



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

А.И. Швейкин

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «ПНИПУ») на диссертацию Сахарова Ильи Юрьевича «Модернизация стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком производства нитрата аммония», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ

Актуальность темы исследования

Нитрат аммония – это один из важнейших продуктов химической промышленности с многолетней историей производства. Нитрат аммония используется в сельском хозяйстве в качестве основного вида азотных минеральных удобрений для повышения урожайности и увеличения удельного веса отечественного продовольствия в общем объеме внутреннего рынка России при этом его потребление постоянно увеличивается. Соответственно мощности производств нитрата аммония необходимо также постоянно наращивать.

Промышленная технология производства нитрата аммония способом взаимодействия растворов азотной кислоты с газообразным аммиаком на территории Российской Федерации является основной, но имеет ряд недостатков, как с экономической, так и с экологической точки зрения. В связи с этим, в настоящее время задачи модернизации технологии, направленные на увеличение мощности агрегатов и сокращение экологической нагрузки производства нитрата аммония на окружающую среду, являются актуальными.

Диссертация Сахарова Ильи Юрьевича, посвященная модернизации стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком производства нитрата аммония, предлагает решение проблемы увеличения производительности, сокращения потерь и снижения количества вредных веществ в газовых выбросах технологии производства нитрата аммония.

Для решения поставленных в работе задач автор провел теоретическое и экспериментальное исследование с разработкой нового устройства исследования процесса нейтрализации азотной кислоты в паровой и жидкой фазах, обобщил литературные и экспериментальные данные и выявил закономерности процесса нейтрализации азотной кислоты в жидкой и паровой фазах аммиаком, разработал способ предотвращения процессов образования аэрозоля нитрата аммония. Автор также создал способ получения нитрата аммония и устройство для его осуществления, улучшил стадию нейтрализации азотной кислоты аммиаком, для сокращения газовых выбросов при одновременном увеличении производительности.

Основные научные результаты и оценка их новизны

1. Установлено, что в условиях производства нитрата аммония на стадии нейтрализации растворов азотной кислоты аммиаком определяющую роль играет химическая реакция взаимодействия аммиака с парами азотной кислоты, которая протекает менее чем за одну секунду с образованием паров нитрата аммония, конденсирующихся в твердые частицы. Размер образующихся частиц зависит от концентрации паров нитрата аммония в газе и составляет 1,5-4,5 мкм.

2. Установлено, что при уменьшении концентрации азотной кислоты в растворе до 4 % и менее основным процессом на стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком становится не химическая реакция взаимодействия аммиака с парами азотной кислоты, а процесс абсорбции аммиака. В режиме абсорбции значение равновесной упругости аммиака над поверхностью раствора определяется температурой и практически не зависит от концентрации азотной кислоты в жидкости.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена применением стандартных и новых запатентованных методик анализа, современных приборов для экспериментальных исследований, подтверждена сходимостью и воспроизводимостью значений результатов эксперимента, полученных различными методами, и согласованностью с данными литературы.

Выводы автора являются достоверными, имеют существенную новизну и могут быть использованы для организации режима процесса нейтрализации азотной кислоты аммиаком в условиях промышленного производства нитрата аммония.

Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в выявлении особенностей процессов, протекающих при нейтрализации азотной кислоты аммиаком в условиях производства нитрата аммония, которые связаны с установлением закономерностей процессов нейтрализации азотной кислоты аммиаком в зависимости от концентрации реагентов. Определен переход от режима химической реакции в газовой фазе к режиму абсорбции аммиака в зависимости от концентрации азотной кислоты в жидкости. Установлена зависимость размера образующихся частиц нитрата аммония от концентрации паров нитрата аммония в газовой фазе, определена равновесная упругость аммиака над растворами в режиме абсорбции.

Практическая значимость состоит в разработке модернизированной технологии нейтрализации азотной кислоты аммиаком в которой подача азотной кислоты в зону реакции осуществляется в виде циркулирующего раствора с концентрацией менее 4% (масс.). Определено число вихревых контактных устройств в нейтрализаторе, брызготуманоловушке, и технологические параметры процесса фильтрации. В разработанной технологии реализован новый способ получения нитрата аммония и устройство для его осуществления, на которые получен патент Российской Федерации. Разработанная технология, способ и устройство могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях химической промышленности.

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс и используются в курсе лекций, лабораторных и практических занятий для направления подготовки бакалавров 15.03.02 Технологические машины и оборудование, и подготовки специалистов направления 18.05.01 «Автоматизированное производство химических предприятий».

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и трёх приложений. Работа изложена на 137 страницах, содержит 77 формул, 49 рисунков, 10 таблиц. Список использованных источников составляет 122 наименования.

Во введении обоснована актуальность и представлена степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи, определен объект и предмет исследования. Кроме того, представлены: научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов диссертационной работы.

В первой главе выполнен анализ промышленных способов производства нитрата аммония, выделены их основные достоинства и недостатки. Определено, что в производстве нитрата аммония способом нейтрализации азотной кислоты аммиаком, связанный азот теряется на стадии нейтрализации с отходящими газами в виде целевого продукта – нитрата аммония и азотной кислоты.

Выполнен анализ закономерностей физико-химических процессов, технологических схем и оборудования стадии нейтрализации. Показано, что в литературе не уделено достаточного внимания описанию закономерностей процесса нейтрализации азотной кислоты аммиаком, газофазной реакции между аммиаком и парами азотной кислоты. При этом выявлено, что стратегическая цель развития промышленных способов производства нитрата аммония направлена на увеличение производительности посредством увеличения единичной мощности агрегатов и сокращения потерь связанного азота. Однако эта цель до сих пор не достигнута. Кроме того, действующее оборудование обладает значительным гидравлическим сопротивлением, а способ подачи реагентов в зону контакта фаз ограничивает не только его производительность, но и эффективность процесса.

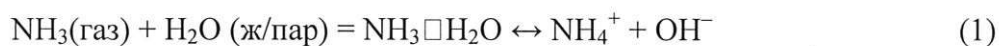
Во второй главе дана характеристика объекта и предмета исследования, приведены методики и методология исследования, описаны экспериментальные установки, используемые в процессе проведения исследований, и порядок проведения исследований. Приведено описание разработанного устройства для определения объема газа, участвующего в массообменном процессе на которое получен патент РФ.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований закономерностей процессов, протекающих на стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком в условиях производства нитрата аммония и их обсуждение.

В промышленной технологии процесс нейтрализации проводят в аппарате использования тепла нейтрализации (ИТН), в котором организовано несколько ступеней контакта фаз (реакционный стакан и четыре промывные тарелки в сепарационной части аппарата). Кроме того, процесс нейтрализации проводят при высокой температуре, которая достигает 138°C и более с высокой концентрацией азотной кислоты в зоне реакции. Последнее объясняет то, что в парогазовой смеси, поступающей в сепарационную часть промышленного аппарата, содержится большое количество паров азотной кислоты и образующихся в паровой фазе мелких частиц нитрата аммония, которые в сепарационной части аппарата на промывных тарелках эффективно не улавливаются, составляют потери связанного азота и загрязняют газовый выброс производства нитрата аммония. Повышение производительности на стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком типовыми подходами достигают: увеличением числа аппаратов, с соответствующим увеличением

капитальных и эксплуатационных затрат, при этом потери связанного азота и загрязнение газового выброса производства нитрата аммония пропорционально увеличиваются.

Исследование процесса нейтрализации азотной кислоты аммиаком в режиме абсорбции показало, что в условиях производства нитрата аммония скорость процесса абсорбции аммиака практически не зависит от концентрации азотной кислоты в жидкости, зависит от концентрации аммиака в газе и температуры. Режим абсорбции аммиака раствором азотной кислоты характеризуется последовательностью химических реакций:



Установлен переход процесса нейтрализации от режима абсорбции в режим газофазной реакции в области концентраций азотной кислоты в жидкости 2-4%, при этом доля газофазной реакции в процессе нейтрализации увеличивается пропорционально концентрации паров азотной кислоты. Исследование газофазной реакции аммиака с парами азотной кислоты показало, что мольная концентрация частиц нитрата аммония практически равна мольной концентрации паров азотной кислоты. Режим газофазной реакции в процессе нейтрализации является нежелательным поскольку требует дополнительной очистки паровой фазы, при этом улавливание образующихся мелких частиц нитрата аммония в отходящем газовом потоке со стадии нейтрализации типовыми промывными скрубберами малэффективен.

В работе показано, что при уменьшении концентрации азотной кислоты в зоне реакции может быть достигнуто существенное сокращение концентрации паров азотной кислоты и мелких частиц нитрата аммония, на первой по ходу газа ступени контакта фаз в аппарате. Это свидетельствует о том, что при организации способа подачи азотной кислоты в циркулирующий через нейтрализатор раствор может быть решена сложная научно-техническая проблема сокращения вредного выброса токсичных веществ и одновременного увеличения производительности стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком в новой конструкции нейтрализатора.

Для раскрытия особенностей процесса нейтрализации азотной кислоты аммиаком проведено исследование закономерностей процесса по запатентованной автором методике. Показано, что процесс нейтрализации в турбулентном режиме смешения фаз протекает менее чем за одну секунду, диффузия аммиака через пограничный газожидкостный слой лимитирует режим абсорбции. Интенсификация процесса нейтрализации требует применения способов уменьшения толщины пограничного слоя, увеличения площади поверхности контакта фаз, что достигается применением вихревых контактных устройств и аппаратов.

Для тонкой очистки отходящих газов от частиц нитрата аммония в работе предложены волокнистые фильтрующие элементы. Показано что эффективность и регенерация фильтра обеспечивается орошением фильтра. Эффективность орошаемого волокнистого фильтра, состоящего из трех слоев: два слоя стекловолокна и промежуточный слой фторопластового волокна, достигает 99,8%. Зависимость эффективности фильтра от размера частиц объясняется инерционным механизмом фильтрации, гидравлическое сопротивление фильтра при скорости фильтрации 0,2 м/с составляет 80 мм вод. ст. Разработанный фильтр может быть рекомендован для использования в конструкции вихревой брызготуманоловушки для

очистки паровой фазы, поступающей со стадии нейтрализации и стадии выпаривания производства нитрата аммония.

Исследована реакция термического разложения нитрата аммония. Установлено, что над продукционным раствором нитрата аммония в паровой фазе за счет процесса термического разложения всегда будут присутствовать частицы нитрата аммония, концентрация которых возрастает с увеличением концентрации азотной кислоты в растворе, что требует принятия эффективных технологических приемов и способов снижения концентрации азотной кислоты не только в зоне реакции, но и во всем объеме продукционного раствора.

На основе проведенных исследований, показано, что причинами потерь связанного азота и загрязнения сокового пара являются: газофазная реакция, термическое разложение нитрата аммония, наличие парциального давления аммиака и низкое качество перемешивания фаз в действующих аппаратах нейтрализаторах. Предложен новый подход, включающий сокращение процессов образования токсичных веществ в газовых выбросах и тонкую очистку паровой фазы на волокнистых фильтрах, при одновременном повышении производительности модернизированным способом нейтрализации.

Научно обоснованный способ нейтрализации, устройство для его осуществления и разработанная модернизированная технология позволяют повысить степень поглощения аммиака, снизить удельные потери связанного азота, а также увеличить производительность стадии получения нитрата аммония, что важно при создании производств большой единичной мощности.

В четвертой главе представлена разработка промышленной установки нейтрализации азотной кислоты аммиаком, схема интеграции модернизированной установки в агрегат АС-72, аппаратное оформление стадии нейтрализации. Представлено сравнение технико-экономических показателей, действующих и разработанной установки стадии нейтрализации, приведен эколого-экономический анализ.

Заключение содержит основные результаты диссертационной работы и рекомендации по дальнейшей разработке, апробации и внедрению результатов работы в промышленное производство нитрата аммония.

Подтверждение соответствия публикаций и автореферата основным положениям диссертации

По материалам диссертации Сахарова Ильи Юрьевича опубликовано 13 научных трудов, в том числе: семь статей в журналах из перечня ВАК, одна статья, индексируемая базой Scopus, два свидетельства о государственной регистрации изобретений, три материала докладов на международных и всероссийских конференциях.

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание, актуальность темы исследования, научную новизну, практическую и теоретическую значимость, содержит все основные положения и выводы. Полученные соискателем результаты и заключение свидетельствуют о достижении поставленной цели.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы Сахарова Ильи Юрьевича представляют научно-практический интерес:

– для предприятий химической промышленности Российской Федерации, специализирующихся на производстве нитрата аммония: АО «Аммоний» г. Менделеевск, ПАО «КуйбышевАзот» г. Тольятти, АО «Минудобрения» г. Россось, ОАО «Тольяттиазот», АО «ФосАгро» г. Череповец, Филиал «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» г. Кирово-Чепецк,

АО «Новомосковская АК «Азот», АО «Невинномысский Азот», ПАО «Акрон» г. Великий Новгород, и др.);

– для научно-исследовательских институтов (ОАО «ГИАП», АО «НИИК»)
– для вузов («Пермский национальный исследовательский политехнический университет», «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», и др.)

Результаты выполненной работы могут быть рекомендованы для совершенствования технологии производства нитрата аммония на стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком. Разработанная модернизированная технология нейтрализации азотной кислоты аммиаком рекомендуется к внедрению в промышленное производство.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

1. В предложенном техническом решении диссертантом рекомендовано снизить концентрацию азотной кислоты на стадии абсорбции аммиака до величины 4%. При этом не указано, как это повлияет на энергозатраты на выпаривание раствора нитрата аммония.

2. В действующей технологической схеме получения нитрата аммония предусмотрено введение модифицирующих добавок серной и фосфорной кислот. Диссертант не учел их влияние т.к. все эксперименты по абсорбции аммиака проведены без указанных добавок. Следовало бы оценить их влияние на эффективность нейтрализации азотной кислоты аммиаком.

3. Как учитывается коэффициент трения, вес верхнего поршня в разработанном устройстве и объем поглощенного азотной кислотой аммиака (патент RU 2659462) при определении объема газа? Влияют ли эти факторы на точность измерений объема газа?

4. На рисунке 2 автореферата (стр.7) приведена некорректная подпись «зависимость объема прореагировавшего аммиака по времени от гидродинамики процесса».

5. Термин «улов тумана» трудно отнести к корректному научному термину.

Следует отметить, что перечисленные вопросы и замечания не отражаются на новизне, полезности и положительной оценке диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Сахарова Ильи Юрьевича на тему «Модернизация стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком производства нитрата аммония» представляет собой завершенное исследование, выполненное на достаточно высоком уровне. Является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технологические решения, по модернизации стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком для увеличения производительности и одновременного сокращения количества вредных веществ в отходящих газах, имеющие существенное значение для развития химической промышленности страны.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ по направлениям исследований:

п.1. Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты;

п.2 Явления переноса тепла в веществах в связи с химическими превращениями в технологических процессах. Кинетика и термодинамика химических и межфазных превращений;

п.4 Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты;

По актуальности поставленных задач, методическому и научному уровню исследований, новизне и практической значимости диссертационная работа Сахарова Ильи Юрьевича отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции).

На основании вышеизложенного можно заключить, что Сахаров Илья Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Химические технологии» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», протокол от « 27 » ноября 2025 г. № 8 (в обсуждении приняли участие 20 человек, в том числе 12 кандидатов и 2 доктора наук).

Отзыв подготовили:

Заведующий кафедрой «Химические технологии»
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»,
доктор технических наук, профессор
Диссертация защищена по специальности:
05.17.07 - Химическая технология топлива

Рябов
Валерий Германович

Профессор кафедры «Химические технологии»
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
доктор технических наук, профессор
Диссертация защищена по специальности:
05.17.01 - Технология неорганических веществ

Пойлов
Владимир Зотович

Подписи В.Г. Рябова, В.З. Пойлова заверяю
Ученый секретарь Ученого совета
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»



Макаревич
Владимир Иванович

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Тел./факс: +7 (342) 219-80-67

e-mail: rector@pstu.ru

<https://pstu.ru/>

Вход. № 05-2721

« 10 » 12 20 25г.

подпись