывании яровой пшеницы сорта Контес и ярового ячменя сорта Дзівосны равноценна стандартным удобрениям. В опытах с картофелем на дерново-подзолистой супесчаной почве прибавка урожая по сравнению со стандартом достигала 45 ц/га (таблица 5).

Таблица 4 – Урожайность томата в зависимости от состава субстрата и видов удобрений

Вариант	Импортные удобрения			Разработанные удобрения		
	урожайность, кг/м <sup>2</sup>	прибавка		урожайность, кг/м <sup>2</sup>	прибавка	
		кг/м <sup>2</sup>	%		кг/м <sup>2</sup>	%
Верховой торф, 100%	11,6	–	–	11,4	–	–
Верховой торф, 80% + костра льна, 20%	12,8	1,2	10	12,9	1,5	13
Верховой торф, 80% + лужга гречихи, 20%	12,6	1,0	9	12,5	1,1	10
Верховой торф, 80% + керамзит, 20%	12,3	0,7	6	12,1	1,2	11
Верховой торф, 80% + перлит, 20%	12,4	0,8	7	12,2	1,0	9

Таблица 5 – Влияние ЖКУ и СЖКУ на основе отработанных конверсионных растворов на урожайность клубней картофеля

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	
		фон	стандарт
Без удобрений	240	–	–
Навоз КРС, 50 т/га – фон	250	–	–
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> (стандарт)	260	10	–
<b>Фон + P<sub>30</sub>K<sub>90</sub> + N<sub>60</sub> (26:0:3) до посева</b>	<b>299</b>	<b>49</b>	<b>23</b>
<b>N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>90</sub> (10:5:15)</b>	<b>298</b>	<b>48</b>	<b>38</b>
<b>N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>90</sub> (12:6:7 + K<sub>55</sub>)</b>	<b>305</b>	<b>55</b>	<b>45</b>



**В восьмой главе** рассмотрены технологические схемы, разработанные на основе выполненного комплекса научных исследований, приведена их технико-экономическая оценка и результаты промышленного освоения.

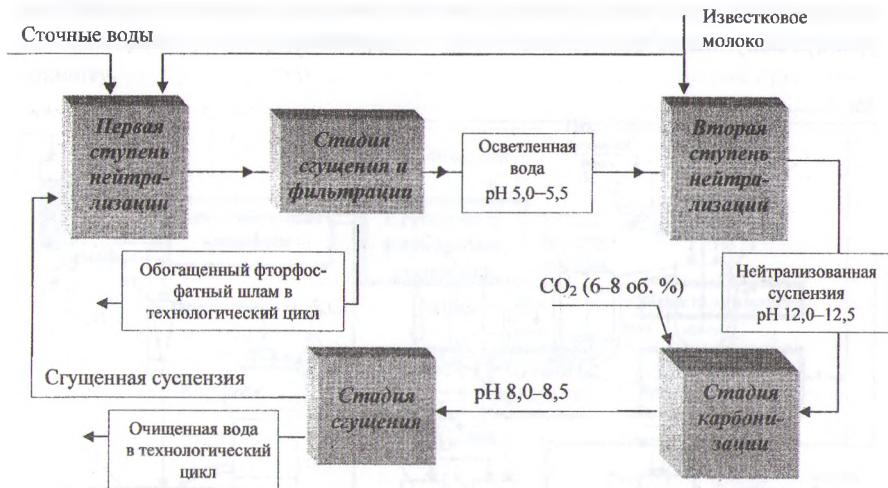
*Гибкая ресурсосберегающая технология новых видов комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений на основе карбамидсодержащих систем.* На основании исследований, представленных в 3-й главе, разработан ряд новых ресурсосберегающих технологий комплексных удобрений на основе карбамидсодержащих систем, которые внедрены либо приняты к внедрению. Объем продаж полученных удобрений на экспорт за 4 года составил 68 626 т, объем реализации – 16 млн. 116 тыс. долл. США, годовой экономический эффект – 608 тыс. 950 долл. США. Перечень разработанных технологий представлен в подразделе «Рекомендации по практическому использованию результатов», технологические схемы и их описание приведены в составе разработанной проектной документации. В рамках диссертационной работы приведены описание и технологическая схема получения комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений, основанная на использовании в качестве основного фосфорсодержащего компонента фосфорнокислой суспензии, образующейся на стадии разложения в производстве экстракционной фосфорной кислоты. Технологический процесс является гибким, конкретная марка и состав выпускаемых удобрений может изменяться по заявке потребителя путем изменения соотношения отдельных ингредиентов. Возможность введения части фосфора в составе фосфоритов соответствует стратегии расширения сырьевой базы. Экономический эффект обусловлен более низкой себестоимостью действующего вещества в составе комплексных удобрений, наличием в республике производственных мощностей хлорида калия и карбамида. Агрохимический эффект обусловлен их более высокими потребительскими и физическими свойствами. Они содержат дополнительно до 8% серы и являются удобрениями пролонгированного действия. Экологический эффект определяется значительным снижением объемов образующегося фосфогипса за счет исключения стадии фильтрации и промежуточного выделения фосфогипса, что позволяет классифицировать технологию как малоотходную. Согласно протоколу «Общественных слушаний по перспективам развития ОАО «ГХЗ» на 2006–2010 гг. и концепции до 2014 г.», состоявшихся на заводе 27. 01. 2007 г. с участием республиканских и городских природоохранных организаций, технические проекты по реконструкции действующих цехов с переводом на выпуск комплексных удобрений по разработанным технологиям одобрены и приняты к реализации.

*Промышленное освоение технологии комбинированной стадийной очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод с получением обогащенных фторфосфатных шламов.* На основании изучения процессов в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  в области разбавленных растворов в неравновес-

ных условиях разработана технология стадийной очистки сточных вод с получением обогащенного фторфосфатного шлама. Результаты производственных испытаний подтвердили, что до 97% фосфора и до 99% фтора переходит в осадок уже на первой стадии. Содержание фтора в осветленной воде после второй стадии составляло 9–12 мг/л, фосфора 13–16,5 мг/л, что в 1,5–2 раза ниже соответствующих показателей по одностадийной схеме. Содержание фосфора в шламе возросло до 26–27 мас. % (в пересчете на  $P_2O_5$ ), причем основная часть фосфора находится в усвояемой форме. Несмотря на значительное колебание в составе поступающих кислых стоков, состав шлама менялся незначительно (от 26,4 до 27,4 мас. % по  $P_2O_5$ ), что подтверждает выводы об усреднении состава шламов. Отмечено улучшение процесса осветления и фильтрации. Рециркуляция щелочной суспензии со второй стадии, а также промежуточное выделение шламов обеспечивает сокращение расхода известкового молока на 35–40%. В 1986 г. разработанная схема очистки сточных вод внедрена на ОАО «ГХЗ». Годовой экономический эффект составил 90 тыс. руб. (в ценах на 1.06.1985 г.), эколого-экономический эффект – 119,8 тыс. руб. Данная схема является основой действующего «Промышленного технологического регламента № 03-510-2 отделения фторосаждения цеха нефелинового антипирена». В 1990 г. двухстадийная схема очистки сточных вод внедрена на ООО «Балаковские минудобрения» (ООО «БМУ», Россия), что позволило значительно повысить качество очистки. Содержание взвесей снизилось с 7000–8000 до 500 мг/л, содержание  $P_2O_5$  – до регламентируемых значений.

Введение в технологическую схему двухстадийной очистки дополнительной стадии карбонизации щелочной суспензии обеспечило более глубокое снижение остаточного содержания фтора до значений менее 1 мг/л. Согласно предлагаемой схеме (рисунок 11), фтор- и фосфорсодержащие стоки обрабатываются по двухстадийной схеме. Однако щелочная суспензия (рН 12–12,5) после второй стадии нейтрализации не разделяется, а направляется на карбонизацию и далее на сгущение. Результаты производственных испытаний комбинированного стадийного метода очистки, проведенные совместно с сотрудниками центральной заводской лаборатории ОАО «ГХЗ», подтвердили данные исследований. Остаточное содержание фтора в стоках после очистки составляло 0,22–0,6 мг/л при начальном от 3011 до 7920 мг/л.

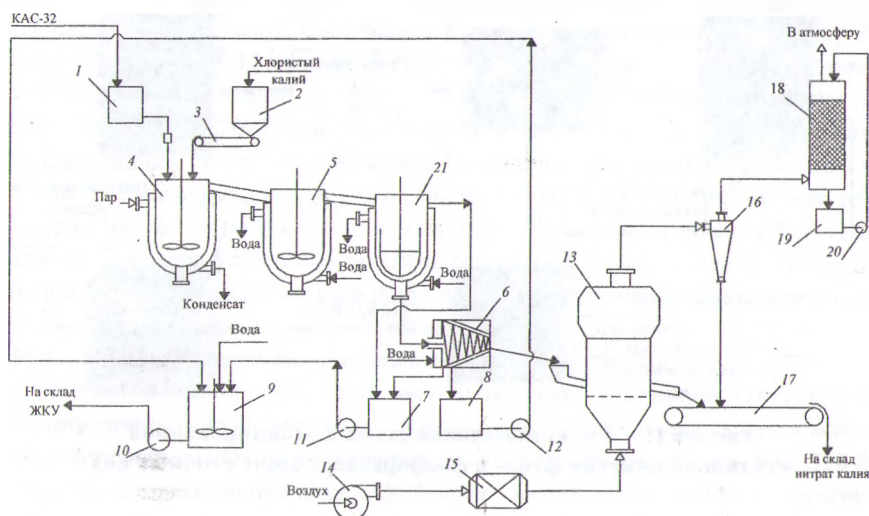
**Безотходная технология производства нитрата калия.** В зависимости от вида используемого нитратсодержащего компонента разработано два варианта осуществления процесса. При использовании аммонийной селитры процесс включает следующие стадии: растворение твердой аммонийной селитры в воде, конверсия нитрата аммония хлоридом калия, отделение нерастворимого остатка путем горячей фильтрации, охлаждение раствора, кристаллизация нитрата калия, отделение, отмывка и сушка продукта.



**Рисунок 11 – Функциональная схема комбинированной стадийной очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод**

Маточный раствор подается на стадию приготовления ЖКУ. При осуществлении процесса по второму варианту, предполагающему использование в качестве исходного компонента жидкого азотного удобрения КАС, основными стадиями являются (рисунок 12): конверсия; отделение нерастворимого остатка; охлаждение раствора и кристаллизация нитрата калия; фильтрация суспензии, промывка и сушка продукта. Использование растворов КАС значительно упрощает технологический процесс за счет исключения стадий растворения нитрата аммония. Целесообразность данного варианта подтверждена результатами производственных испытаний, проведенными в 2003–2005 гг. Качество полученных продуктов – нитрата калия и жидкого комплексного удобрения КАС-К – полностью соответствовало требованиям технических условий. На основании исходных данных, разработанных по результатам исследований и производственных испытаний, специалистами института ОАО «ГИАП» выполнено «Обоснование инвестиций строительства ОПУ производства нитрата калия для сельского хозяйства на базе отечественного сырья» и разработан технический проект установки мощностью 1000 т/г., что полностью обеспечивает потребность республики. Выполненная технико-экономическая оценка подтвердила целесообразность организации производства нитрата калия по разработанной технологии. Полная себестоимость нитрата калия составляет 709,682 тыс. руб. Цена реализации – 816,13 тыс. руб., или 379,24 долл. США (в ценах на 01.01.2006 г.). Средняя стоимость одной тонны импортируемого нитрата калия (без учета НДС) составляет 1075 тыс. руб., или 500 долл. США. При реа-

лизации 1000 т калиевой селитры экономический эффект составит 258,87 млн. руб. Срок окупаемости инвестиций – 4,5 года, рентабельность – 17,62 %.

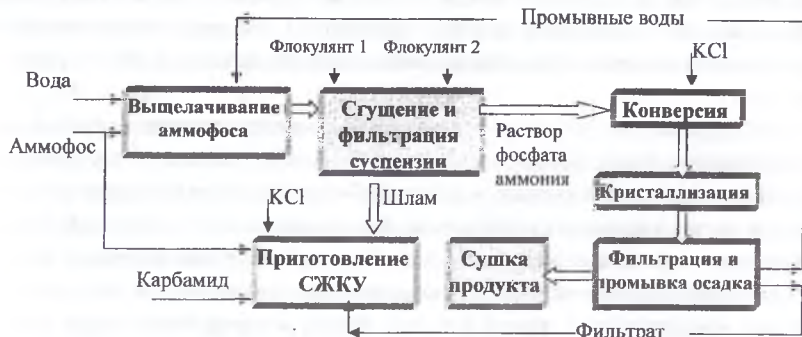


- 1 – напорный бак раствора КАС-32; 2 – бункер хлорида калия; 3 – питатель;  
 4 – реактор; 5 – кристаллизатор; 21 – кристаллизатор-сгуститель; 6 – центрифуга;  
 7, 8, 19 – сборники; 9 – смеситель; 10, 11, 12, 20 – насосы; 13 – сушилка КС;  
 14 – воздуходувка; 15 – калорифер; 16 – циклон; 17 – конвейер; 18 – абсорбер

**Рисунок 12 – Технологическая схема получения нитрата калия конверсионным методом**

**Безотходная технология производства бесхлорных водорастворимых комплексных NPK удобрений на основе калийаммонийфосфата.** Разработаны два варианта, отличающиеся способами получения исходных растворов фосфатов аммония. По первому варианту процесс нейтрализации упаренной ЭФК осуществляется аммиачной водой. Образующаяся суспензия разделяется отстаиванием. Полученный раствор фосфата аммония поступает на стадию конверсии. Продукт после кристаллизации направляется на стадию промывки и далее на сушку. Промывные растворы рециркулируют на стадию нейтрализации ЭФК. Побочные продукты – фторфосфатный шлам и маточный конверсионный раствор направляются на приготовление СЖКУ. По второму варианту получение исходных растворов фосфатов аммония осуществляется выщелачиванием аммофоса водой (рисунок 13). Разделение суспензии ведется в две стадии: отстаивание в первичных отстойниках, куда подается комбинация флокулянтов, и фильтрация сгущенной части суспензии. Полученный раствор фосфа-

тов аммония направляется на конверсию. Основные технологические параметры стадий конверсии, кристаллизации, промывки и сушки аналогичны первому варианту.



**Рисунок 13 – Функциональная схема получения калийаммонийфосфата конверсионным методом**

Применение аммофоса является предпочтительным, так как обеспечивается достижение более высокого выхода целевого продукта, суспензия значительно легче отстаивается и фильтруется, наличие стадии аммонизации ЭФК по первой схеме ужесточает требования техники безопасности. Результаты отработки технологии в производственных условиях на установке Республиканского центра проблем человека БГУ, а также ОАО «ГХЗ» подтвердили правильность выбора оптимального технологического режима. Одновременно с получением калийаммонийфосфата приготовлены СЖКУ марок 10:5:15 и 12:6:7 на основе побочных продуктов. Выполненное ОАО «Белгорхимпром» «Технико-экономическое обоснование целесообразности освоения производства водорастворимого удобрения – калийаммонийфосфата» показало, что полная себестоимость одной тонны продукта составила 1208,867 тыс. руб. (567,81 долл. США), отпускная цена – 1454,94 тыс. руб. (683,39 долл. США), что на 350–400 долл. США ниже стоимости импортируемого монокалийфосфата.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

Обобщен и проанализирован обширный экспериментальный материал по исследованию химического взаимодействия, образования и кристаллизации твердых фаз в многокомпонентных водно-солевых системах  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-$ ,  $Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$ ,

карбамидсодержащих системах на основе фосфорнокислых суспензий, системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  в области разбавленных растворов; изучению химического, фазового, дисперсного состава промежуточных, побочных и целевых продуктов, зависимости между условиями процессов разложения, конверсии, осаждения, старения и выходом продуктов, степенью использования сырья и качеством продукции, что позволило получить следующие научные результаты:

1. Разработаны научные основы химико-технологических процессов получения новых видов комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений, бесхлорных водорастворимых удобрений – калийаммонийфосфата и нитрата калия, а также жидких и суспендированных комплексных удобрений, характеризующихся хорошими физическими свойствами на уровне мировых аналогов, высокой агрохимической эффективностью при применении в тепличных хозяйствах и на открытом грунте; созданы новые ресурсосберегающие технологии получения указанных комплексных удобрений, обеспечивающие значительное сокращение количества образующихся отходов, возврат части отходов в технологический цикл в качестве вторичного фосфатного сырья либо их полное исключение при организации замкнутых конверсионных циклов [1, 7, 21, 22, 26–28, 36, 37, 41, 43, 47–49, 51, 53, 55, 57, 58, 75–81, 83].

2. Установлены физико-химические особенности серно- и фосфорнокислотного разложения природных фосфатов в загустевающих суспензиях в присутствии карбамида, обусловленные образованием различных по составу, структуре и свойствам аддуктов: сульфата карбамида, тетракарбамида сульфата кальция, аддукта с хлоридом аммония, оказывающих существенное влияние на процессы кислотного разложения и обменного взаимодействия, химизм, фазовый состав промежуточных и конечных продуктов, образующихся при получении комплексных серосодержащих удобрений. Протекание процессов обменного взаимодействия сульфата, дигидрофосфата аммония и хлорида калия с участием сульфата кальция при введении хлорида калия в частично или полностью нейтрализованную загустевающую суспензию приводит к образованию различных по составу, структуре и свойствам серосодержащих соединений: сингенита  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , гоергента  $\text{K}_2\text{Ca}_3(\text{SO}_4)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , двойных дигидрофосфатов и сульфатов калия-аммония, а также дигидрофосфата калия, причем введение карбамида способствует ускорению этих процессов за счет связывания хлорида аммония [7, 8, 38, 52, 59, 74].

3. Получены новые научные данные о реологических свойствах суспензий, образующихся на различных технологических стадиях получения комплексных серосодержащих удобрений. Доказано, что значительное ухудшение реологических свойств суспензий при введении хлорида калия в присутствии в системе аммонийных солей обусловлено протеканием процессов конверсии с

образованием сингенита, гоергеита, характеризующихся невысокой растворимостью. Установлено, что введение амидных форм азота способствует улучшению реологических свойств суспензий независимо от места их введения. Для всех изученных марок удобрений в температурном интервале свыше 50°C суспензии остаются текучими. Полученные данные позволили обосновать оптимальный способ введения хлорида калия и карбамида в технологический процесс [7, 38, 54, 82].

4. Результаты исследования золь-гель превращений в области разбавленных растворов в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  в неравновесных условиях и установленные особенности образования и формирования высокодисперсных осадков в зависимости от условий осаждения и старения явились научной основой разработанного комбинированного способа стадийной очистки сточных вод производств фосфорных удобрений, обеспечивающего снижение остаточного содержания фтора с 20–25 до 0,2–0,5 мг/л, получение максимально концентрированных по фосфору и фтору шламов, пригодных для использования в качестве вторичного фосфатного сырья в производстве ЭФК (полугидратным и полугидратно-дигидратным методами) и фосфорсодержащих удобрений [2–4, 9, 11–18, 20, 39, 40, 60–72].

5. Определены реологические, химико-технологические и структурно-механические свойства фторфосфатных шламов в широком интервале изменения их влажности. В зависимости от условий образования шламы представляют собой дисперсные системы как с коагуляционной, так и с конденсационно-кристаллизационной структурой. До влажности около 70–75% шламы обладают незначительной вязкостью, снижение влажности до 58% способствует проявлению пластической прочности. В интервале влажности 42–46% резко возрастает величина удельного сопротивления пенетрации с 12,9 до 750 кгс/см<sup>2</sup>, что соответствует переходу от коагуляционной к конденсационно-кристаллизационной структуре. Обрушаемость воздушновысушенных образцов шламов, определенная с использованием комплексного метода Карра, соответствует «значительной» или «высокой». В зависимости от влажности шламы характеризуются плохой либо неудовлетворительной текучестью [5, 6, 10, 19, 73].

6. Получены новые научные данные о влиянии карбамида на растворимость в многокомпонентной водно-солевой системе  $\text{K}^+, \text{NH}_4^+//\text{NO}_3^-, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$ , позволившие установить увеличение площади поля кристаллизации нитрата калия в присутствии карбамида. Теоретически обоснована целесообразность использования растворов жидкого азотного удобрения КАС в качестве исходного нитратсодержащего компонента конверсионного процесса получения нитрата калия, что обеспечило возрастание выхода продукта по калию до 72,2–73,1% за счет содержащегося в составе КАС карбамида [1, 25, 30, 32, 44, 56].

7. Доказана возможность и установлены условия получения растворов

фосфатов аммония с минимальным содержанием примесей, пригодных для последующего производства калийаммонийфосфата, путем аммонизации ЭФК и выщелачивания аммофоса. Присутствие сложных комплексов металламмонийфосфатов, фосфат-фторидов железа и алюминия, образующих гелеобразный осадок, существенно затрудняет разделение аммонизированной суспензии. Интенсификация сгущения и фильтрации суспензии достигается путем ее обработки комбинацией анионных и катионных флокулянтов типа «Praestol». Введение в суспензию 20–30 мг/л анионного и 20–25 мг/л катионного флокулянтов обеспечивает очистку системы от дисперсных частиц при достаточно большой протяженности области дестабилизации, приводит к увеличению скорости осветления суспензии в 5–10 раз, снижению объема отстоя осадка в 2,5–3 раза и возрастанию коэффициента фильтрации предварительно сгущенного шлама в 2,5 раза. Определены структурно-адсорбционные и химико-технологические свойства фторфосфатных шламов, образующихся при выщелачивании аммофоса и аммонизации ЭФК [1, 24].

8. Установлены закономерности и оптимальные условия конверсии между хлоридом калия и растворами фосфата и нитрата аммония, получаемыми на основе технических продуктов – упаренной ЭФК, аммофоса, аммонийной селитры и жидких азотных удобрений КАС, что обеспечило получение нитрата калия и калийаммонийфосфата с минимальным содержанием хлора (не более 1%) и нерастворимого осадка (не более 0,1%). Разработаны физико-химические основы направленного регулирования соотношения питательных веществ, химического и дисперсного составов бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений. Установлены особенности изогидрической кристаллизации нитрата калия и калийаммонийфосфата в политермических условиях [1, 23, 29, 31, 33–35, 42, 45, 46, 50].

9. Научная новизна и значимость результатов диссертационных исследований подтверждается присуждением Премии Национальной академии наук Беларуси 2007 года за «Новые ресурсосберегающие малоотходные и безотходные технологии получения комплексных удобрений».

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. На основании результатов диссертационных исследований разработан ряд новых ресурсосберегающих технологий комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений на основе карбамидсодержащих систем, которые рекомендованы для практического использования на предприятиях отрасли:

– разработана и внедрена на ОАО «ГХЗ» ресурсосберегающая технология получения новых экспортноориентированных марок комплексных удобрений с улучшенными физическими свойствами, объем продаж которых на экс-



порт за 4 года составил 68 626 т, объем реализации – 16 млн. 116 тыс. долл. США, годовой экономический эффект – 608 тыс. 950 долл. США;

– разработаны и приняты к внедрению в цехе ЦССМУ ОАО «ГХЗ» «Исходные данные рабочего проекта реконструкции цеха сложно-смешанных минеральных удобрений с увеличением мощности цеха до 100 тыс. тонн физического веса», в основе которых заложена гибкая технология получения комплексных серосодержащих удобрений;

– разработаны и приняты к внедрению в цехе аммонизированного суперфосфата ОАО «ГХЗ» «Исходные данные для проектирования реконструкции цеха аммонизированного суперфосфата с переводом на гибкие технологии производства NP и NPK удобрений», в основе которых заложена ресурсосберегающая малоотходная технология комплексных серосодержащих удобрений;

– разработаны и рекомендованы к внедрению «Исходные данные целесообразности строительства нового цеха NP и NPK удобрений мощностью 500 тыс. тонн натуре в год».

Реализация разработанных технологий позволяет расширить ассортимент выпускаемых марок и получить концентрированные серосодержащие комплексные удобрения с улучшенными свойствами, оптимизировать расход фосфатного сырья при значительном снижении объемов образующихся отходов.

2. Разработана схема формирования и распределения сточных вод с учетом их качественно-количественного состава, внедрение которой на ОАО «ГХЗ» обеспечило повышение качества очистки и возможность выделения обогащенного фторфосфатного шлама.

3. Разработана, испытана в производственных условиях комбинированная стадийная схема очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод, обеспечивающая снижение остаточного содержания фтора до значений менее 1 мг/л и получение обогащенных шламов с содержанием фосфора до 28%, которые рекомендованы к переработке в качестве вторичного фосфатного сырья в производстве фосфорсодержащих удобрений и ЭФК. Результаты внедрения разработанной технологии очистки на ряде предприятий (ОАО «ГХЗ», ООО «БХЗ») подтвердили высокие технико-экономические показатели процесса.

4. Разработаны, испытаны в промышленных условиях и рекомендованы к внедрению безотходные конверсионные технологии бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений – нитрата калия и калийаммонийфосфата для тепличных хозяйств на базе технических продуктов. Цена реализации нитрата калия составляет 816,13 тыс. руб., или 379,24 долл. США за тонну при средней стоимости импортируемого нитрата калия (без учета НДС) 1075 тыс. руб., или 500 долл. США (в ценах на 01. 01. 2006 г.). При реализации 1000 т отечественного нитрата калия годовой экономический эффект составит 258,87 млн. руб. Отпускная цена одной тонны калийаммонийфосфата на 350–400 долл. США

ниже стоимости импортного аналога. Опытно-промышленная установка по получению нитрата калия введена в эксплуатацию на ДП «Мостовская сельхозтехника». Агрохимические испытания наработанных партий бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений в системах капельного полива пленочных теплиц Института овощеводства НАНБ показали, что их эффективность находится на уровне, а на некоторых питательных грунтах выше импортных удобрений. По результатам агрохимических испытаний на открытом грунте, проведенных в ИПА НАНБ, эффективность ЖКУ марки 26:0:3 и СЖКУ марок 10:5:15, 12:6:7 на основе отработанных конверсионных растворов равноценна стандартным удобрениям, а в опытах с картофелем прибавка урожая по сравнению со стандартом составила от 23 до 45 ц/га. Разработанные виды удобрений рекомендованы к промышленному применению и в соответствии с поручением Совета Министров Республики Беларусь разработанная техническая документация на создание универсальной установки по производству водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений передана концерном «Белнефтехим» Министерству сельского хозяйства и продовольствия. Технология получения новых марок твердых и жидких бесхлорных комплексных удобрений внедрена на ООО «Гринтур». Мощность установки 2000 т в год. Новые марки бесхлорных комплексных удобрений сбалансированы по основным питательным элементам, дополнительно содержат до 18% серы и рекомендуются для хлорофобных культур.

5. Разработаны и внесены в реестр государственной регистрации Госстандарта Республики Беларусь технические условия на новые виды удобрений: ТУ РБ 00203714.009-95 «Удобрение азотно-фосфорно-калийное», ТУ РБ 100354659.049-2004 «Селитра калиевая для сельского хозяйства», ТУ РБ 100354659.050-2004 «Удобрения жидкие комплексные (КАС-К)», ТУ РБ 100643856.003-2004 «Бесхлорное водорастворимое комплексное удобрение на основе фосфата калия (калийаммонийфосфат)», ТУ РБ 100643856.004-2004 «Удобрения суспендированные жидкие комплексные».

6. Приоритет разработанных ресурсосберегающих технологий защищен 5 авторскими свидетельствами, 4 патентами и 2 заявками на изобретение.

7. Практическая значимость и новизна подтверждаются награждением дипломом победителя на Международной выставке «Энерго- и ресурсосбережение» Белорусского промышленного форума 2006 г. в номинации «Энерго- и ресурсосберегающие технологии», дипломом победителя конкурса на Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Санкт-Петербург) в номинации «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка 2007 года в области экологии и рационального природопользования», участием в ряде международных выставок в Польше, Литве, Германии, Китае, Сирии, Венесуэле, Индии.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дормешкин, О.Б. Производство бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев. – Минск: БГТУ, 2006. – 248 с. (Монография)
2. Очистка сточных вод и утилизация фторфосфатных шламов производств фосфорных удобрений: обзор. информ. / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.В. Печковский, И.П. Наркевич. – М.: НИИТЭХИМ, 1987. – Вып. 6 (73): Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – 44 с.

### Статьи

3. Дормешкин, О.Б. Повышение степени очистки сточных вод как необходимая предпосылка перехода на замкнутые водооборотные системы в производстве минеральных удобрений / О.Б. Дормешкин // Природные ресурсы: межведомственный бюлл. – Минск, 2002. – № 4. – С. 46–54.
4. Дормешкин, О.Б. Комбинированный метод очистки фторсодержащих сточных вод / О.Б. Дормешкин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2004. – № 4. – С. 95–99.
5. Дормешкин, О.Б. Пути решения проблемы кондиционирования и подготовки шламов очистки сточных вод к промышленному использованию / О.Б. Дормешкин // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. – Минск, 2004. – Вып. XII. – С. 66–73.
6. Дормешкин, О.Б. Структурно-механические и реологические свойства фторфосфатных шламов очистки сточных вод / О.Б. Дормешкин // Известия Академии промышленной экологии. – Москва, 2004. – № 2. – С. 38–44.
7. Дормешкин, О.Б. Повышение эффективности использования сырья в производстве фосфорных и комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин // Наука и инновации. – 2005. – № 2. – С. 48–59.
8. Дормешкин, О.Б. Исследование возможности использования глауконита в производстве минеральных удобрений / О.Б. Дормешкин // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. – Минск, 2005. – Вып. XIII. – С. 97–102.
9. Дормешкин, О.Б. Влияние ионов аммония на процесс нейтрализации в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  / О.Б. Дормешкин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2007. – № 2. – С. 106–111.
10. Наркевич, И.П. Исследование реологических свойств фторфосфатных шламов / И.П. Наркевич, О.Б. Дормешкин, А.А. Меженцев // Журн. прикл. химии. – 1986. – № 1. – С. 67–70.
11. Дормешкин, О.Б. Исследование влияния фтористого шлама на процесс обжига цементного клинкера / О.Б. Дормешкин, А.А. Каршакевич // Деп. в ВНИИСМе: Библиографический указатель депонированных рукописей. –

Москва, 1986. – Вып. 1. – 5 с.

12. Промышленные испытания двухстадийного способа очистки сточных вод с получением обогащенного шлама / В.В. Печковский, Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, И.П. Наркевич // Химическая промышленность. – 1987. – № 3. – С. 169–170.
13. Печковский, В.В. Изучение условий осаждения фторфосфатных шламов из сточных вод производства фосфорных удобрений / В.В. Печковский, О.Б. Дормешкин, И.П. Наркевич // Химия и хим. технология: сб. ст. – Минск: Университетское, 1987. – Вып. 1. – С. 50–54.
14. Воробьев, Н.И. Изучение влияния фторфосфатного шлама на процесс получения экстракционной фосфорной кислоты / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, А.А. Меженцев // Химия и хим. технология: сб. ст. – Минск: Университетское, 1987. – Вып. 1. – С. 3–7.
15. Печковский, В.В. Исследование кинетики процесса нейтрализации в системе  $\text{CaO} - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  / В.В. Печковский, О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Журн. прикл. химии. – 1988. – № 8. – С. 1715–1721.
16. Особенности серноокислотного разложения шлама очистки сточных вод производства фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, И.П. Наркевич, А.А. Меженцев, С.А. Белов // Вес. акад. навук БССР. Сер. хім. навук. – 1988. – № 5. – С. 104–107.
17. Воробьев, Н.И. Переработка шламов очистки фтор- и фосфорсодержащих сточных вод с получением комплексных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин // Химическая промышленность. – 1989. – № 3. – С. 204–205.
18. Наркевич, И.П. Эколого-экономическая оценка процессов утилизации отходов производства фосфорных удобрений / И.П. Наркевич, О.Б. Дормешкин // Инф. бюллетень по химической промышленности стран членов СЭВ. – 1989. – № 3. – С. 9–21.
19. Печковский, В.В. Влияние условий процесса нейтрализации на химико-технологические свойства образующихся соединений в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  / В.В. Печковский, Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин // Химия и хим. технология: сб. ст. – Минск: Университетское, 1989. – Вып. 3. – С. 3–8.
20. Очистка фтор- и фосфорсодержащих сточных вод с получением удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.В. Печковский, О.П. Соколова // Химическая технология. – Киев: Наукова думка, 1990. – Вып. 3. – С. 32–35.
21. Воробьев, Н.И. Исследование растворимости в воде систем  $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaCl} - \text{NH}_4\text{Cl} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  и  $\text{NH}_4\text{HSO}_3 - \text{NaHSO}_3 - \text{NaCl} - \text{NH}_4\text{Cl}$  / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, А.Ф. Минаковский // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 1999. – № 2. – С. 114–117.
22. Дормешкин, О.Б. Оптимизация процесса получения сульфита натрия на основе графоаналитического метода исследования диаграмм растворимости систем  $\text{Na}^+, \text{NH}_4^+ // \text{Cl}^-, \text{SO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}^+, \text{NH}_4^+ // \text{Cl}^-, \text{HSO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$  / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, А.Ф. Минаковский // Журн. прикл. химии. – 2001. – Т. 74. – Вып. 8. – С. 1242–1248.

23. Воробьев, Н.И. Исследование процесса получения нитрата калия конверсионным методом / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2002. – № 4. – С. 8–13.
24. Воробьев, Н.И. Исследование возможности получения чистых растворов фосфатов аммония на основе технических продуктов / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2002. – Вып. X. – С. 145–151.
25. Воробьев, Н.И. Исследование влияния карбамида на процесс получения нитрата калия конверсионным методом / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2002. – Вып. X. – С. 151–158.
26. Испытание технологии получения водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений на универсальной опытной установке / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик, В.И. Шатило // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2003. – Вып. XI. – С. 154–157.
27. Воробьев, Н.И. Суспендированные жидкие комплексные удобрения на основе побочных продуктов конверсионного получения фосфата калия / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2003. – Вып. XI. – С. 157–162.
28. Исследование коррозионной активности жидких удобрений на основе маточных растворов / В.Б. Дроздович, О.Б. Дормешкин, Н.П. Иванова, Д.М. Новик, А.Н. Рабочий // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2003. – Вып. XI. – С. 162–166.
29. Воробьев, Н.И. Получение бесхлорных водорастворимых NPK удобрений конверсионным способом / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2004. – № 1. – С. 96–101.
30. Влияние карбамида на растворимость компонентов в системе  $K^+$ ,  $NH_4^+$  //  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^{2-}$ – $H_2O$  / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик, Г.Х. Черчес // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2004. – № 3. – С. 10–15.
31. Дормешкин, О.Б. Безотходная технология получения бесхлорного водорастворимого комплексного удобрения – нитрата калия на основе республиканской сырьевой базы / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Наука и инновации. – 2004. – № 10. – С. 44–53.
32. Дормешкин, О.Б. Безотходная технология получения нитрата калия на основе растворов КАС / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик // Химическая промышленность. – 2005. – № 8. – С. 375–381.
33. Воробьев, Н.И. Особенности процесса кристаллизации нитрата калия полученного конверсионным методом / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2005. – Вып. XIII. – С. 103–106.
34. Дормешкин, О.Б. Получение нитрата калия конверсионным методом / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2006. – № 1. – С. 104–109.
35. Воробьев, Н.И. Водорастворимое бесхлорное NPK удобрение с регулируемыми свойствами

мым соотношением питательных компонентов / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хім. навук. – 2006. – № 3. – С. 96–101.

36. Состояние и перспективы производства фосфорных и комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин, И.В. Ляшенко, Н.И. Воробьев, Н.Ф. Максименко, В.В. Лапа // Вестник Белнефтехима. – 2006. – № 10. – С. 46–51.
37. Мировой рынок фосфорсодержащих удобрений и тенденции его развития / О.Б. Дормешкин, И.В. Ляшенко, Н.И. Воробьев, Н.Ф. Максименко // Вестник Белнефтехима. – 2007. – № 3. – С. 50–57.
38. Малоотходная технология получения новых видов серосодержащих комплексных NPKS удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Г.Х. Черчес, А.Н. Гаврилюк // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич. в-в. – Минск, 2007. – Вып. XV. – С. 3–8.

### Материалы конференций

39. Дормешкин, О.Б. Оптимизация схем формирования водооборотных циклов и очистки стоков в производстве фосфорных и комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин // Техника и технология защиты окружающей среды: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–7 декабря 2006 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2006. – С. 19–22.
40. Дормешкин, О.Б. Рециклинг отходов в производстве фосфорных и комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2004 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2004. – С. 231–234.
41. Производство комплексных удобрений с использованием в качестве азотсодержащего компонента хлорида аммония / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, А.Ф. Минаковский, Д.М. Новик // Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 октября 1999 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 1999. – С. 58–60.
42. Исследование получения бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений конверсионными методами по безотходной технологии / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик, В.И. Шатило // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 9–10 ноября 2000 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2000. – С. 14–17.
43. Воробьев, Н.И. Получение новых видов комплексных водорастворимых бесхлорных удобрений на базе отечественного сырья / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 октября 2001 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2001. – С. 249–253.
44. Дормешкин, О.Б. Влияние карбамида на процесс конверсионного получения

нитрата калия / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 октября 2001 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2001. – С. 105–108.

45. Испытание конверсионной технологии получения водорастворимых NPK удобрений на опытной установке / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, В.И. Шатило, Д.И. Сагайдак, М.С. Матвеевцева // Новые технологии в химической промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2002 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2002. – Ч. 2. – С. 33–35.
46. Воробьев, Н.И. Безотходная технология получения нитрата калия конверсионным методом / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик // Новые технологии в химической промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2002 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2002. – Ч. 2. – С. 35–38.
47. Получение гранулированных азотсодержащих удобрений в псевдооживленном слое / О.Б. Дормешкин, С.Г. Широков, А.М. Пелеш, А.Н. Овчинников // Новые технологии в химической промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2002 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2002. – Ч. 2. – С. 91–92.
48. Новая конструкция промышленного гранулятора с псевдооживленным слоем для получения карбамида и комплексных удобрений на его основе / О.Б. Дормешкин, С.Г. Широков, А.М. Пелеш, А.Н. Овчинников // Новые технологии в химической промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2002 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 239–241.
49. Воробьев, Н.И. Получение водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений по безотходной технологии на основе продуктов отечественного производства / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 19–21 ноября 2003 г.: в 2 ч. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2003. – Ч. 2. – С. 220–226.
50. Воробьев, Н.И. Исследование влияния условий получения калийаммоний-фосфата на его состав / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 ноября 2003 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2003. – С. 183–186.
51. Исследование, разработка технологии и создание малоотходных производств новых форм жидких и гранулированных комплексных удобрений / С.Г. Широков, А.М. Пелеш, М.И. Винокуров, О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2004 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2004. – С. 260–262.

52. Новые ресурсосберегающие технологии получения комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Г.Х. Черчес, А.Н. Гаврилок // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2005. – С. 17–19.
53. Разработка и освоение технологии получения комплексных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило, Д.М. Новик, Н.Н. Немогай, С.Г. Занемонец // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2005. – С. 19–20.
54. Дормешкин, О.Б. Совершенствование технологии получения комплексных удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Перспективы развития минеральных удобрений в Республике Беларусь: материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 29 сентября 2005 г. – Минск: Юнипак, 2005. – С. 40–46.
55. Безотходная технология получения водорастворимых бесхлорных NPK-удобрений на базе отечественного сырья / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило, Д.И. Сагайдак, М.С. Матвеевцева // Перспективы развития минеральных удобрений в Республике Беларусь: материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 29 сентября 2005 г. – Минск: Юнипак, 2005. – С. 47–54.
56. Разработка и опытно-промышленное освоение технологии получения нитрата калия на базе отечественного сырья / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик, Н.И. Лисай, А.М. Пелеш, С.Г. Широков // Перспективы развития минеральных удобрений в Республике Беларусь: материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 29 сентября 2005 г. – Минск: Юнипак, 2005. – С. 55–59.
57. Разработка и освоение технологии получения бесхлорных комплексных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Н.Н. Немогай, С.Г. Занемонец // Перспективы развития минеральных удобрений в Республике Беларусь: материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 29 сентября 2005 г. – Минск: Юнипак, 2005. – С. 60–62.
58. Дормешкин, О.Б. Пути снижения техногенного воздействия производств фосфорных и комплексных удобрений на окружающую среду / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, А.Н. Гаврилок // Техника и технология защиты окружающей среды: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5–7 декабря 2006 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2006. – С. 91–94.
59. Дормешкин, О.Б. Ресурсосберегающие технологии получения серосодержащих комплексных NPS и NPKS удобрений на основе карбамид-суперфосфатных и карбамид-аммофосных систем / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, И.В. Ляшенко, Н.Ф. Максименко // Технологии, оборудование и качество: материалы 10-го Междунар. симпозиума, Минск, 15–18 мая 2007 г. – Минск: Экспофорум, 2007. – С. 85–86.



60. Наркевич, И.П. Изучение состава фторфосфатных шламов в зависимости от условий нейтрализации / И.П. Наркевич, О.Б. Дормешкин // XIII Всесоюзная науч. конф. по технологии неорганических веществ и минеральных удобрений: тезисы докл., Горький, 23–24 апреля 1985 г.: в 2 ч. – Горький, 1985. – Ч. 1. – С. 17–18.
61. Дормешкин, О.Б. Влияние фтористого шлама на процесс обжига и физико-химические свойства цемента / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, А.А. Каршакевич // Пути использования вторичных ресурсов для производства строительных материалов: тезисы докл., Чимкент, 15–17 октября 1986 г.: в 2 т. – Чимкент, 1986. – Т. 2. – С. 523.
62. Воробьев, Н.И. Исследование кинетики нейтрализации и свойств фторфосфатных соединений в системе  $\text{CaO} - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{SiF}_6 - \text{H}_2\text{O}$  / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин // Фосфаты-87: тезисы докл. Всесоюз. конф., Ташкент, 22–24 сентября 1987 г.: в 4 ч. – Ташкент, 1987. – Ч. 4. – С. 553.
63. Воробьев, Н.И. Очистка сточных вод и переработка образующихся шламов в производстве фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.И. Мартинчик // XIV Всесоюзная науч.-техн. конф. по технологии неорганических веществ и минеральных удобрений: тезисы докл., Львов, 25–27 мая 1988 г.: в 3 ч. – Львов, 1988. – Ч. 1. – С. 6.
64. Дормешкин, О.Б. Разработка замкнутой системы водоочистки в производстве фосфорных удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Введение безотходных и малоотходных технологий – путь к решению экологических проблем: тезисы докл., Минск, 5–10 ноября 1988 г. – Минск, 1988. – С. 36–37.
65. Дормешкин, О.Б. Исследование возможности тонкой очистки фторсодержащих сточных вод карбонатным методом / О.Б. Дормешкин // Достижения науки и техники в области ресурсосбережения и экологии: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 23–26 октября 1989 г. – Гомель, 1989. – С. 157–158.
66. Дормешкин, О.Б. Рациональные методы утилизации шламов очистки сточных вод производств фосфорных удобрений / О.Б. Дормешкин // Достижения науки и техники в области ресурсосбережения и экологии: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 23–26 октября 1989 г. – Гомель, 1989. – С. 60.
67. Исследование и разработка рациональных методов утилизации отходов производств фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, Л.К. Островский, В.В. Печковский, О.Б. Дормешкин // Проблемы рационального использования фосфатного сырья и интенсификации технологических процессов: тезисы докл. Всесоюз. совещания, Черкассы, 14–16 ноября 1989 г. – Черкассы, 1989. – С. 91–92.
68. О некоторых путях утилизации отходов производства фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, Л.К. Островский, О.Б. Дормешкин, Л.А. Щербакова // Перспективы развития производств серной кислоты и фосфорных удобрений до

- 2000 года: тезисы докл. Всесоюз. отраслевого совещания. – Москва, 1990. – С. 92.
69. Воробьев, Н.И. Разработка технологии тонкой очистки фторсодержащих сточных вод реагентными методами / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Т.А. Жарская // Материалы юбилейной научно-технической конференции по итогам НИР: тезисы докл. науч.-техн. конф., Минск, 5–10 февраля 1990 г. – Минск, 1990. – С. 182.
70. Воробьев, Н.И. Очистка сточных вод при производстве фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Л.К. Островский // Химия радионуклидов и металл-ионов в природных объектах: тезисы докл. Межгос. конф., Минск, 31 марта–2 апреля 1992 г. – Минск, 1992. – С. 144.
71. Очистка сточных вод и утилизация отходов при производстве фосфорных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Л.К. Островский, Н.И. Сасункевич // Материалы XV Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: тезисы докл., Минск, 24–29 мая 1993 г.: в 4 т. – Минск, 1993. – Т. 1. – С. 217–218.
72. Воробьев, Н.И. Разработка рациональных методов переработки шламов очистки сточных вод Гомельского химического завода / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Т.И. Соико // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: тезисы докл. Междунар. конф. – Гродно, 1994. – С. 63.
73. Дормешкин, О.Б. Пути решения проблемы кондиционирования и подготовки шламов очистки сточных вод к промышленному использованию / О.Б. Дормешкин // Проблемы промышленной экологии и комплексной утилизации отходов производства: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 3–4 октября 1995 г. – Витебск, 1995. – С. 147
74. Разработка гибкой, безотходной технологии получения комплексных удобрений на основе суперфосфатов / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.Г. Первинкин, Н.Ф. Максименко // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: тезисы докл. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 8–9 октября 1996 г. – Гродно, 1996. – С. 89.
75. Воробьев, Н.И. Перспективы производства комплексных удобрений и кормовых фосфатов на Гомельском химическом заводе / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.Г. Первинкин // Белхимия – 97: тезисы докл. 3-й Междунар. выставки и симпозиума, Минск, 20–23 мая 1997 г. – Минск, 1997. – С. 101–103.
76. Воробьев, Н.И. Безотходная конверсионная технология получения нитрата калия на базе отечественного сырья / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докл. 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 25–26 июня 2002 г. – Гродно, 2002. – С. 62.
77. Воробьев, Н.И. Получение NPK удобрения для хлорофобных культур / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Научно-практическая конференция по актуальным проблемам химизации сельского хозяйства: тезисы докл., Ташкент, 26 сентября 2002 г. / ИХРВ АН РУЗ. – Ташкент, 2002. – С. 98.

78. Воробьев, Н.И. Использование республиканской сырьевой базы для получения водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докл. 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 25–26 июня 2002 г. – Гродно, 2002. – С. 63.
79. Получение бесхлорных водорастворимых комплексных удобрений конверсионными методами по безотходной технологии / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик, В.И. Шатило // XVII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докл., Казань, 21–26 сентября 2003 г. – Казань, 2003. – С. 85.
80. Воробьев, Н.И. Безотходная технология получения водорастворимых бесхлорных комплексных удобрений / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, В.И. Шатило // Научно-технические химические технологии: тезисы докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., Самара, 16–20 октября 2006 г.: в 2 т. – Самара, 2006. – Т. 1. – С. 185–186.
81. Дормешкин, О.Б. Получение нитрата калия на основе технических продуктов / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик // Научно-технические химические технологии: тезисы докл. XI Междунар. науч.-техн. конф., Самара, 16–20 октября 2006 г.: в 2 т. – Самара, 2006. – Т. 1. – С. 187–188.
82. Новые ресурсосберегающие технологии комплексных серусодержащих NPK и NPKS удобрений / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Г.Х. Черчес, А.Н. Гаврилюк // XVIII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докл., Москва, 23–28 сентября 2007 г.: в 5 т. – Москва, 2007. – Т. 3. – С. 1204.
83. Дормешкин, О.Б. Производство фосфорсодержащих и комплексных удобрений в Республике Беларусь. История, состояние и перспективы / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: тезисы докл. XX Междунар. науч.-техн. конф. «Реактив-2007», Минск, 2–4 октября 2007 г. – Минск, 2007. – С. 129.

#### Авторские свидетельства, патенты

84. Способ переработки фторфосфатных шламов: а. с. 1141093 СССР, МКИ С 05 В 11/04; С 01 В 25/32 / И.П. Наркевич, В.В. Печковский, О.Б. Дормешкин, А.Н. Капустин; Белорус. технол. ин-т. – № 3681320/23-26; заявл. 27.12.83; опубл. 23.02.85 // Открытия. Изобрет. – 1985. – № 7. – С. 86.
85. Способ получения двойного суперфосфата: а. с. 1247374 СССР, МКИ4 С 05 В 1/04 / И.П. Наркевич, О.Б. Дормешкин, А.А. Меженцев; Белорус. технол. ин-т. – № 3837372/23-26; заявл. 04.01.85; опубл. 30.07.86 // Открытия. Изобрет. – 1986. – № 28. – С. 99.
86. Способ получения сложно-смешанного удобрения: а. с. 1234391 СССР, МКИ4 С 05 G 1/02 / И.П. Наркевич, В.В. Печковский, Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, А.Н. Капустин; Белорус. технол. ин-т. – № 3808549/23-26; заявл. 02.11.84; опубл. 30.05.86 // Открытия. Изобрет. – 1986. – № 20. – С. 121.
87. Способ переработки фторфосфатного шлама: а. с. 1456394 СССР, МКИ4 С 05

- В 11/04 / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин; Белорус. технол. ин-т. – № 4172753/31-26; заявл. 04.01.87; опубл. 07.02.89 // Открытия. Изобрет. – 1989. – № 5. – С. 87.
88. Способ получения двойного цинксодержащего суперфосфата: а. с. 1751170 СССР, МКИ5 С 05 В 1/02, С 05 D 9/02 / Е.Д. Дзюба, В.В. Печковский, Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, А.И. Кудрявцев; Белорус. технол. ин-т, Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – № 4460645/26; заявл. 14.07.88; опубл. 30.07.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 28. – С. 106.
89. Способ получения нитрата калия: пат. 5950 Респ. Беларусь, МКИ7 С 01 D 9/10, С 05 С 5/02 / Н.И. Воробьев, О.Б. Дормешкин, Д.М. Новик, А.Ф. Минаковский; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20000815; заявл. 31.08.00; опубл. 30.03.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 1. – С. 133.
90. Способ получения водорастворимых бесхлорных сложных удобрений и способ получения суспендированных жидких комплексных удобрений: пат. 7282 Респ. Беларусь, МКИ7 С 05 D 1/02; С 05 И 7/00 / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, В.И. Шатило, Д.И. Сагайдак, М.С. Матвеевцева, Л.К. Островский; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20020313; заявл. 12.04.02; опубл. 03.05.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 3. – С. 154.
91. Способ получения сложных водорастворимых NPK удобрений с низким содержанием хлора и способ получения суспендированных жидких комплексных удобрений: пат. 7410 Респ. Беларусь, МКИ7 С 05 G 1/06 / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, В.И. Шатило; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20020526; заявл. 19.06.02; опубл. 30.09.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 3. – С. 155.
92. Способ получения нитрата калия и способ получения жидкого комплексного удобрения: пат. 7470 Респ. Беларусь, МКИ7 С 01D 9/10, С 05D 1/02, С 05С 5/02, 9/00 / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, Д.М. Новик, Н.К. Лисай; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20020223; заявл. 15.03.02; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4. – С. 156.
93. Способ получения сложно-смешанного удобрения: заявка № а20060376 Респ. Беларусь, МКИ7 С 05 G, С 05 В / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, А.Н. Гаврилюк, В.Е. Первинкин, А.А. Людков, Н.Н. Сеген, С.Н. Середа, В.Г. Казак, Н.М. Бризицкая, А.С. Малявин; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т, Гом. хим. завод; заявл. 20.04.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 15.
94. Способ получения водорастворимых бесхлорных сложных удобрений: заявка № а20060251 Респ. Беларусь, МКИ7 С 01 D 9/10, С 05 С 5/02 / О.Б. Дормешкин, Н.И. Воробьев, В.И. Шатило, А.А. Аутко, М.Ф. Степура; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т; заявл. 23.03.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5. – С. 15.

## РЭЗІЮМЭ

Дармешкін Алег Барысавіч

Рэсурсазберагальныя тэхналогіі комплексных удабрэнняў  
на аснове шматкампанентных водна-саявых сістэм

*Ключавыя словы:* тэхналогія, канверсійныя працэсы, кіслотнае разлажэнне, адыходы, рэсурсазберажэнне, комплексныя ўдабрэнні, карбамід, нітрат калію, калійамонійфасфат, уласцівасці, суспензія, раствор.

*Мэта работы* – распрацоўка навуковых асноў і стварэнне новых рэсурсазберагальных тэхналогій атрымання серазмяшчальных, бяхлорных, вадкіх і суспензіраваных комплексных удабрэнняў на аснове шматкампанентных водна-саявых сістэм.

*Метады даследавання:* Хімічны аналіз праводзіўся па стандартных метадыках, якія прыняты ў тэхналогіі неарганічных рэчываў. Фізіка-хімічны даследаванні выкананы з выкарыстаннем: ІК-Фур’е спектрометра NEXUS, рэнтгенаўскіх дыфрактометраў Дрон-4-13 і D8 Advance фірмы «Bruker», сканіруючага электроннага мікраскопа JEOL JSM-5610LV, прыбора па вымярэнні ўдзельнай паверхні NOVA 2000, ратацыйнага вісказіметра RVDV-2+ з праграмным забеспячэннем «RheoCalc Brookfield».

*Атрыманыя вынікі і іх навізна.* Абагульнены і прааналізаваны вялікі эксперыментальны матэрыял па даследаванні хімічнага ўзаемадзеяння ў шматкампанентных водна-саявых сістэмах  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$ , карбамід-змяшчальных сістэмах на аснове фосфарнакіслых суспензій, сістэме  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  ў вобласці разбаўленых раствораў; вывучэнні хімічнага, фазавага, дысперснага саставу прамежкавых, пабочных і мэтавых прадуктаў, залежнасці паміж умовамі працэсаў разлажэння, канверсіі, асаджэння, старэння і якасцю прадуктаў, што дало магчымасць распрацаваць навуковыя асновы і стварыць новыя рэсурсазберагальныя тэхналогіі комплексных серазмяшчальных NPS і NPKS удабрэнняў, бяхлорных водарастваральных удабрэнняў, а таксама вадкіх і суспензіраваных комплексных удабрэнняў, якія забяспечваюць значнае скарачэнне колькасці адыходаў або іх поўнае выключэнне.

*Ступень выкарыстання.* Новыя тэхналогіі прайшлі выпрабаванне ў вопытна-прамысловых і прамысловых умовах, укаранены ў вытворчасць са значным эканамічным эфектам або прыняты для ўкаранення.

*Галіна прымянення* – прадпрыемствы па вытворчасці комплексных мінеральных удабрэнняў на аснове кіслотнай перапрацоўкі фасфатнай сыравіны, а таксама комплексных бяхлорных удабрэнняў.

## РЕЗЮМЕ

Дормешкин Олег Борисович

Ресурсосберегающие технологии комплексных удобрений  
на основе многокомпонентных водно-солевых систем

*Ключевые слова:* технология, конверсионные процессы, кислотное разложение, растворимость, отходы, ресурсосбережение, комплексные удобрения, карбамид, нитрат калия, калийаммонийфосфат, свойства, суспензия, раствор.

*Цель работы* – разработка научных основ и создание новых ресурсосберегающих технологий получения серосодержащих, бесхлорных, жидких и суспендированных комплексных удобрений на основе многокомпонентных водно-солевых систем.

*Методы исследования.* Химический анализ проводился по стандартным методикам, принятым в технологии неорганических веществ. Физико-химические исследования выполнены с использованием: ИК-Фурье спектрометра NEXUS, рентгеновских дифрактометров Дрон-4-13 и D8 Advance фирмы «Bruker», сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610LV, прибора по измерению удельной поверхности NOVA 2000, ротационного вискозиметра RVDV-2+ с программным обеспечением «RheoCalc Brookfield».

*Полученные результаты и их новизна.* Обобщен и проанализирован обширный экспериментальный материал по исследованию химического взаимодействия в многокомпонентных водно-солевых системах  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$ , карбамидсодержащих системах на основе фосфорнокислых суспензий, системе  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  в области разбавленных растворов; изучению химического, фазового, дисперсного состава промежуточных, побочных и целевых продуктов, зависимости между условиями процессов разложения, конверсии, осаждения, старения и качеством продуктов, что позволило разработать научные основы и создать новые ресурсосберегающие технологии комплексных серосодержащих NPS и NPKS удобрений, бесхлорных водорастворимых удобрений, а также жидких и суспендированных комплексных удобрений, обеспечивающие значительное сокращение количества образующихся отходов либо их полное исключение.

*Степень использования.* Новые технологии прошли отработку в опытно-промышленных и промышленных условиях, внедрены в производство со значительным экономическим эффектом либо приняты для внедрения.

*Область применения* – предприятия по производству минеральных удобрений, выпускающие комплексные удобрения на основе кислотной переработки фосфатного сырья, а также бесхлорные комплексные удобрения.

## SUMMARY

Dormeshkin Oleg Borisovich

Resource saving production technologies of complex fertilizers  
on the basis of multicomponent water-salt systems

*Keywords:* production technology, conversion processes, acid decomposition, solubility, wastes, resource saving, complex fertilizers, urea, potassium nitrate, potassiumammoniumphosphate, property, suspension, solution.

*The purpose of research:* development of scientific bases and creation of new resource saving technologies of producing complex sulfur-containing, nonchlorine, liquid and of suspended complex fertilizers on the basis of multicomponent water-salt systems.

*Research techniques.* The chemical analysis was carried out in accordance with the standard methods of application procedures, adopted in inorganic substances technology. The physicochemical examinations were fulfilled by using: FT-IR spectrometer NEXUS, X-ray diffractometers Dron-4-13 and D8 Advance "Bruker" corporations, scanning supermicroscope JEOL JSM-5610LV, instrument on measuring specific surface area NOVA 2000, digital viscometer RVDV-2+ with the software "RheoCalc Brookfield".

*The received results and their novelty.* The vast experimental material on investigation of chemical interaction in the multicomponent water-salt systems has been summarized and analyzed. The systems are:  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // NO_3^-, Cl^- - CO(NH_2)_2 - H_2O$ ,  $K^+, NH_4^+ // H_2PO_4^-, Cl^- - H_2O$ , urea containing systems on the basis of phosphate suspension,  $CaO - H_3PO_4 - H_2SiF_6 - H_2O$  in the field of dilute solutions. Chemical, phase, dispersible composition of intermediate, accessory and main products, dependence between conditions of processes of decomposition, conversion, precipitation, strain ageing and quality of yields have been studied, which allowed to develop scientific bases and create new resource saving production technologies of complex NPS and NPKS fertilizers with sulphur, water-soluble nonchlorine fertilizers, as well as liquid and suspended complex fertilizers, ensuring significant decrease amount of generating wastes or their complete elimination.

*The degree of use:* The new production technologies have been applied at pilot-plants and introduced into production with the significant economic benefit, or accepted for introduction.

*The sphere of application* – enterprises for production of mineral fertilizers, including complex fertilizers on the basis of phosphate raw materials acid processing as well as production of water-soluble nonchlorine complex fertilizers.

1074 ар.

**БІБЛІЯТЭКА**  
Беларускага дзяржаўнага  
тэхналагічнага ўніверсітэта

Научное издание

Дормешкин Олег Борисович

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ СИСТЕМ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук  
по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ

Ответственный за выпуск О.Б. Дормешкин

Подписано в печать 03.04.2008. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,7. Уч.-изд. л. 2,8.  
Тираж 60 экз. Заказ *132* .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13а.  
ЛП № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.