

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»
(наименование)

18.04.01 Химическая технология
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Экобиотехнология
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Совершенствование технологии получения азотных удобрений
смешанного типа на ПАО «КуйбышевАзот»

Студент

А.А. Плотников

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.х.н., доцент Ю.Н. Орлов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Литературно-патентный обзор способов получения сульфат-нитрата аммония (СНА), его свойств и методов производства.....	10
1.1 Основные направления производства азотных удобрений	10
1.2 Способы получения СНА и его свойства	13
1.3 Методы производства СНА	18
1.4 Краткий обзор проекта по выпуску сульфат-нитрат аммония (СНА) на площадке ПАО «КуйбышевАзот».....	23
Глава 2 Анализ технологий по производству азотных удобрений	31
2.1 Характеристика и основные физико-химические свойства азотных удобрений, выпускаемых ПАО «КуйбышевАзот».....	31
2.2 Основные особенности технологий по производству однокомпонентных и комплексных азотных удобрений.....	36
2.3 Анализ технологии нейтрализации аммиака азотной кислотой с последующей очисткой выхлопных газов на площадке ПАО «КуйбышевАзот»	43
Глава 3. Анализ актуальности получения азотного удобрения смешанного типа на площадке ПАО «КуйбышевАзот»	49
3.1 Установка получения гранулированного сульфат-нитрат аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот».....	52
3.2 Исследование процесса и технологии производства	54
3.3 Новое решение в азотно-серном питании растений.....	54
3.4 Характеристика и свойства сульфат-нитрата аммония	55
3.5 Исследование свойств сульфат-нитрата аммония.....	58
3.6 Анализ технологии получения сульфат-нитрата аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот» и способы ее усовершенствования. 60	
3.7 Материальный баланс предлагаемого усовершенствования	78
Заключение	100
Список используемой литературы	102

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования

Отрасль минеральных удобрений в Российской Федерации является системообразующей для российского химического комплекса. Отрасль включает производство всех видов агрохимического сырья и полного ассортимента минеральных удобрений – односторонних азотных и калийных, сложных и комплексных удобрений.

В 2014 году «потребление минеральных удобрений отечественными сельскохозяйственными товаропроизводителями составило 2532 тыс. тонн, что составляет 13% от объема производства. Структура производства минеральных удобрений в России представлена на рисунке 1» [1].

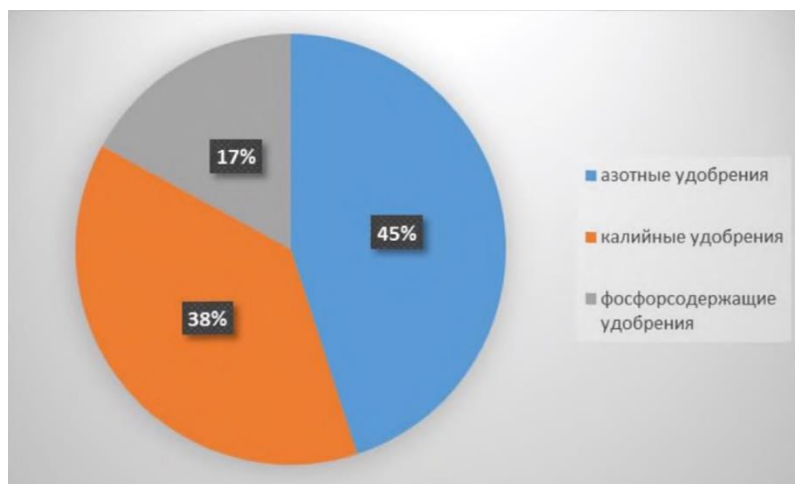


Рисунок 1 – Структура производства минеральных удобрений

«К числу азотных удобрений относится жидкий и водный аммиак, сульфат, нитрат и фосфаты аммония, нитраты натрия и кальция, карбамид и их смеси. Способы получения азотных удобрений разнообразны, ниже приводится краткое описание лишь некоторых наиболее значимых технологий» [2-3]. В Российской Федерации и в ряде других стран наиболее широкое применение получили сульфат аммония, карбамид, нитрат аммония

и их смеси, поэтому в качестве примера рассмотрим только эти азотные удобрения.

«Азотные удобрения классифицируются по различным показателям, преимущественно по количеству и форме азота: аммонийные (NH_4), нитратные (NO_3) и амидные (NH_2) удобрения [3]. Аммиачная селитра NH_4NO_3 является основным видом азотных удобрений, образуется при взаимодействии HNO_3 с NH_3 . Карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ наряду с аммиачной селитрой является основным видом азотных удобрений, образуется при взаимодействии CO_2 с NH_3 . Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ является аммонийным удобрением, образуется при взаимодействии H_2SO_4 с NH_3 . Жидкие азотные удобрения значительно дешевле твердых: безводный аммиак получают сжижением газообразного аммиака, аммиачную воду получают растворением NH_3 в воде» [1]

«В последние годы основные производители и потребители азотных удобрений (Индия и Китай) наращивают их производство высокими темпами, что уже привело к профициту азотных удобрений. В сложившейся ситуации конкурентоспособность России среди экспортеров может резко упасть, что должно привести к большему использованию азотных удобрений внутри страны. Например, действующие в России производства аммиачной селитры, проектировавшиеся в 1960-1970-х годах, используют единую технологию (в прямом смысле этого слова), выпускают одинаковую по качеству продукцию, соответствующую требованиям единого ГОСТ 2-2013, марка «Б», сорт высший. Действующие производства аммиачной селитры нуждаются в дальнейшей модернизации, разной в зависимости от типа технологии» [1].

«Важнейшая отличительная особенность современных химических технологий: непрерывное возрастание требований к качеству продукта при ухудшении качества исходного минерального сырья» [4]. Однако, «достигнутый в действующих производствах высокий уровень качества гранулированных удобрений, природоохранных характеристик в сочетании с

низкими капиталовложениями и расходом энергоресурсов не стимулировал активную разработку новых технологий и продуктов на основе аммиачной селитры» [1].

«Из известных разработок к перспективным наилучшим технологиям следует отнести технологии с гранулированием плава во вращающихся барабанах, в частности в малогабаритных барабанах со встроенным кипящим слоем. К преимуществам этой технологии по сравнению с башенной следует отнести помимо получения гранул с более высокой прочностью лучшую приспособленность к производству других продуктов на основе аммиачной селитры – с другими добавками. Особенно это относится к интеграции производств на одном оборудовании аммиачной и известково-аммиачной селитры, с добавками фосфорсодержащих солей и серы.

Учитывая актуальность проблемы, необходимы мероприятия по привлечению средств компаний, производящих азотные удобрения, к разработке аналогичной технологии в Российской Федерации, чтобы не потерять суверенитет страны в этой области техники» [1].

Основные требования к новым технологиям следующие: простота технологии производства; экологическая безопасность; высокая эффективность; возможность использования низкокачественного сырья и отходов производств.

Азотные удобрения имеют следующие основные недостатки: высокая скорость растворения и закисление почв. С учетом изложенного выше, основными направлениями их усовершенствования являются:

- технология пролонгированных азотных удобрений;
- технология азотных удобрений, содержащих все основные формы азота;
- технология комплексных пролонгированных азотсодержащих удобрений [3, 5-10].

Объект исследования: технологии получения азотных удобрений смешанного типа.

Предмет исследования: улучшение физико-химических свойств азотных удобрений смешанного типа.

Цель исследования: совершенствование технологий производства азотных удобрений смешанного типа для получения целевых продуктов с улучшенными физико-химическими свойствами и потребительскими характеристиками, способных заменить традиционные азотные удобрения.

Гипотеза исследования состоит в том, что если обеспечить поступление покрывающего реагента в технологический процесс в расплавленном состоянии, то это позволит усовершенствовать технологию процесса установки и существенно оптимизировать дополнительную стадию производства добавки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ способов получения сульфат-нитрата аммония (СНА), его свойств и методов производства и определить основные перспективные направления в технологии минеральных азотных удобрений.
2. Выполнить анализ, систематизацию и обобщение научно-технической информации по теме исследования.
3. Проанализировать технологию получения сульфат-нитрата аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот» и предложить способы ее усовершенствования.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: научные труды отечественных и зарубежных ученых: специалистов НИИ по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова, Кирово-Чепецкого химического комбината имени Б.П. Константинова, Дусло А.С. (Словакия), Honeywell International Inc.

Базовыми для настоящего исследования явились также: работы Захаренко В.А., Гаврилова В.С., Крутько Н.П., Ильина А.П. в области производства и применения минеральных удобрений.

Методы исследования: проведение анализа литературных источников, проведение сравнительных анализов технологий, проведение расчетов материальных балансов.

Опытно-экспериментальная база исследования: технологическая установка получения сульфат-нитрата аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот».

Научная новизна исследования заключается в предложении усовершенствованной технологии процесса установки и существенной оптимизации дополнительной стадии производства добавки.

Теоретическая значимость исследования заключается в проведении сравнительного анализа способов получения сульфат-нитрата аммония (СНА), его свойств и методов производства. Представлены характеристики самых распространенных минеральных азотных удобрений, составлены рекомендации для минеральных удобрений смешанного типа для сохранения необходимых для растений питательных веществ, представлены определенные правила совместимости и смешиваемости некоторых удобрений эффективность получения минеральных удобрений смешанного типа. Обоснованы преимущества СНА, по сравнению с нитратом аммония. Проведен патентный поиск отечественных и зарубежных методов и способов получения и производства СНА в качестве минерального азотсодержащего удобрения.

Практическая значимость исследования заключается в представлении анализа технологии нейтрализации аммиака азотной кислотой с последующей очисткой выхлопных газов на площадке ПАО «КуйбышевАзот», анализа актуальности получения азотного удобрения смешанного типа на площадке ПАО «КуйбышевАзот». Представлена технология получения сульфат-нитрата аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот» и способы ее усовершенствования. Технологическая установка получения СНА на площадке ПАО «КуйбышевАзот» отличается использованием в технологическом процессе способов рекуперации тепла,

выделяющегося в процессе получения СНА, для подогрева технологических потоков, а также использованием тепла окружающей среды для испарения жидкого аммиака, поступающего на производство, чем обеспечивается энергоэффективность функционирования производства. Например, выдача очищенного технологического конденсата на производство азотной кислоты для дальнейшего использования и ряд других усовершенствований. Предложен усовершенствованный вариант для схемы узла покрывающего реагента, согласно которому в новой технологической схеме покрывающий реагент (минеральное масло) поступает на производство уже в расплавленном состоянии со склада реагентов из емкости объемом 50 м³ по трубопроводу в резервуар покрывающего реагента.

В целом, технологическая схема установки сульфата алюминия по проекту 2015 года обладает рядом существенных недостатков:

- наличие дополнительного оборудования и трубопроводов. Например, пневмокамерный насос, емкость перемешивания, приборы КИПиА и регулирующая арматура;
- дополнительные затраты рабочего времени и энергоресурсов на обслуживание и подготовительные операции. Например, биг-беги с реагентом транспортируются со склада автопогрузчиком и поднимаются электротельфером, время на растворение реагента, расход парового конденсата;
- дополнительные отходы производства, повышенные затраты на их хранение и утилизацию. Например, пустая тара, деревянные поддоны;
- сложность технологической схемы.

Предложено изменение, которое позволило усовершенствовать технологию процесса установки и существенно оптимизировать дополнительную стадию производства добавки. Согласно предложению, сульфат алюминия поставляется автотранспортом на склад предприятия в жидком виде в кубитейнерах. Реагент $Al_2(SO_4)_3$ в виде водного раствора с

концентрацией от 48 до 55 % масс. доставляется автопогрузчиком со склада реагентов в кубитейнерах объемом 1 м³ в производственный корпус

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались полным отражением и изучением используемой в работе литературы, применением методов анализа применяемого оборудования, техники и проведением расчетов согласно современным научным требованиям.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в поиске и анализе научной, технической и патентной литературы по теме исследования, выборе и обосновании способов и методов получения сульфат-нитрата аммония. Изучена технология на производственной площадке ПАО «КуйбышевАзот» и предложен способ ее усовершенствования.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующей конференции: принята к публикации статья Плотникова А.А. «Совершенствование технологии получения азотных удобрений смешанного типа» в материалах Международной научно-практической конференции «Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации», состоявшейся 09.06.2020.

На защиту выносятся:

1. Технические решения по совершенствованию технологий производства азотных удобрений смешанного типа для получения целевых продуктов с улучшенными физико-химическими свойствами и потребительскими характеристиками, которые могут быть реализованы на площадке ПАО «КуйбышевАзот».

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 21 рисунок, 13 таблиц, список использованной литературы (85 источников). Основной текст работы изложен на 111 страницах.

Глава 1. Литературно-патентный обзор способов получения сульфат-нитрата аммония (СНА), его свойств и методов производства

1.1 Основные направления производства азотных удобрений

Как свидетельствует мировой опыт, для создания новых предприятий химического профиля необходимы огромные усилия, существенные временные и финансовые затраты промышленных предприятий и специализированных отраслевых научно-технологических организаций. «Учитывая, что за прошедшие 15-20 лет после 90-х годов ассортимент продукции на химических предприятиях, которые были построены в советское время, не претерпел значительных изменений, а объем выпуска продукции несколько сократился, то здесь следует отметить снижение производительности труда в отрасли» [1]. Как известно, рост производительности труда способствует высокой эффективности производства.

В последние годы в связи с экономическими кризисами «объем производства азотных удобрений в России резко сокращался, но одновременно возрастали требования к качеству минеральных удобрений. Это определяется как экономическими, так и экологическими соображениями. Однородность гранулометрического состава, высокая прочность гранул, их низкая истираемость и одновременно шероховатость поверхности, препятствующая сегрегации тукосмесей – все эти требования становятся решающими у потребителя при выборе поставщика из большого ряда конкурентных предложений» [1].

«Часть азотных удобрений отечественных производителей сегодня по данным показателям не удовлетворяет мировым требованиям. В связи с этим, проблемы разработки технологий получения удобрений, удовлетворяющих требованиям мировых стандартов, переработка некондиционного азотного

удобрения в продукт высшего сорта, утилизации твердых отходов производства минеральных удобрений остаются актуальными» [1].

«Модернизация существующих предприятий в сегменте азотных удобрений с целью повышения энергоэффективности, ресурсосбережения и экологической безопасности позволит сохранить конкурентоспособность на глобальном рынке. Модернизация мощностей также позволит снизить негативное воздействие производств минеральных удобрений на окружающую среду при ужесточении и общей гармонизации экологических требований с международными экологическими стандартами» [1].

«Важным фактором конкурентоспособности российских производителей станет расширение производства сложных и комплексных удобрений, адаптированных под современные потребительские предпочтения. Рост данных продуктовых направлений потребует от компаний собственных научно-исследовательских разработок и технологий в области производства и применения минеральных удобрений» [1].

«Также очень существенной проблемой для производителей минеральных удобрений является низкий показатель производительности труда. На многих отечественных химических предприятиях азотной промышленности, в том числе на «ПАО «КуйбышевАзот», существуют крупные ремонтно-механические цеха, собственный ремонтный персонал, занимающийся капитальным ремонтом цехов, транспортные цеха, цеха озеленения и т.д., что не свойственно зарубежным западным фирмам. Для выполнения подобных работ у них привлекаются специализированные организации. Если освободиться от всего этого, то показатель производительности труда на наших химических предприятиях заметно повысится» [1].

Весьма «важным аспектом повышения производительности труда и в целом конкурентоспособности предприятия является непрерывная модернизация производства, то есть внедрение современных технологий. Технический прогресс в сфере материального производства не является

самоцелью. Он является единственным неисчерпаемым источником снижения издержек производства, совершенствования ассортимента и повышения качества продукции, а также роста производительности труда, как на данном предприятии, так и в смежных отраслях (например, через ассортимент и качество удобрений – в сельском хозяйстве) и в экономике страны в целом» [1].

«В области производства твердых азотных удобрений одним из направлений технического прогресса является переход от производства приллированных удобрений к производству гранулированных. Так в развитых странах (сначала в Северной Америке, а затем и в Западной Европе) все более широким спросом стали пользоваться сухие тукосмеси. Для высококачественных сухих тукосмесей предпочтительнее использовать гранулированные удобрения (технологический процесс производства гранулированных удобрений позволяет регулировать размер гранул, гранула обладает большей прочностью), что предотвращает сегрегацию гранул в процессе транспортировки удобрений, сокращает образование пыли и позволяет более равномерно распределять компоненты смеси по обрабатываемой площади при внесении удобрений с помощью дисковых разбрасывателей. С каждым годом все большую долю в общем спросе на азотные удобрения на мировом рынке занимают гранулированные удобрения» [1].

«Следует отметить, что в производстве карбамида и аммиачной селитры еще не исчерпаны возможности сокращения издержек производства, как за счет снижения энергопотребления, так и за счет увеличения мощностей агрегатов. Например, так называемые мега агрегаты карбамида уже пущены в эксплуатацию в странах Ближнего Востока» [1].

«Одной из основных задач в технологии азотных удобрений является разработка способа получения удобрения, которое содержит все формы азота в оптимальных соотношениях, при этом необходимо, чтобы удобрения не вызывали подкисление почвы и являлись пролонгированными» [1].

1.2 Способы получения СНА и его свойства

Азотсодержащие соединения имеют большое значение для питания растений минеральными элементами. Известно, что азот входит в состав белков, которые в свою очередь, являются основной составляющей растительной ткани. Также известно, что азот входит в состав хлорофилла, который помогает растениям осваивать углерод из диоксида углерода (содержится в атмосфере). Для того, чтобы поддерживать и повышать урожайность разнообразных культур в сельском хозяйстве каждый год, важно обеспечить поступление в почву азота (в доступной для усвоения растениям и форме). Достичь этого можно с помощью азотных удобрений, которые подразделяются на:

- органические удобрения (навоз, торф, компост), содержащие, кроме азота, и др. элементы питания растений;
- минеральные удобрения, выпускаемые промышленностью;
- так называемые «зелёные удобрения» (сидераты).

Известно несколько основных видов минеральных азотных удобрений, выпускаемых промышленностью:

- аммиачные, в которых азот содержится в виде свободного аммиака;
- аммонийные – азот содержится в виде катиона NH_4 ;
- нитратные – азот содержится в виде аниона NO_3 ;
- амидные – азот содержится в виде аминогруппы NH_2 ;
- смеси – азот содержится сразу в нескольких формах.

Содержащие азот минеральные удобрения обладают хорошей растворимостью в воде, поэтому растения легко усваивают, содержащийся в них азот. Качество таких удобрений оценивается по количеству содержания азота, величине растворимости в воде, по физиологическому воздействию на почвенные растворы, а также по гранулометрическому составу, гигроскопичности, слеживаемости и другим параметрам. В таблице 1 приведены характеристики самых распространенных минеральных азотных

удобрений. Самое наибольшее применение из них получили сульфат аммония, нитрат аммония, карбамид (мочевина) и их смеси [14].

Таблица 1 – Характеристики самых распространенных минеральных азотных удобрений

Удобрения	Рассеиваемость после хранения	Гигроскопичность	Объёмная масса удобрения, (кг/м. ³)	Среднее содержание азота, (%)	Слѣживаемость	Химическая формула
Сульфат аммония	Хорошая (при влажности не более 2%)	Очень слабая	800	20,5-21,5	Слабая	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Аммиак водный	—	—	910	20,0	—	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Аммиак безводный	—	—	620	82,3	—	NH_3
Кальциевая селитра	Удовлетворительная	Очень сильная	900-1100	17,0	Сильная	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Натриевая селитра	Удовлетворительная	Умеренная	110-1400	16,0	Слабая	NaNO_3
Карбамид (мочевина) кристаллическая	Плохая	Очень слабая	650	46,0	Слабая	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
Карбамид (мочевина) гранулированный	Хорошая	Очень слабая	650	46,0	Не слѣживается	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
Нитрат аммония кристаллический	Плохая	Очень сильная	840	34,7-35,0	Сильная	NH_4NO_3
Нитрат аммония гранулированный	Хорошая	Очень сильная	820	34,7-35,0	Слабая	NH_4NO_3
Хлористый аммоний.	Удовлетворительная	Слабая	600	26,0	Умеренная	NH_4Cl

Минеральные удобрения смешанного типа –это продукт, полученный путем механического смешивания уже готовых минеральных удобрений различными способами, например, перемешивание компактирование (прессование). Для того, чтобы избежать потери необходимых для растений питательных веществ крайне важно соблюдать определенные правила совместимости и смешиваемости некоторых удобрений (рисунок 2). Так,

например, нельзя смешивать аммиачные удобрения с щелочными удобрениями, так как при этом теряется наиболее важный элемент – азот. Также, например, только перед использованием можно смешивать мочевины (карбамид) с нитратом аммония ввиду очень высокой гигроскопичности получаемой сухой смеси – поэтому, если требуется длительное хранение смешанного удобрения, лучше использовать его жидкую форму на основе водных растворов нитрата аммония и карбамида, так называемые жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) [15].

Удобрения	Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	Аммиачная селитра, нитрофоска	Натриевая, кальциевая, калийная селитры	Мочевина	Суперфосфат	Фосфоритная и костная мука	Преципитат	Калийная соль, хлористый калий	Известь, зола	Навоз, куриный помет
Сульфат аммония, аммофос, диаммофос	●	●	○	●	○	○	○	●	●	●
Аммиачная селитра, нитрофоска	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●
Натриевая, кальциевая, калийная селитры	○	●	●	○	○	○	○	○	○	●
Мочевина	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○
Суперфосфат	○	○	○	●	●	○	○	○	●	●
Фосфоритная и костная мука	○	○	○	○	○	●	○	○	●	●
Преципитат	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●
Калийная соль, хлористый калий	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●
Известь, зола	●	●	○	○	●	●	●	○	●	●
Навоз, куриный помет	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●

Условные обозначения: ● Можно смешивать, ○ Можно смешивать только перед использованием, ● Нельзя смешивать

Рисунок 2 – Совместимость минеральных удобрений

Очень сильная гигроскопичность нитрата аммония затрудняет его длительное хранение и последующее применение, особенно в странах с теплым и влажным климатом (южные регионы). В таком случае для улучшения физико-химических свойств (повышение рассыпчатости и

прочности гранул, уменьшения слёживаемости и гигроскопичности) нитрат аммония сплавляют с другими, менее гигроскопичными солями, с которыми он в той или иной мере вступает в химические реакции, например, с сульфатом аммония [16]. «При этом образуется нитратно-аммонийная смесь, получившая название сульфат-нитрат аммония СНА. Известно несколько разнообразных способов получения и производства СНА:

- путем простого механического смешивания аммонийного сульфата и нитрата аммония (в соотношении 65% и 35% соответственно);
- путем внесения сухого аммонийного сульфата в плав нитрата аммония с дальнейшим высушиванием (так называемая лейна-селитра);
- путем нейтрализации аммиаком смеси серной и азотной кислоты (так называемая монтан-селитра)» [17].

Основной характеристикой такого смешанного удобрения, является наличие азота одновременно в двух его формах: аммонийной NH_4^+ и нитратной NO_3^- . Благодаря высокому содержанию аммонийного азота, такое минеральное удобрение обладает пролонгированным действием, поскольку ион аммония фиксируется в почве и не вымывается из нее, подобно нитратам. Основным преимуществом СНА, по сравнению с нитратом аммония, является наличие в его составе серы, которая присутствует в удобрении в доступном для растений виде – иона сульфата. Если сравнивать с сульфатом аммония, то в СНА содержится больше азота, причем значительная его часть находится в легкодоступной для растений форме – нитратной [18].

Такое минеральное смешанное главным образом применяется при наличии потребности в дополнительных источниках азота (N) и серы (S) и в этом его большая ценность. Также для удовлетворения возникающих потребностей в питании растущих растений, поскольку СНА содержит N. Дополнительно к этому СНА обеспечивает наличие и является отличным

источником S, которая выполняет многочисленные важные функции в растениях, включая синтез протеинов.

Азот, содержащийся до 20% в аммонийном виде, обеспечивает увеличенный период доступности этого элемента для растений, которые имеют долгий вегетационный период. Азот, содержащийся до 7% в нитратном виде, обеспечивает быструю реакцию растений на внесение удобрения в почву, потому что нитраты очень быстро потребляются растениями и участвуют в метаболизме растений [18].

СНА «представляет собой гранулированное азотное удобрение, типично содержащее около 26% азота и 13% серы (32,5% SO_3). Кроме того, внесение этого минерального удобрения способствует повышению доступности в почве таких элементов, как фосфор, марганец, железо и бор. Присутствие в составе удобрения серы способствует улучшению поглощения растениями азота, а также других макро- и микроэлементов» [18].

В спецификации на материал СНА компании «CFIh» сообщается «Поскольку азотная часть присутствует в виде аммония, сульфат-нитрат аммония часто применяется на затопляемых почвах для выращивания риса, в то время как другие минеральные удобрения на нитратной основе являются плохим выбором, вследствие потерь азота через денитрификацию.

Раствор, содержащий растворенный сульфат аммония, часто добавляют к гербицидным составам для послевсходового опрыскивания с целью улучшения их эффективности в борьбе с сорняками. Эта практика повышения эффективности гербицида сульфат-нитратом аммония особенно эффективна, если используемая для полива вода содержит значительные концентрации кальция, магния или натрия» [19].

1.3 Методы производства СНА

Давно известно и широко используется во всем мире несколько методов и способов получения и производства СНА, которые можно условно объединить в три большие группы.

Первая группа. Метод производства основан на технологии компактирования (прессования). Суть этого метода заключается в том, что уже готовые минеральные удобрения (чаще всего используются гранулы или кристаллы) перемалываются и смешиваются до образования однородной массы, а затем спрессовываются. «Таким образом происходит смешение на молекулярном уровне (кристаллическая решетка смешиваемых компонентов не разрушается). По своему химическому составу такое минеральное удобрение представляет собой дойную смесь соли сульфата аммония (содержится 65-70%) и соли нитрата аммония (содержится 35-40%)» [18].

Вторая группа – «здесь, согласно производственной технологии, происходит сплавление нитрата аммония с сульфатом аммония, в результате чего образуется двойная аммонийная соль, которая по своему химическому составу представляет собой смесь двойной соли сульфат-нитрат аммония (содержится около 70%) и сульфата аммония (содержится около 30%). Полученный таким методом продукт имеет значительно более низкую гигроскопичность (по сравнению с нитратом аммония) и практически не взрывоопасен. После процесса грануляции охлаждения готового продукта на готовые гранулы наносится защитное покрытие, препятствующее слеживаемости и пылеобразованию» [18].

Третья группа. Метод производства СНА основан на нейтрализации аммиаком смеси двух кислот: серной и азотной. Такая технология производства также позволяет получить смесь сульфат-нитрата аммония [18].

В ходе проведения настоящего исследования, перечисленных выше методов и способов получения и производства СНА в качестве минерального азотсодержащего удобрения, были проанализированы научные работы и

публикации, которые описывают способы получения СНА и относятся к промышленному производству. В таблице 2 представлены номера публикаций (патенты) и их правопреемники.

Таблица 2 – Публикации способов получения СНА

Патенты	Правопреемник
RU2483048C2 RU2011136893A	«НИИ по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова»
RU2227792C1 RU2003104550A RU2344112C1	«Кирово-Чепецкий химический комбинат имени Б.П. Константинова»
US8623315B2 US20100047149A1 RU2279416C2 RU2581399C2	Honeywell International Inc
RU2005114344A RU2385311C2	Дусло, А.С. (Sk), Дусло, А.С.

Так, в некоторых исследованиях (научных работах) было обнаружено, что простое смешивание сульфата аммония и нитрата аммония не приводит к полной реакции и/или к завершению реакции между ними. Даже в идеальных условиях и с учетом взятых в равных мольных соотношениях нитрата аммония и сульфата аммония, реакция не заканчивается образованием нового соединения, которое содержит равные моли этих веществ. Вместо этого, продуктами такой реакции являются двойные соли, но уже с другими пропорциями, которые вдобавок смешаны с непрореагировавшим сульфатом аммония и/или нитратом аммония.

Например, авторами одного изобретения (патент США №4481048) было предложено использовать нитрат аммония в форме двойной соли – диэтилендиаминтринитрата – благодаря его увеличенным взрывоопасным

своим свойствам и большей склонности к детонированию. Другое же изобретение (патент США №6689181) с целью снижения опасных свойств нитрата аммония способствовало предложению использовать его в форме двойной соли с сульфатом аммония.

Являясь владельцем патента RU2279416C2B, «Хонэйвелл Интернешнл Инкорпорейтед» сообщает: «двойные соли, состоящие из $\text{NH}_4\text{SO}_4 \cdot 2(\text{NH}_4\text{NO}_3)$ и $\text{NH}_4\text{SO}_4 \cdot 3(\text{NH}_4\text{NO}_3)$ (в дальнейшем двойная соль 1:2 и двойная соль 1:3 соответственно), были выделены и охарактеризованы. Продукт 1:3 выделен из водного раствора и об этом было сообщено уже в 1909 г. (Reicheretal., Chemish Weekblad. 3 (Jan.). 51-56 (1909)). Scheinmakersetal. сообщил в 1910 г. в той же самой публикации (Volume 6, 1910, pages 51-56) о выделении двойной соли 1:2, так же как о двойной соли 1:3, из водных растворов ... способы получения, о которых сообщают, описывают получение однородных гранул удобрения из сульфата нитрата аммония. Большинство продуктов являются просто смесями сульфата аммония и нитрата аммония, а не специфическими кристаллическими структурами, так как химические композиции, о которых сообщают, не отражают никаких специфических соединений. Исключением является патент US2762699, выданный на процесс производства двойной соли 1:2» [20]. Далее следует, что «продукты указанных процессов характеризуются низкой устойчивостью к разрушению, склонностью к адсорбции влаги и спеканию. Например, в FP1368035 утверждают, что удобрение – сульфат нитрат аммония не устойчив при хранении. Бельгийский патент 388046 перечисляет несколько способов, которые используют добавки, для ликвидации этих проблем. Склонность к спеканию из-за поглощения влаги снижается при добавлении амфотерных оксидов металлов» [20].

В другом исследовании Дусло, А.С. (Sk), Дусло, А.С., которые являются авторами патента RU2385311C2, был описан иной способ получения двойной соли нитрата аммония путем приготовления жидкой пульпы (рисунок 3). Метод основан на обработке раствора, формируемого

расплавлением смеси солей сульфата аммония и нитрата аммония. При этом способе: «в расплав нитрата аммония вводят кристаллический сульфат аммония и другие добавки, изменяя при этом содержание исходных веществ и качество конечного продукта» [21]. «Полученную таким образом «разбавленную суспензию с соответствующим содержанием воды смешивают со второй частью кристаллического сульфата аммония и с возвратным (рециклическим) продуктом» [21].

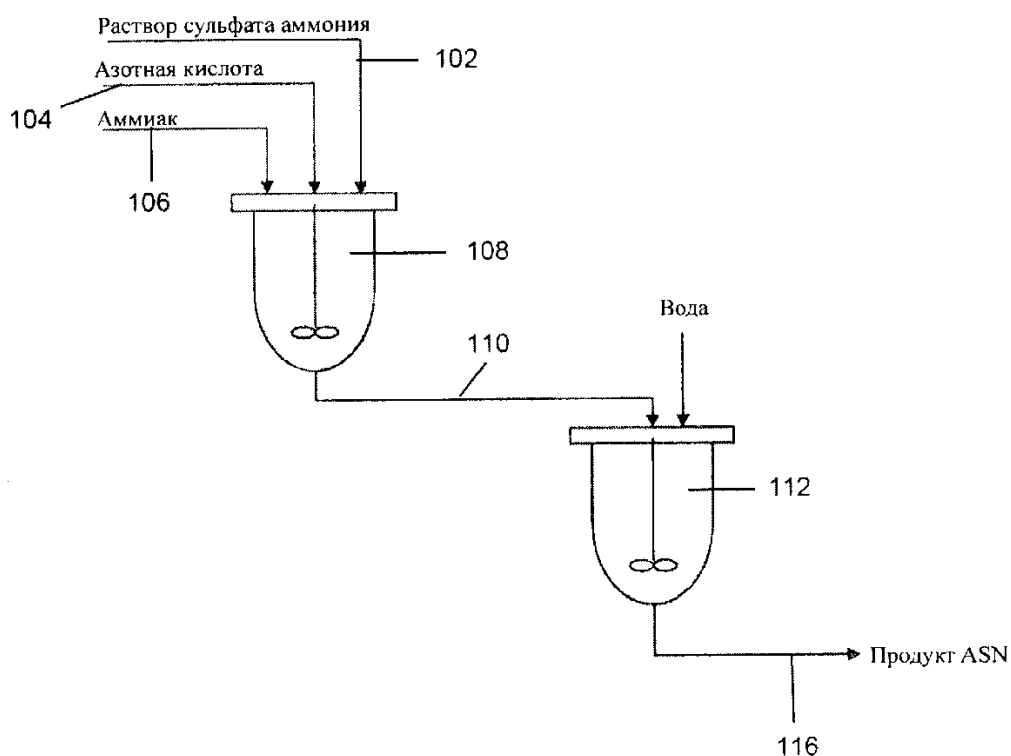


Рисунок 3 – Один из способов получения СНА

«Таким образом, темп растворения кристаллического сульфата аммония и, следовательно, темп образования двойных солей в реакционной суспензии повышаются за счет увеличения поверхности, используемого кристаллического сульфата аммония (например, путем размола крупных гранул фракций кристаллов сульфата аммония)» [22].

«Полученная таким образом двойная соль, обычно, используется в качестве удобрения и в целом обладает желаемым уровнем содержания нитрат-ионов и относительно высокой устойчивостью к детонации. Недостаток этой технологии заключается в том, что для расплавления сульфата аммония используют относительно высокие температуры (от 175°C до 200°C) в результате чего происходит термическое разложение компонентов реакции. При таких высоких температурах значительно повышается разложение нитратов с образованием оксидов азота, что, в свою очередь, приводит к потере азота в конечной продукции. Такое изобретение относится к способу получения СНА в виде гранулированного удобрения» [22].

Другой способ производства СНА предусматривает следующие стадии: «отверждения расплава-пульпы, содержащей сульфат аммония и нитрат аммония, в слое для грануляции с образованием твердых гранул сульфат-нитрат аммония, содержащих двойную соль сульфат-нитрат аммония» [23]. Так, на стадии отверждения и «грануляции расплав-пульпу распыляют на подвижный слой гранул. Расплав-пульпа как покрывает, так и укрупняет гранулы слоя для увеличения размера. Согласно некоторым вариантам осуществления гранулы выгружают в сушильный барабан, который, если предусмотрен, обеспечивает дополнительное время прокатки для гранул. Гранулы переходят на операцию сортировки, где фракцию продукта извлекают, а материал с меньшим размером и с большим размером возвращают обратно в грануляционный барабан» [23].

Описанное выше изобретение (рисунок 4) позволяет получать СНА для его дальнейшего использования в качестве минерального азотсодержащего удобрения, которое характеризуется пониженной чувствительностью к влаге (обладает меньшей гигроскопичностью) и не считается опасным (взрывчатым) материалом по сравнению с нитратом аммония.

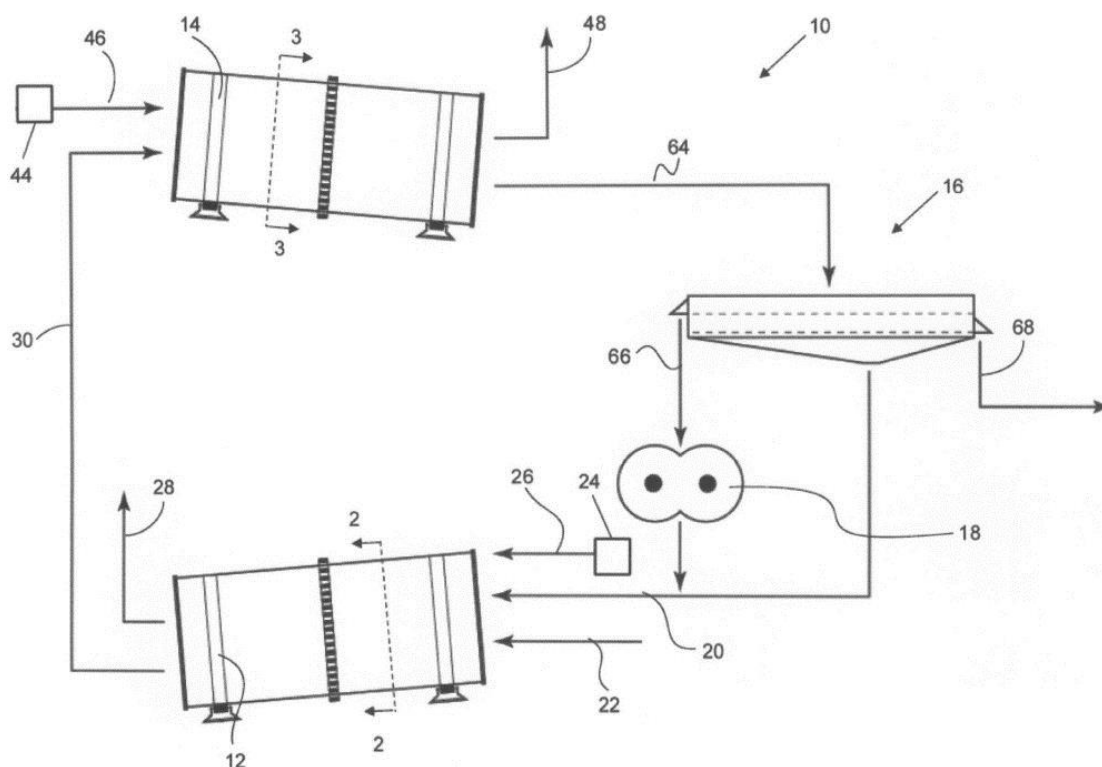


Рисунок 4 – Схема способа грануляции

Дополнительно известны реальные ситуации, когда была поставлена задача по проектированию установки производства минеральных удобрений, которая не позволяет применить обычные технологии, такие как, например, технологическая схема с обычным барабаном-гранулятором, после которого установлен барабан-осушитель. Такая схема была бы пригодна, например, для гранулирования комплексных(смешанных) минеральных удобрений, но такая технологическая схема является не пригодной для гранулирования чистого нитрата аммония.

1.4 Краткий обзор проекта по выпуску сульфат-нитрат аммония (СНА) на площадке ПАО «КуйбышевАзот»

Еще в 2003 году на ПАО «КуйбышевАзот» планировалось ввести две установки по выпуску 12 видов смесей мощностью 40 000 тон в год каждая,

чтобы начать производство тукосмесей. Однако после исследования потребительского спроса в компании решил отложить этот проект [13].

Сегодня ПАО «КуйбышевАзот» производит аммиачную селитру, карбамид, сульфат аммония (компактированный и кристаллический), серосодержащие тукосмеси, жидкие удобрения (КАС), жидкие серосодержащие удобрения (КАС+S; РСП).

Для получения раствора КАС в промышленности во всем мире используют единственный способ: смешение растворов карбамида и аммиачной селитры. Схема технологического процесса получения раствора КАС представлена на рисунке 5. Главными стадиями производства являются: «смешение, охлаждение, разбавление, нейтрализация аммиака, фильтрация. В технологиях разных разработчиков могут существенно отличаться лишь источники сырья. Технология производства при этом неизменна. В связи с этим выбор технологии безальтернативен» [1].

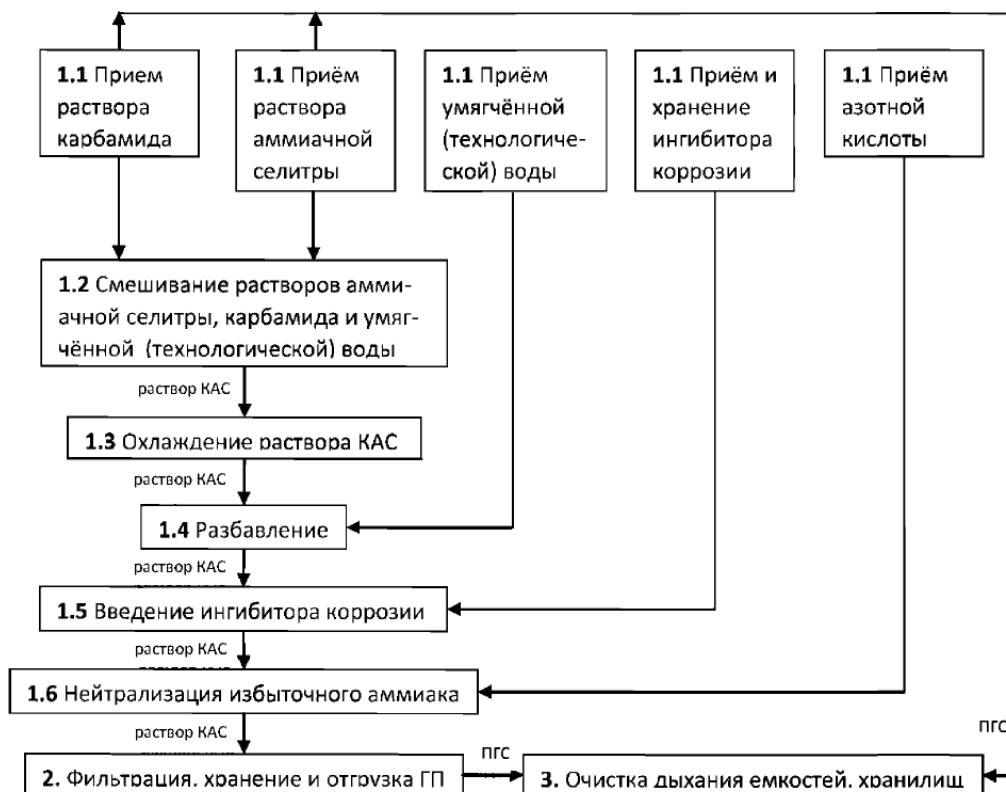


Рисунок 5 – Схема технологического процесса

ПАО «КуйбышевАзот» планирует наращивать долю продуктов с более высокой добавленной стоимостью в структуре выпуска азотных удобрений. Достичь поставленных целей предполагается благодаря расширению действующих мощностей и строительству новых установок – созданию специальных продуктов, ориентированных на конкретные страны, рынки и сегменты. Одним из направлений в реализации этой программы стало строительство нового производства сульфат-нитрат аммония – комплексного минерального удобрения с улучшенными потребительскими свойствами. Рынками сбыта продукта станут страны Европы, Азии, Северной и Южной Америки.

Базовый инженерный пакет документов и ключевые процессы (предоставлены фирмой «CFI holding») направлены на реализацию проекта по выпуску СНА на производственной площадке ПАО «КуйбышевАзот», а также совершенствование технологии производства минеральных удобрений, соответствующих высоким стандартам качества, для повышения плодородия почв и обеспечения сельских хозяйств удобрением с улучшенными потребительскими характеристиками.

«В рамках проекта будет построена установка сульфат-нитрата (нитросульфат) аммония мощностью 1100 тонн/сутки (до 385000 тонн/год).

Продукт отличается улучшенными физико-химическими свойствами, повышенной прочностью гранул, 100% рассыпчатостью, хорошо хранится (не пылит и не слеживается), полностью соответствует требованиям современных агротехнологий, обеспечивая очень высокую однородность внесения.


Целью проекта является удовлетворение потребности рынка в сульфат-нитрате аммония, продукта с более высокой добавленной стоимостью, пользующимся спросом на экспортных рынках при постепенном замещении объемов производства аммиачной селитры.

Организация производства по выпуску сульфат-нитрата аммония на территории ПАО «КуйбышевАзот» позволит создать новое экономически

эффективное и экологически безопасное производство и повысить эффективность и привлекательность предприятия» [24].

«Реализация проекта по выпуску сульфат-нитрата аммония на производственной площадке ПАО «КуйбышевАзот» позволит в большей степени удовлетворить потребности рынка в этом продукте. Сульфат-нитрат аммония пользуется большим спросом у потребителей, так как имеет улучшенные потребительские характеристики и полностью соответствует современным технологиям, применяемым в сельском хозяйстве. Появление нового производства позволит не только освоить выпуск продукции, соответствующей высоким стандартам качества, но и значительно расширит ее ассортимент с более высокой добавленной стоимостью» [24].

На рисунке 6 представлена информация на сайте «CFI holding Pte. Limited» [25].



The image shows a screenshot of the website for CFI holding Pte. Ltd. The header features the company logo and name, along with navigation links: About Us, Publications, Career, Contact Us, and References. Below the header is a menu with categories: TECHNOLOGIES, ENGINEERING, SERVICES, FERTILIZERS, EXPLOSIVES, EVAPORATION & CRYSTALLIZATION, and AIR & WATER TREATMENT. The main content area displays two photographs: one of an industrial facility interior and another of a large industrial structure at night. Below the photos is a section titled 'MAIN ENGINEERING PROJECT REFERENCES' with a table of project details.

MAIN ENGINEERING PROJECT REFERENCES	
Client	"KUIBYSHEVAZOT" JSC
Location	Russia
Capacity	1 100 MTPD
Services	Basic Engineering Package and Key Process for a new Ammonium Sulphate Nitrate (ASN) / Ammonium Nitrate (AN) / Calcium Ammonium Nitrate (CAN) granulation plant MTPD to be built in Russia.
Date of completion	Expected in 2017.

Рисунок 6 – Информация на сайте «CFI holding Pte. Limited»

Предоставленный лицензиаром базовый пакет документов включает в себя общие технические условия для установки гранулирования нитрата аммония и его производных. В этом документе лицензиар, используя свой опыт и знания, рекомендует инженерные решения, которые относятся к: строительной части (здание, отопление и вентиляция, общестроительные работы и т.д.), электроэнергии и КИПиА, области общих требований безопасности. Также предоставляет свои рекомендации по подбору оборудования и дополнительная иная конфиденциальная информация. Также в базовом проекте представлены схемы технологического процесса (рисунок 7).

В другом документе «описан осуществляемый в установке технологический процесс с целью предоставления эксплуатационному персоналу знаний и основных понятий об этом технологическом процессе» [26].

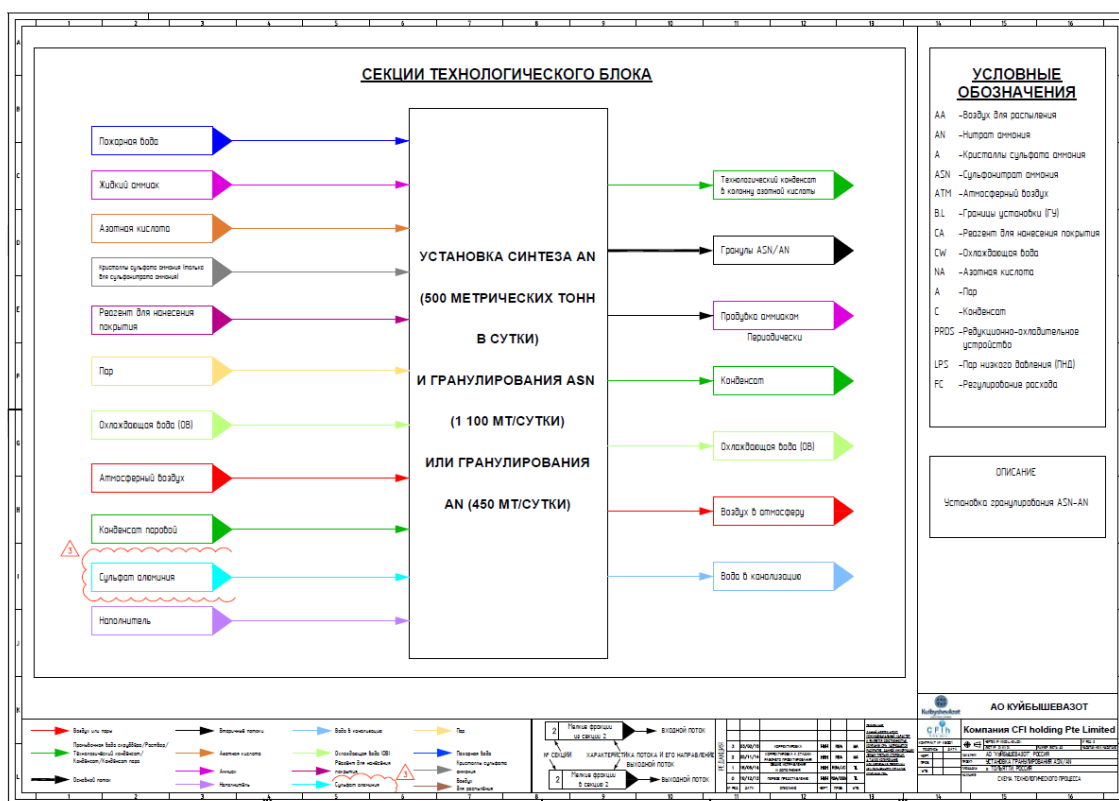
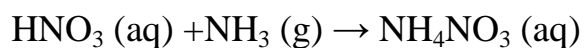


Рисунок 7 – Секции технологического блока

Далее сообщается о том, что «производство нитрата аммония осуществляется в соответствии со следующей химической реакцией:



Эта реакция является экзотермической, весьма сильной и приводит к образованию пара. Для получения суспензии сульфат-нитрата аммония расплав нитрата аммония смешивается с тонко измельченными кристаллами сульфата аммония. Если сульфат аммония не обладает высокой кислотностью, свободная вторичная реакция не происходит (за исключением частичного образования двойной соли сульфат-нитрата аммония)» [26].

Концентрация раствора нитрата аммония, производимого на стадии синтеза, на выходе из реактора (нейтрализатора) зависит от концентрации (приблизительно 54% (масс.)) азотной кислоты и температуры технологического процесса.

В массовом балансе показаны потоки и их характеристики для установки по производству сульфат-нитрата аммония, которая разработана для проектных условий ПАО «КуйбышевАзот».

Система управления технологическим процессом имеет большое значение как для обеспечения нормальной работы установки (запуск, останов и устойчивое состояние), так и для выполнения аварийных остановов или остановов для технического обслуживания установки. В принципах управления дано описание системы распределенного установкой, её назначение и управление этой системой. Описание систем управления (контуров) дается для понимания метода управления, при котором такие параметры процесса, как расход, температура, уровень, давление и др. будут поддерживаться на уровне заданных значений (уставок).

Инструкция по эксплуатации разработана на основании практического опыта специалистов компании «CFIh». Тем не менее, описанные в ней процедуры и условия эксплуатации могут быть изменены или усовершенствованы, если это потребуется после того, как начнется

промышленная эксплуатация установки по производству сульфат-нитрата аммония.

Также «описаны схемы и последовательность технологических процессов, процедуры запуска и останова, пуско-наладки и сдачи в эксплуатацию, а также типовые условия эксплуатации и вопросы безопасности, которые необходимо учитывать при эксплуатации установки» [27].

В руководстве по технике безопасности предоставлена информация о используемых и получаемых продуктах/материалах на установке (аммиак, азотная кислота и т.п.), производственный риск и передовой опыт (подробно описаны правила безопасности, которые должны соблюдаться на установке).

Дана спецификация на материалы: сульфат аммония, нитрат аммония, азотная кислота, аммиак, масло для покрытия и прочее. Каждая спецификация содержит информацию о материале и паспорт безопасности материала. Например, масло для покрытия является универсальным улучшителем удобрений, предназначенным для различных типов комплексных удобрений, и его использование особенно рекомендуется для НРК-типов, имеющих склонность к пылеобразованию (3).

Таблица 3 – Химические данные масла для покрытия

Внешний вид	При 20°C коричневая паста При 90°C прозрачная коричневая жидкость
Состав	Смесь анионных поверхностно-активных веществ в минеральном масле и парафинах
Относительная плотность при 85°C	855 кг/м ³
Температура воспламенения	>160°C (в закрытом тигле)
Вязкость при 85°C	17 МПа·с
Полярность	Анионный

Выводы к главе 1

На основе проведенного литературного обзора по новым направлениям в технологии минеральных азотных удобрений можно сделать следующие **выводы**:

- в технологии азотных удобрений необходимо разрабатывать способы получения пролонгированных азотных и комплексных азотсодержащих удобрений;
- в предлагаемых технологиях практически не уделено должного внимания вопросам оценки агрохимической эффективности получаемых удобрений.

Основные преимущества пролонгированных азотных удобрений: «повышение коэффициента использования удобрений; уменьшение потерь питательных веществ в период между внесением удобрений и усвоением их растениями; уменьшение загрязнения окружающей среды; улучшение качества продукции вследствие снижения количества нитратов в ней» [3, 11-12].

Глава 2 Анализ технологий по производству азотных удобрений

2.1 Характеристика и основные физико-химические свойства азотных удобрений, выпускаемых ПАО «КуйбышевАзот»

К числу азотных удобрений относится жидкий и водный аммиак, сульфат, нитрат и фосфаты аммония, нитраты натрия и кальция, карбамид и их смеси. Наибольшее применение из них получили сульфат аммония, карбамид, нитрат аммония и их смеси, поэтому ограничимся рассмотрением только этих соединений.

Сульфат аммония (СА) – бесцветное малогигроскопичное кристаллическое вещество, которое содержит 21,21% азота и практически не слеживается, поэтому внесение его в почву не вызывает затруднений. При нагревании выше 200°C разлагается с выделением аммиака и образованием кислых сульфатов аммония [28].

Полная диссоциация сульфата аммония на аммиак и серную кислоту происходит при 513°C. Растворимость в воде мало зависит от температуры и характеризуется данными, представленными в таблице 4 [29].

Таблица 4 – Зависимость растворимости сульфата аммония в воде от температуры

Наименование	Значение показателя					
	0	20	40	60	80	100
Температура, °С						
Растворимость, %	41,4	43,0	44,8	46,8	48,8	50,8

Недостатком СА как удобрения является большая физиологическая кислотность, так как при внесении в почву ион аммония усваивается растениями, а ион серы превращается в серную кислоту и подкисляет почвенные растворы. В связи с этим при систематическом применении СА необходимо осуществлять периодическое известкование почвы.

Карбамид (техническое название – мочеви́на) является полным амидом угольной кислоты. Чистый карбамид представляет собой бесцветные кристаллы с температурой плавления 132,7°C. При нагревании до температуры плавления карбамид разлагается с выделением аммиака. Образовавшаяся в результате изоциановая кислота вступает во взаимодействие с карбамидом с образованием биурета, который является вредной примесью в карбамиде, так как он токсичен для растений. Поэтому его содержание в карбамиде лимитируется и не должно превышать 0,6...0,9%. Карбамид хорошо растворяется в воде, причем с повышением температуры его растворимость резко возрастает, что подтверждается данными, представленными в таблице 5 [30].

Таблица 5 – Зависимость растворимости карбамида от температуры

Наименование	Значение показателя							
	0	20	40	60	80	100	120	132,7
Температуры, °С								
Растворимость, %	40,0	51,1	62,3	71,1	79,4	87,9	90,0	100,0

Следовательно, из водных растворов карбамида можно испарить всю влагу и перевести раствор карбамида в расплав. Это свойство широко используется в технологии. В водных растворах карбамид достаточно устойчив до температуры 80°C. Выше этой температуры он разлагается. Таким образом, при нагревании разбавленных водных растворов карбамид полностью разлагается на аммиак и диоксид углерода. Карбамид является слабым основанием, поэтому с кислотами он образует солеобразные соединения – нитрат карбамида и фосфат карбамида. С солями карбамид образует комплексные соединения, которые могут использоваться в качестве удобрений. Карбамид является самым концентрированным безбалластным азотным удобрением. Он содержит 46,6% азота, который легко усваивается растениями [30].

Для улучшения физических свойств карбамида – увеличения прочности гранул и уменьшения слеживаемости в плав карбамида перед грануляцией вводят кондиционирующие добавки – формальдегид или продукты конденсации карбамида с формальдегидом. Для уменьшения слеживаемости гранулы карбамида перед складированием подвергают обработке антислеживающими добавками – жирными кислотами, минеральными маслами и другими поверхностно-активными веществами по аналогии с производством гранулированной аммонийной селитры.

Как удобрение карбамид имеет преимущества перед АС. Он содержит больше азота, не взрывоопасен, менее гигроскопичен (гигроскопическая точка при 20°C составляет 80%), медленнее вымывается из почвы и не так сильно слеживается [30].

Нитрат аммония (техническое название – аммиачная или аммонийная селитра (АС)) представляет собой белое или бесцветное кристаллическое вещество с температурой плавления 169,6°C. Он содержит 35% азота в аммонийной и нитратной формах и является безбалластным азотным удобрением, которое широко используется в сельском хозяйстве [28].

Аммонийная селитра хорошо растворима в воде, причем с повышением температуры растворимость резко возрастает. Влияние температуры на растворимость характеризуется данными, представленными в таблице 6.

Таблица 6 – Влияние температуры на растворимость аммиачной селитры

Наименование	Значение показателя								
	0	20	40	60	80	100	120	140	169,6
Температуры, °С									
Растворимость, %	54,3	65,5	74,1	80,8	86,3	91,1	95,0	97,9	100,0

Характерной особенностью чистой аммиачной селитры является высокая гигроскопичность и способность слеживаться при хранении. Гигроскопичность аммиачной селитры характеризуется гигроскопической точкой, указывающей относительную влажность воздуха, при которой

удобрение, имеющее температуру окружающего воздуха, не теряет и не поглощает влагу из воздуха. Гигроскопические точки аммиачной селитры, которые измеряются в процентах относительной влажности, представлены в таблице 7. Процесс гранулирования селитры аммиачной позволяет добиться снижения скорости поглощения влаги из воздуха. Уменьшить влияние гигроскопичности на слеживаемость позволяет упаковка продукта в герметичную тару [29].

Таблица 7 – Зависимость гигроскопичности аммиачной селитры от температуры

Наименование	Значение показателя						
	10	15	20	25	30	40	50
Температуры, °С							
Гигроскопическая точка, %	75,3	69,8	66,9	62,7	59,4	52,5	48,4

Из данных таблицы 7 следует, что влажный и теплый климат весьма неблагоприятен для хранения селитры аммиачной. Чем меньше влажность продукта и ниже его температура при упаковке в тару, тем меньше будет слеживаемость при прочих равных условиях.

Для устранения свойственных АС недостатков на ее основе производят «комплексные и смешанные минеральные удобрения путем введения различных добавок, количество и состав которых колеблется в широком диапазоне. Введение в АС добавок питательных и других полезных элементов, в частности калия, кальция, микроэлементов, способствует повышению агрохимической эффективности удобрения при одновременном улучшении его физико-химических и потребительских свойств. Кроме того, введение в аммиачную селитру дополнительных неорганических веществ, менее опасных, чем аммиачная селитра, позволяет снизить ее пожароопасные и взрывоопасные свойства и расширить рынок сбыта» [31].

Основными недостатками твердых азотных удобрений являются:

- гигроскопичность,
- слеживаемость,

- высокие энергетические затраты на выпарку водных растворов,
- необходимость гранулирования и кондиционирования гранул,
- большие затраты труда на расфасовку удобрений, погрузочно-разгрузочные работы и на внесение удобрений в почву.

Этих недостатков лишены жидкие азотные удобрения. Однако в этих растворах присутствует свободный аммиак, что обуславливает его потери при внесении в почву. Поэтому при разработке составов жидких удобрений стремятся использовать водные растворы солей, не содержащих в своем составе свободный аммиак. К числу таких удобрений относятся смеси концентрированных растворов карбамида и аммонийной селитры, которые получили название растворов карбамидо-аммиачной смеси (КАС).

КАС – жидкое азотное удобрение, которое содержит от 28 до 32% азота. При основном внесении и по своему «действию на урожай сельскохозяйственных культур является высокоэффективным удобрением, равноценным аммиачной селитре или карбамиду» [32].

«Способ получения раствора КАС основан на смешении в определенном соотношении водных растворов карбамида и аммиачной селитры, нейтрализации свободного аммиака и ингибировании полученного продукта.

В зависимости от содержания азота, влияющего на температуру кристаллизации и, следовательно, на границы применения по климатическим условиям, удобрения жидкие азотные могут выпускаться следующих марок: КАС-28, КАС-30, КАС-32. Основные физико-химические свойства КАС представлены в таблице 8» [33].

Таблица 8 – Физико-химические свойства карбамидо-аммиачной смеси

Наименование показателя	Норма для марки		
	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Массовая доля селитры аммиачной, %	36,9-42,3	39,6-46,2	42,3-48,2
Массовая доля карбамида, %	28,3-32,4	30,4-34,7	32,5-36,9
Массовая доля воды, %	27,8-32,5	22,7-27,6	17,7-22,6
Массовое соотношение карбамида и АС, %	0,71-0,83	0,71-0,83	0,71-0,83

Продолжение таблицы 8

Наименование показателя	Норма для марки		
	КАС-28	КАС-30	КАС-32
Суммарная массовая доля азота, %	27,2-28,8	29,2-30,8	31,2-32,8
Плотность при 20 ⁰ С, кг/м ³	1261-1288	1285-1312	1306-1337
Вязкость при 20 ⁰ С, сП, не более	3	4	5
Температура кристаллизации, ⁰ С, не выше	-17	-10	-2
рН, не менее	7,0	7,0	7,0
Щелочность в пересчете на свободный аммиак, %	0,02-0,1	0,02-0,1	0,02-0,1

Растворы КАС имеют ряд преимуществ перед другими жидкими азотными удобрениями, так как практически не содержат свободного аммиака, что исключает потери азота при погрузке, транспортировке, хранении и внесении в почву. Его можно вносить с помощью высокопроизводительных агрегатов без одновременной заделки в почву, а также с поливной водой. После размораживания свойства КАС полностью восстанавливаются [18].

2.2 Основные особенности технологий по производству однокомпонентных и комплексных азотных удобрений

2.2.1 Общая информация

Сложные удобрения играют важную роль в повышении плодородия почвы и урожайности растений в сельском хозяйстве. В данной работе отражены основные направления в реализации поставленной Министерством промышленности, науки и технологии Российской Федерации задачи: не меняя основной технологии производства аммиачной селитры реализовать выпуск сложных азотных удобрений «с пониженными взрывоопасными свойствами по сравнению с аммиачной селитрой и улучшенными физико-химическими и агрохимическими характеристиками» [34].

«Проведенный анализ научной и патентной литературы показал, что для получения комплексных удобрений в качестве азотсодержащего компонента в основном используют нитрат аммония и карбамид, которые имеют высокую стоимость» [35-39]. «Сведения в научной и патентной литературе, обзор которых выполнен ранее в научно-исследовательской работе 1, по использованию сульфата аммония для получения комплексных удобрений весьма ограничены. Из числа разнообразных по своим свойствам минеральных удобрений наибольшим спросом у потребителей пользуются гранулированные комплексные удобрения. Сравнительный анализ различных способов гранулирования показал, что метод окатывания, по сравнению с другими способами гранулирования, обеспечивает более высокую производительность для получения продукта в виде сферических гранул» [40].

В качестве примера рассмотрим предложение компании «ThyssenKrupp Industrial Solutions» («ТиссенКрупп Индастриал Солюшнс»), которая предлагает полный диапазон установок по производству однокомпонентных и комплексных азотных удобрений, используя проверенные и конкурентоспособные технологии собственной разработки и предоставляемые известными лицензиарами [41].

2.2.2 Технологии производства однокомпонентных азотных удобрений

Для нейтрализации аммиачной селитры самыми широко используемыми являются два способа:

- 1) нейтрализация и испарение АС в вакууме,
- 2) нейтрализация АС под давлением.

Первый способ, который изображен на рисунке 8, пользуется самой большой популярностью, потому что требует самых низких инвестиционных затрат.

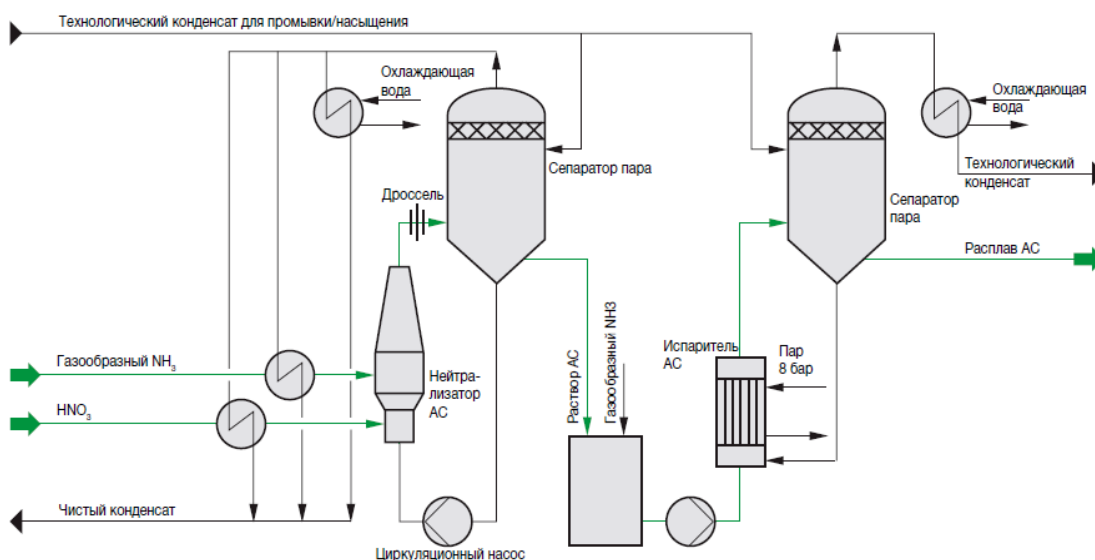


Рисунок 8 – Нейтрализация и испарение аммиачной селитры в вакууме

«Реакция происходит в нейтрализаторе, работающем при небольшом избыточном давлении, чтобы предотвратить кипение раствора аммиачной селитры в зонах реакции и смешивания, что сводит к минимуму потери аммиака. Затем раствор мгновенно испаряется под вакуумом через дроссельную заслонку на входе сепаратора пара, т.е. тепло реакции используется для испарения воды. По соображениям контроля и безопасности концентрация раствора АС обычно ограничивается 92% по массе. Более высокая концентрация, необходимая для дальнейших шагов переработки (гранулирование, приллирование), достигается за счет парового нагрева раствора под вакуумом. Отмытые в скруббере пары используются для подогрева сырья, избыточные пары конденсируются» [41].

Второй способ отличается тем, что система технологического пара работает под давлением выше атмосферного для более эффективной утилизации реакционного тепла. Реакционное тепло или его часть, которое содержится в покидающей нейтрализатор горячей аммиачной селитре, используется прямо на стадии окончательного концентрирования. Остаточный технологический пар также используется для подогрева сырья, избыточный пар конденсируется. В зависимости от назначения парового

конденсата необходимо отмыть часть пара или весь пар перед тем, как он конденсируется в отдельном паровом скруббере. Пар, образующийся при нейтрализации и испарении нитрата аммония, промывается либо прямо в сепараторе пара, либо в отдельной выпарной колонне [41].

Для производства сульфата аммония используются два наиболее распространенных способа:

- 1) в качестве побочного продукта при производстве капролактама,
- 2) нейтрализация серной кислоты аммиаком.

Первый способ производства сульфата аммония в качестве побочного продукта при производстве капролактама реализован на ПАО «КуйбышевАзот». Завершающими стадиями производства капролактама являются оксимирование циклогексанона путем его обработки водным раствором гидросиламинсульфата с последующей изомеризацией циклогексаноксима в капролактаме. На стадии оксимирования гидросиламинсульфат нейтрализуют аммиаком. Образовавшийся гидросиламин вступает во взаимодействие с циклогексаноном с образованием циклогексаноксима, который отделяют от водного раствора сульфата аммония и обрабатывают олеумом для изомеризации в капролактаме. После завершения изомеризации серную кислоту нейтрализуют аммиаком с образованием лактамного масла и раствора сульфата аммония, которые расслаиваются на водную и органическую фазы. Таким образом, на стадиях оксимирования и нейтрализации олеума получают водный раствор сульфата аммония с концентрацией от 34 до 43%. Этот раствор подвергают выпарке в выпарных аппаратах с кристаллизаторами, что обеспечивает получение крупнокристаллического сульфата аммония с размером кристаллов от 0,5 до 1,5 мм. Образовавшиеся кристаллы отделяют на центрифугах и подвергают сушке в аппаратах с кипящим слоем [42].

Второй способ производства сульфата аммония, который изображен на рисунке 9, заключается в том, что в результате прямой нейтрализации концентрированной серной кислоты газообразным аммиаком в реакторе

образуется высокий выход энергии, который позволяет сократить энергопотребление установки, необходимое для испарения воды из раствора.

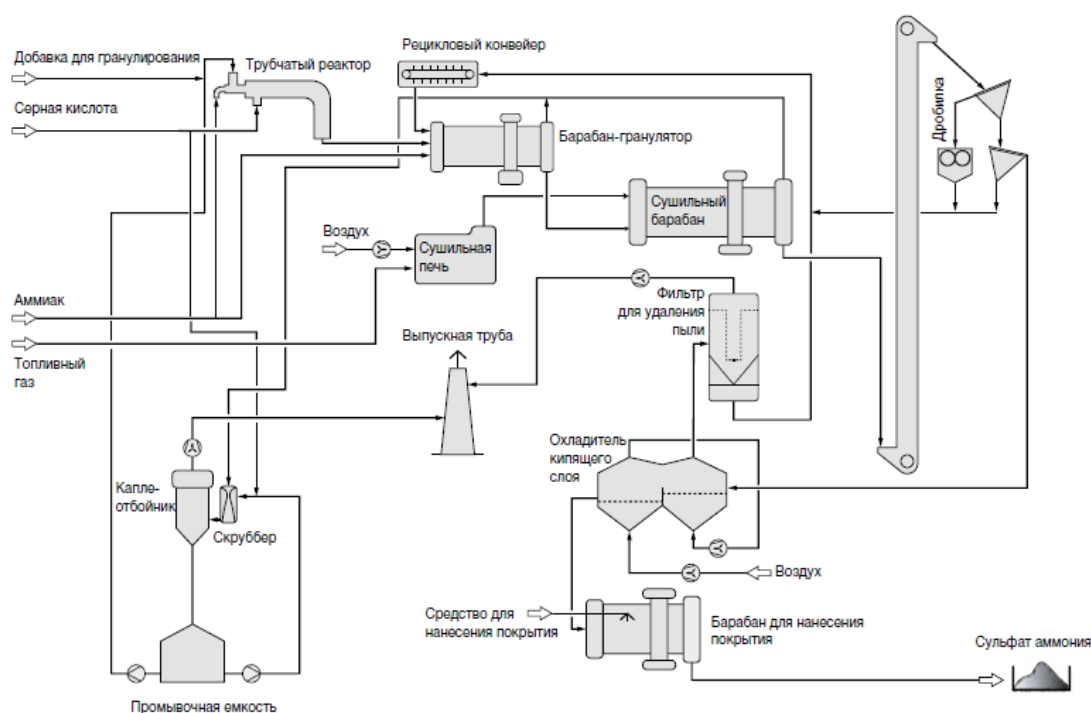


Рисунок 9 – Нейтрализация серной кислоты аммиаком

В виду того, что сульфат аммония имеет низкую растворимость в воде, в реактор необходимо добавлять дополнительную воду для получения текучего раствора или жидкой массы, которая затем подается во вращающийся барабан для гранулирования. В растворе еще остается серная кислота, которая нейтрализуется аммиаком внутри гранулятора вращающегося барабана. Переработанные мелкие частицы и материал растут на стенках барабана, пока не достигнут нужного размера [42].

2.2.3 Технологии гранулирования и приллирования азотных удобрений

Гранулирование придает веществу форму мелких кусков или гранул. Грануляция необходима для сообщения веществу улучшенных технологических свойств, для предотвращения слипания и увеличения сыпучести, для обеспечения возможности использования материала мелкими

порциями, для облегчения погрузки, транспортировки и использования. Технология производства гранулированных удобрений весьма разнообразна. Для производства гранулята применяются различные способы и методы. Например, чешуирование, гранулирование в барабанных или тарельчатых грануляторах, в лопастных смесителях-грануляторах или гранулирование в кипящем слое. Технология производства гранулированной АС с использованием лопастного смесителя-гранулятора изображена на рисунке 10 [42].

Процесс приллирования происходит в грануляционной башне. Он заключается в разбрызгивании с помощью гранулятора пластов, которые кристаллизуются в восходящем потоке холодного воздуха. Получаемые этим методом гранулы (прилли) достаточно однородны по размерам. Затем гранулят высушивается, просеивается, охлаждается и покрывается агентом для предотвращения слеживания [42].

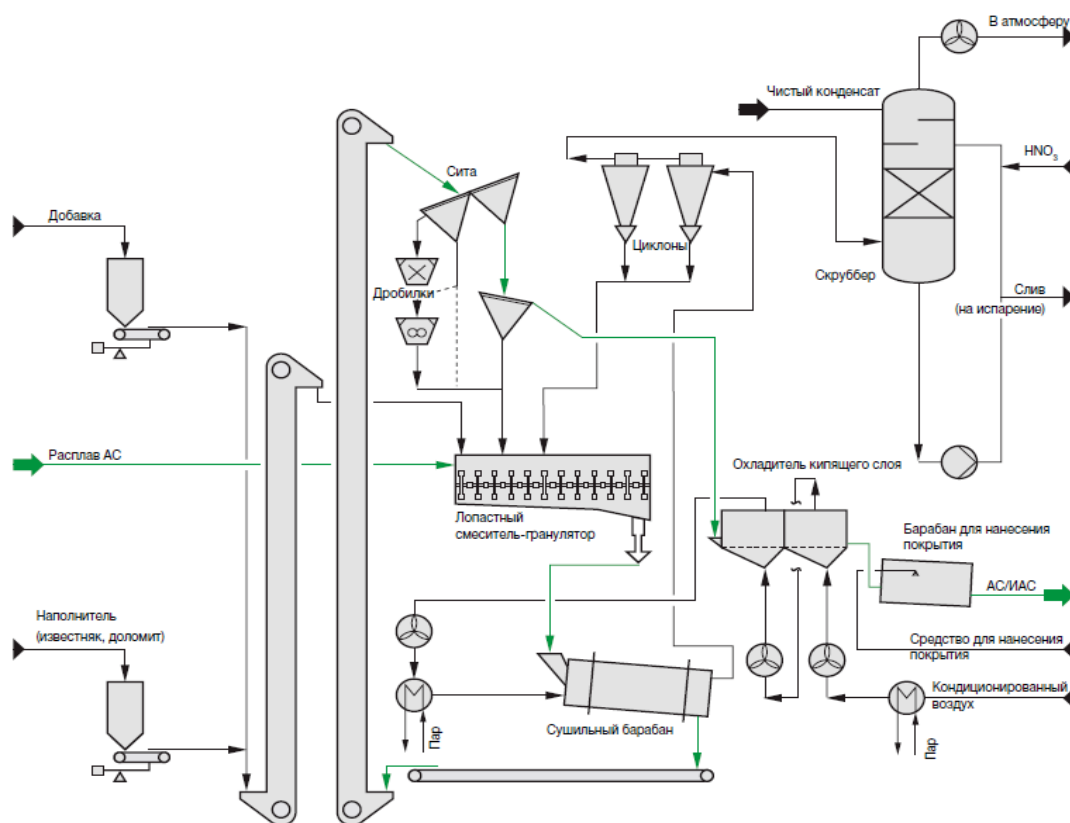


Рисунок 10 – Гранулирование аммиачной селитры

2.2.4 Технологии получения комплексных азотных удобрений

Сульфат-нитрат аммония (СНА) является двойной солью и этот факт является особенно интересным для производителей минеральных удобрений. По технологии, которая изображена на рисунке 11, аммиачная селитра соединяется с сульфатом аммония с образованием сульфата-нитрата аммония. Реакционное тепло, выделяемое во время реакции, используется для испарения воды, содержащейся в растворе, и тем самым достигается нужная окончательная концентрация раствора. После добавки присадок получается очень твердый продукт с отличными характеристиками хранения. Далее раствор гранулируется любым способом из указанных выше. Гранулирование во вращающемся барабане позволяет получать округлый гранулят с высокой твердостью [41].

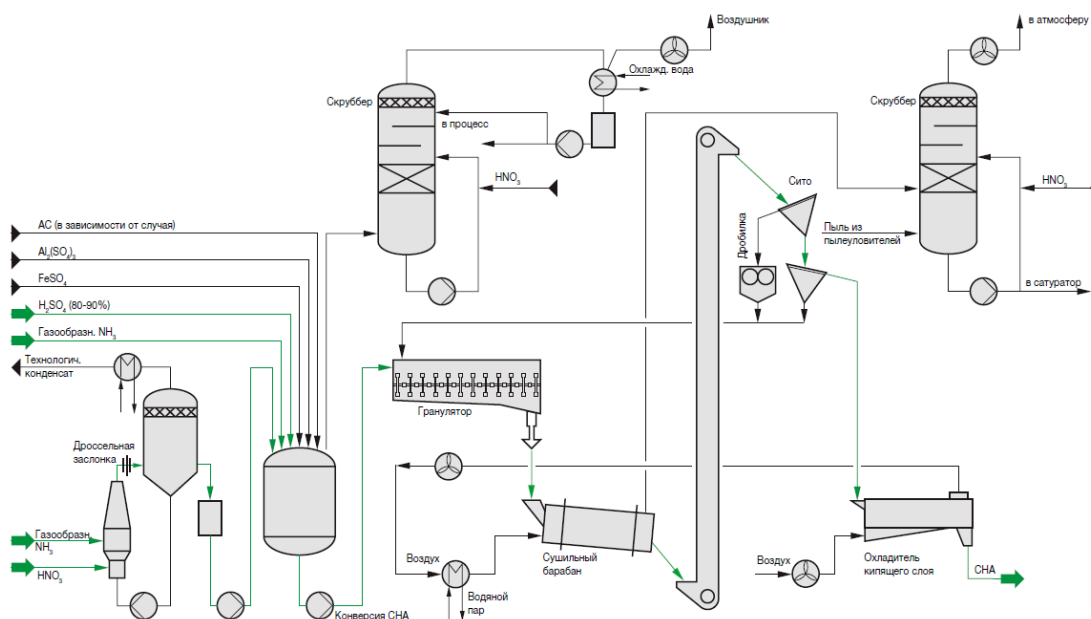


Рисунок 11 – Получение сульфат-нитрата аммония

Наибольшей популярностью пользуются установки КАС, спроектированные по двум альтернативным технологиям:

- 1) производство раствора КАС на основе нейтрализации АС,
- 2) нейтрализация отходящего газа карбамидного производства [41].

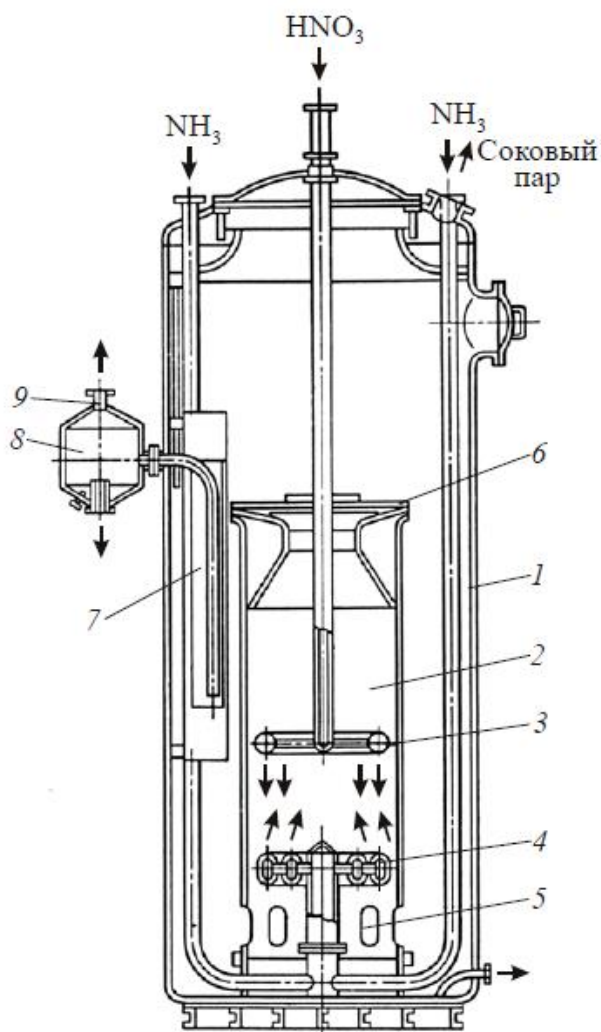
В первом варианте нитрат аммония, используемый для производства КАС, производится одним из указанных выше способов. Раствор карбамида и вода смешиваются с раствором АС в специальном смесителе для достижения необходимого содержания азота и для достижения щелочного рН. После охлаждения и добавки ингибитора коррозии готовый раствор КАС легко хранится и транспортируется [41].

Вторая технология предполагает, что при реализации однопроходного синтеза карбамида, богатые аммиаком отходящие газы могут служить агентами, движущими реакцию нейтрализации АС. В связи с высоким содержанием CO_2 в отходящем газе нейтрализация происходит в контуре естественной циркуляции. За этим следуют вышеописанные операции приготовления КАС. Для минимизации потерь аммиака предусматривается высокотехнологичная скрубберная система [41].

2.3 Анализ технологии нейтрализации аммиака азотной кислотой с последующей очисткой выхлопных газов на площадке ПАО «КуйбышевАзот»

«В основу способа производства аммиачной селитры положена реакция нейтрализации аммиака азотной кислотой» [43]. «При относительно высокой температуре и высокой концентрации паров аммиака NH_3 и паров азотной кислоты HNO_3 реакция нейтрализации протекает преимущественно в газовой фазе, при этом образуется аэрозоль нитрата аммония NH_4NO_3 . Практическое и наибольшее распространение получил способ хемосорбции аммиака водным раствором азотной кислоты, в результате чего образуется водный раствор аммиачной селитры с концентрацией около 70%. После этого полученный раствор направляют на стадию концентрирования (метод десорбции воды). Образовавшийся водный раствор аммиачной селитры упаривают, а затем полученный плава с концентрацией около 98% гранулируют» [28].

«Большое количество тепла, которое выделяется в результате реакции нейтрализации используется для интенсификации процесса десорбции паров воды. В настоящее время на ПАО «КуйбышевАзот», как и на многих химических предприятиях по производству АС, процесс нейтрализации аммиака азотной кислотой происходит в аппаратах использования теплоты нейтрализации (ИТН), которые установлены последовательно [30]. Сам аппарат ИТН изображен на рисунке 12 и представляет собой вертикальный цилиндрический реактор, состоящий из двух зон: реакционной и сепарационной. HNO_3 и NH_3 подаются в реакционную зону ИТН противотоком по трубопроводам, на концах которых имеются распределительные устройства (барботеры). Это позволяет создавать в аппарате большую поверхность контакта между жидкостью и газом. Тепло, выделяющееся в результате реакции нейтрализации, используется в аппарате ИТН для упаривания раствора NH_4NO_3 до концентрации 63...71%, которая зависит от температуры и концентрации исходного сырья» [20].



- 1 – корпус аппарата; 2 – реакционный стакан; 3 – барботер азотной кислоты;
 4 – барботер аммиака; 5 – циркуляционные окна; 6 – завихритель; 7 – гидрозатвор;
 8 – сепаратор; 9 – штуцер сокового пара

Рисунок 12 – Аппарат использования теплоты нейтрализации

Газы дистилляции, поступающие из цеха производства карбамида, смешиваются с азотной кислотой в скрубберах-нейтрализаторах при помощи барботеров. Получившийся раствор, пройдя через вакуум-испаритель, делится на две части. Одна часть постоянно используется для поддержания стабильной среды скруббера-нейтрализатора. Избыток образовавшегося раствора поступает в выпарной аппарат, где смешивается с раствором из ИТН. При отсутствии или недостаточном количестве газов из цеха карбамида предусмотрена возможность подавать в скруббер-нейтрализатор

газообразный аммиак. «Для предотвращения образования взрывоопасной газовой смеси в скруббер-нейтрализатор подается газообразный азот» [33].

Выхлопные газы «после скруббера-нейтрализатора с содержанием аммиака, селитры аммиачной и азотной кислоты выбрасываются в атмосферу через сепаратор. Несконденсированный газ выбрасывается в атмосферу через семидесятиметровую выхлопную трубу» [33].

В ходе исследования было выявлено, что «процесс нейтрализации аммиака азотной кислотой сопровождается не только выделением паров воды, но и выделением (десорбцией) азотной кислоты и аммиачной селитры. Кроме этого, при нагревании раствора аммиачной селитры выделяется аммиак, что приводит к уменьшению движущей силы основного процесса». «Кинетика основного процесса хемосорбции аммиака, которая описывается уравнением массоотдачи в газовой фазе зависит от площади поверхности контакта фаз. Поэтому при дозировании азотной кислоты по стехиометрии или в небольшом избытке, равновесные давления аммиака будут равны нулю. Следовательно, для интенсификации процесса хемосорбции NH_3 необходимо увеличивать площадь поверхности контакта фаз и степень турбулизации газовой фазы» [45].

Также «для интенсификации процесса хемосорбции аммиака в условиях нейтрализации газов необходимы аппараты, которые обеспечивают быстрое обновление поверхности контакта фаз при одновременной высокой степени турбулизации газового потока. Кроме того, для обеспечения высокой производительности технологии и сокращения капитальных затрат, требуются компактные аппараты с большой пропускной способностью как по газовой, так и по жидкой фазе. Таким требованиям удовлетворяют аппараты вихревого типа с нисходящим способом взаимодействия фаз. Отличительной особенностью этих аппаратов является низкое гидравлическое сопротивление, что обеспечивает сокращение эксплуатационных затрат» [45].

Процесс одноступенчатого контакта фаз не обеспечивает соответствие современным санитарным нормам по газовым выбросам в атмосферу. Это объясняется тем, что «над раствором азотной кислоты имеется существенная равновесная упругость паров азотной кислоты. С увеличением концентрации азотной кислоты в растворе равновесная упругость паров азотной кислоты тоже увеличивается» [46]. Поэтому «даже при идеальном контакте фаз после первой по ходу газа ступени в газовом потоке содержится высокая концентрация паров азотной кислоты. Эта концентрация в десятки раз выше концентрации допустимого выброса. Незавершенность процесса хемосорбции аммиака и высокая концентрация паров азотной кислоты в газовой фазе приводят к тому, что в газовой фазе протекает быстрая химическая реакция нейтрализации аммиака азотной кислотой, в результате которой образуется аэрозоль аммиачной селитры» [46].

Очистка отходящих газов при температуре 125 °С, которые к тому же содержат большую концентрацию паров воды, от смеси паров аммиака, азотной кислоты и аэрозолей АС является сложной научно-технической проблемой. По имеющимся данным «концентрация аэрозолей аммиачной селитры в газовом выбросе может достигать 0,3 г/м³, концентрация аммиака может достигать 1,2 г/м³, а концентрация паров азотной кислоты, в отходящих газах может достигать 15,0 г/м³, что в десятки раз выше допустимых санитарных норм. Для обеспечения соблюдения санитарных норм выброса была разработана принципиально новая технологическая схема с вихревыми аппаратами. Основным массообменным элементом вихревого абсорбера является вихревое контактное устройство с завихрителем. Завихритель представляет собой набор тангенциально установленных пластин» [46].

Выводы по главе 2

Описание физико-химических свойств производимых азотных удобрений, анализ их преимуществ и недостатков, а также описание

технологий производства однокомпонентных и комплексных удобрений позволяют сделать следующие выводы:

- В процессе нейтрализации аммиака азотной кислотой необходимо максимально использовать тепло реакции нейтрализации. Подходить к этому процессу необходимо не только с позиций интенсификации и минимизации концентрации паров (аммиака и азотной кислоты) и аэрозолей токсичных веществ, но и с позиций обеспечения соблюдения санитарных норм выбросов токсичных веществ в атмосферу.
- Схема нейтрализации аммиака азотной кислотой в вихревых аппаратах принята на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» и может быть использована на всех действующих и вновь строящихся заводах по производству аммиачной селитры.
- Согласно этой схеме, возможно осуществлять абсорбцию газов дистилляции производства карбамида в режиме нисходящего прямотока в абсорберах вихревого типа. При этом резко уменьшается скорость процесса образования тумана азотной кислоты и аммиачной селитры, что в свою очередь приводит к снижению концентрации токсичных веществ в газовом выбросе до санитарных норм.

Глава 3. Анализ актуальности получения азотного удобрения смешанного типа на площадке ПАО «КуйбышевАзот»

На площадке ПАО «КуйбышевАзот» выпускается жидкая карбамидо-аммиачная смесь или КАС, которая содержит все три формы азота в наиболее оптимальных соотношениях и потребность в ней постоянно возрастает [47-49].

Основные недостатки этого удобрения: существование лишь в жидкой форме, наличие большого количества балластной воды, необходимость огромных емкостей для хранения, а также специального оборудования для внесения на поля. Основные достоинства, которые обеспечивают преимущество над гранулированными удобрениями:

- хорошо усваиваются растениями;
- процесс дозирования может быть полностью автоматизирован;
- повышается равномерность внесения их в почву;
- при приготовлении рабочего раствора удобрений возможно добавление различных компонентов.

Производство жидких комплексных удобрений (ЖКУ) проще и дешевле гранулированных удобрений и требует меньше трудозатрат. Во-первых, снижаются капиталовложения на 10-20%. Дело в том, что выпуск жидких удобрений позволяет исключить из производственного цикла стадии упаривания, кристаллизации, сушки, грануляции и кондиционирования продуктов. Во-вторых, расширяется спектр применения ЖКУ за счет возможности их использования в аридных (засушливых) зонах, а также для внекорневой обработки и питания растений, в том числе в тепличном хозяйстве, совместно с пестицидами, гербицидами, стимуляторами роста растений. В-третьих, у жидких удобрений высокая экспортная ориентированность. Эффективность производства и применения жидких форм комплексных удобрений доказана практикой использования их в США, Канаде, странах Западной Европы. Более того, производство ЖКУ позволяет

решить актуальную и приоритетную задачу стратегического направления – переход к безопасным видам азотосодержащих удобрений.

А ведь совсем недавно, в 90-е годы, жидкие удобрения были незаслуженно забыты. Самарскую область нередко называют зоной рискованного земледелия. Во многом, виной этому засушливый климат. В таких условиях применение жидких удобрений приобретает наибольшую актуальность. Сейчас они уверенно возвращаются на российские поля благодаря своей эффективности и уникальным агрохимическим свойствам.

Производители удобрений и ученые работают в тандеме с производителями современной техники. Разработчики жидких удобрений учитывают не только особенности почвы региона, но и разрабатывают новые методики для внесения жидких удобрений, которые дают более высокие результаты. Почве зачастую не хватает серы – главного составляющей в формировании хлорофилла и строительного материала для формирования белка. Без этого элемента качественную пшеницу первого класса или настоящий масляный подсолнечник просто не вырастить.

В 2018 году ПАО «КуйбышевАзот» совместно с Самарской государственной сельскохозяйственной академией и АО «Евротехника» были заложены опытные посевы с применением серосодержащих жидких удобрений – КАС, КАС+S (сера) и РСП (раствор питательный серосодержащий). Экспериментировали на традиционных для нашего региона культурах: пшенице, сое, кукурузе, подсолнечнике. «Результаты впечатлили: урожайность на экспериментальных полях с использованием жидких серосодержащих удобрений, оказалась существенно выше средних показателей по региону» [50]. Как отметил заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор и заведующий кафедрой СГСА Владимир Милюткин, «целью этих изысканий является изучение эффективности серосодержащих удобрений. Это достигается содержанием азота в трех формах, что обеспечивает пролонгированное питание растений. А наличие серы влияет также и на качество урожая. Это

настоящий прорыв, это новые технологии, имеющие высокую значимость для аграрного комплекса и региона, и страны в целом. Применение новых методик повышает доходность земледелия в 1,7 раза по сравнению с традиционной методикой внесения аммиачной селитры» [50].

Твердая форма КАС при нормальных условиях существовать не может, так как в примерно равном соотношении смесь плавится уже при температуре 400 °С, а затем поглощая влагу из воздуха превращается в незамерзающий раствор [51]. Способ получения твердой КАС, в которой аммиачная селитра и карбамид разделены пленкой сульфата аммония, предложен в патенте РФ 2394799 [52]. Получают такое удобрение последовательным нанесением на гранулы нитрата аммония суспензии сульфата аммония (с одновременной сушкой), и плава карбамида (с последующим охлаждением целевого продукта). Основное достоинство получаемого удобрения: наличие в нем всех трех основных форм азота. Основной недостаток: высокая скорость растворения, а также сложность технологии, требующей использование крупногабаритного оборудования и высоких температур.

Еще одним шагом на пути принимаемых и реализуемых решений в плане технического развития на ПАО «КуйбышевАзот» стало строительство установки по производству гранулированного сульфата аммония методом прессования совместно с компанией «Grammo AG» (США). Производство мощностью 140000 т/год введено в эксплуатацию в 2018 году. Преимуществами данной технологии производства минеральных удобрений очевидны: значительно сокращаются затраты на строительство установок (меньшая капиталоемкость и энергоемкость по сравнению с технологией паровой грануляции) и появляется технологическая гибкость (производство специальных комплексных удобрений). На этапе компактирования удобрений методом прессования возможен ввод добавок, изменяющих формулу продукта. Это позволяет быстро переходить от одной марки

удобрений к другой и получать продукцию с определенным соотношением питательных элементов для каждой конкретной культуры.

В настоящее время на площадке ПАО «КуйбышевАзот» значительная работа проводится по совершенствованию технологий производства минеральных удобрений, включающих выпуск комплексных удобрений. Выполнен большой объем работ по строительству новых и техническому перевооружению действующих производств. Сейчас ведутся пуско-наладочные работы на производстве сульфат-нитрата аммония, второй универсальной комплектной линии (УКЛ-2) азотной кислоты. В партнерстве с итальянским концерном Maire Tecnimont Group продолжается строительство нового агрегата карбамида. Реализация данного проекта предусматривает применение прогрессивных технологий [53].

3.1 Установка получения гранулированного сульфат-нитрат аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот»

«В России сульфат – нитрат аммония выпускают два предприятия. В городе Тольятти ПАО «КуйбышевАзот» и в городе Кирово-Чепецк ПАО «ЗМУ КЧХК». Стоит отметить, что в г. Тольятти NS удобрение представляет собой сухую смесь гранулированной аммиачной селитры с магниевой добавкой и кристаллического сульфата аммония.

В 2012 году в городе Кирово-Чепецк было запущено производство инновационного гранулированного продукта – азотосульфата. Компания выпустила несколько крупных промышленных партий. Данный продукт вызвал большой интерес у потребителей как за рубежом, так и на внутреннем рынке. Для этого была освоена технология производства азотно-серного удобрения в одной грануле, которая включает нейтрализацию аммиаком серной и азотной кислот с испарением вводимой с кислотами воды за счет тепла реакции нейтрализации и последующую переработку продуктов нейтрализации в целевой продукт. Серную кислоту сначала разбавляют

азотной кислотой (отношение серной и азотной кислот в пересчете на 100% кислоты выдерживают в пределах от 0,75 до 1,45), а затем водой. Полученный серноазотнокислый раствор направляют на нейтрализацию аммиаком. Продукты нейтрализации гранулируют в барабанных грануляторах-сушилках» [54].

Сульфат-нитрат аммония является азотным серосодержащим удобрением. Гранулы, производимые на установке, содержат 60 % сульфата аммония и 40 % аммиачной селитры. Проектная мощность установки 385 тыс. т/год. Гранулы сульфат-нитрата аммония имеют градиентное строение, с максимальной концентрацией сульфата аммония у поверхности и нитрата аммония внутри каждой гранулы. Уникальным свойством этого удобрения является способность активировать запасы фосфора, который содержится в почве в труднодоступном для растений виде.

На площадке ПАО «КуйбышевАзот» для получения сульфат-нитрат аммония была выбрана технология сплавления нитрата аммония с сульфатом аммония, предоставленная фирмой-лицензиаром «CFIh». Основной характеристикой такого смешанного удобрения, является наличие азота одновременно в двух его формах: аммонийной NH_4^+ и нитратной NO_3^- . Благодаря высокому содержанию аммонийного азота, такое минеральное удобрение обладает пролонгированным действием, поскольку ион аммония фиксируется в почве и не вымывается из нее, подобно нитратам. Основным преимуществом СНА, по сравнению с нитратом аммония, является наличие в его составе серы, которая присутствует в удобрении в доступном для растений виде – иона сульфата. Если сравнивать с сульфатом аммония, то в СНА содержится больше азота, причем значительная его часть находится в легкодоступной для растений форме – нитратной [55].

СНА представляет собой гранулированное азотное удобрение, типично содержащее около 26% азота и 13% серы (32,5% SO_3). Кроме того, внесение этого минерального удобрения способствует повышению доступности в почве таких элементов, как фосфор, марганец, железо и бор. Присутствие в

составе удобрения серы способствует улучшению поглощения растениями азота, а также других макро- и микроэлементов [55].

3.2 Исследование процесса и технологии производства

«Технология производства сульфат-нитрата аммония заключается в смешении расплава аммиачной селитры с сульфатом аммония. Просто смешать две эти соли невозможно. Сульфат аммония почти не гигроскопичен. Нитрат аммония умеренно гигроскопичен. Сульфат выпускается в основном в кристаллическом виде, а нитрат в виде гранул. Но при их смешении образуется двойная соль, быстро адсорбирующая влагу из воздуха. Решить эту проблему удалось лишь некоторым крупным зарубежным компаниям – мировым лидерам в производстве минеральных удобрений. На сегодняшний день запатентовано много предложений производства сульфат-нитрата аммония: кристаллизация, гранулирование и приллинг. Но при этом имеется много претензий к качеству получаемого продукта:

- продукт пылит, вследствие сегрегации компонентов;
- не устойчив при хранении (слеживается, адсорбирует влагу);
- легко разрушается (теряет статическую прочность)» [56].

3.3 Новое решение в азотно-серном питании растений

В 2013 году сульфонитрат NS 30:7 стал лауреатом Всероссийского конкурса «100 лучших товаров России» [61]. Он содержит в одной грануле два питательных элемента, необходимых растению – азот и серу. В отличие от аммиачной селитры сульфонитрат NS 30:7 помимо содержания серы в доступной форме, обладает рядом преимуществ. Например, повышенная устойчивость к слеживаемости и более высокая прочность гранул (3МПа против 2МПа – у аммиачной селитры). Также сульфонитрат обеспечивает

снижение потерь азота за счет уменьшения вымывания нитратов, так как аммонийная форма превалирует над нитратной. Отсюда следует, что нитраты не успевают вымываться и полностью поглощаются растением [58].

3.4 Характеристика и свойства сульфат-нитрата аммония

Сложные удобрения (удобрения смешанного типа) играют важную роль в повышении плодородия почвы и урожайности растений в сельском хозяйстве. В данной работе отражены основные направления в реализации поставленной Министерством промышленности, науки и технологии Российской Федерации задачи: не меняя основной технологии производства аммиачной селитры реализовать выпуск сложных азотных удобрений с пониженными взрывоопасными свойствами по сравнению с аммиачной селитрой и улучшенными физико-химическими и агрохимическими характеристиками [61].

На фоне существующей потребности развития химической (в частности азотной) промышленности за счет совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов существует проблема, которая на данный момент является весьма актуальной, так как связана с количественными и качественными изменениями в азотной промышленности путем перевода производства на новый, более высокий технический уровень. Частичным решением данной проблемы является совершенствование технологий производства азотных удобрений смешанного типа для получения целевых продуктов с улучшенными физико-химическими свойствами и потребительскими характеристиками, способных заменить традиционные азотные удобрения.

Одним из вариантов решения этой проблемы является организация производства NS-удобрений на основе нитрата и сульфата аммония. Наиболее перспективным видом является сульфат-нитрат аммония. Он относится к пожаровзрывобезопасным удобрениям в соответствии с

международной классификацией, так как содержание NH_4NO_3 в нем не превышает 50% [62]. Как уже отмечалось выше этот продукт, несмотря на меньшее содержание азота, в перспективе может заменить аммиачную селитру [63].

В процессе сплавления нитрата аммония с сульфатом аммония образуется нитратно-аммонийная смесь [64].

Известно несколько способов ее получения и производства:

- путем простого механического смешивания аммонийного сульфата и нитрата аммония (в соотношении 65% и 35% соответственно);
- путем внесения сухого аммонийного сульфата в плав нитрата аммония с дальнейшим высушиванием (так называемая лейна-селитра);
- путем нейтрализации аммиаком смеси серной и азотной кислоты (так называемая монтан-селитра) [65].

На площадке ПАО «КуйбышевАзот» для получения сульфат-нитрат аммония была выбрана технология сплавления нитрата аммония с сульфатом аммония, которая предоставлена фирмой-лицензиаром «CFIh». Основной характеристикой такого смешанного удобрения, является наличие азота одновременно в двух его формах: аммонийной NH_4^+ и нитратной NO_3^- . Благодаря высокому содержанию аммонийного азота, такое минеральное удобрение обладает пролонгированным действием, поскольку ион аммония фиксируется в почве и не вымывается из нее, подобно нитратам. Основным преимуществом СНА, по сравнению с нитратом аммония, является наличие в его составе серы, которая присутствует в удобрении в доступном для растений виде – иона сульфата. Если сравнивать с сульфатом аммония, то в СНА содержится больше азота, причем значительная его часть находится в легкодоступной для растений форме – нитратной [66].

СНА представляет собой гранулированное азотное удобрение, типично содержащее около 26% азота и 13% серы (32,5% SO_3). Кроме того, внесение этого минерального удобрения способствует повышению доступности в

почве таких элементов, как фосфор, марганец, железо и бор. Присутствие в составе удобрения серы способствует улучшению поглощения растениями азота, а также других макро- и микроэлементов [66].

Фирмой-лицензиаром «CFIn» был определен компонентный состав [67]. Прочность гранул СНА, получаемого путем взаимодействия концентрированных растворов и плава аммиачной селитры с порошковидным сульфатом аммония, анализировалась по известным методикам [68].

Химический состав и прочность гранул сульфат-нитрат аммония, полученных на основе концентрированных растворов плава аммиачной селитры и сульфата аммония представлены в таблице 9 [69].

Таблица 9 – Химический состав и прочность гранул сульфат-нитрат аммония

Массовое соотношение АС:СА	рН 10% раствора продукта	Содержание компонентов, масс. %		Прочность гранул		
		N	SO ₃	кг/гранул	кгс/см ²	МПа
Чистая аммиачная селитра						
60 : 40	6,15	34,5	–	0,81	16,32	1,58
99,8% плав аммиачной селитры и сульфат аммония						
60 : 40	4,48	28,05	24,45	2,54	51,20	5,02
96% плав аммиачной селитры и сульфат аммония						
60 : 40	4,73	28,65	24,36	2,60	52,41	5,14
90% раствор аммиачной селитры и сульфат аммония						
60 : 40	5,57	28,92	24,24	2,62	52,82	5,18
85% раствор аммиачной селитры и сульфат аммония						
60 : 40	5,64	29,03	24,16	52,67	53,82	5,28
80% раствор аммиачной селитры и сульфат аммония						
60 : 40	5,71	29,06	24,11	2,71	54,63	5,36

Было показано, что при массовом соотношении аммиачной селитры к сульфату аммония АС : СА = 40:60, прочность гранул продукта при использовании плава аммиачной селитры с концентрацией 99,8% составляет 6,17 МПа, с концентрацией 96% – 6,23 МПа, с концентрацией 90% – 6,30 МПа, с концентрацией 85% – 6,38 МПа и с концентрацией 80% – 6,48 МПа. При этом в продуктах содержится 26% N и 36% SO₃. [69].

3.5 Исследование свойств сульфат-нитрата аммония

Согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июня 1997 года, удобрения, содержащие азот в составе нитрата аммония в количествах более 28 % (масс), считаются опасными и требуют обязательной разработки декларации промышленной безопасности [70]. Считаются безопасными смеси, содержащие не более 80 % нитрата аммония (N= 28% масс) и не более 0,4%(масс) горючих.

В связи с ужесточением требований, а в ряде стран ограничением применения аммиачной селитры в качестве удобрений, проблема получения продукта с повышенной термостабильностью стоит перед производителем особенно остро. Для обеспечения безопасности разрабатывается и применяется комплекс законодательных правил и актов по производству, упаковке, транспортировке, складированию и хранению аммиачной селитры. В дополнение к химическим и физическим испытаниям был введен детонационный тест [71]. Этот тест обязателен в некоторых государствах – членах ЕЭС, таких как Бельгия, Франция, Германия и Нидерланды. В других странах есть серьезные ограничения по количеству хранения нитрата аммония [72]. Все это существенно затрудняет продажу продукта на западный рынок. Одна из проблем аммиачной селитры состоит в том, что она обладает взрывной природой. Новое удобрение на основе сульфата-нитрата аммония было разработано с помощью процесса синтеза, что делает нецелесообразным применение аммиачной селитры для использования в качестве взрывчатого вещества [73].

Более 100 миллионов тонн азотных удобрений ежегодно вносятся в сельскохозяйственные культуры по всему миру. Однако за последние 30 лет эффективность использования азота в зерновых культурах, например, в Китае составляет от 27 до 40%. Одним из «наиболее распространенных в мире азотным удобрением является аммиачная селитра. Однако она имеет

такие недостатки, как взрывоопасность и слеживаемость при хранении. Введение модифицирующих добавок (сульфата аммония) к селитре улучшает ее потребительские свойства» [77].

«Сульфат-нитрат аммония (СНА) является двойной солью и этот факт является особенно интересным для производителей минеральных удобрений. Такое минеральное удобрение, которое на сегодняшний день является наиболее востребованным источником азота и серы среди специалистов сельского хозяйства (фермеров, животноводов, садоводов и огородников), главным образом применяется при наличии потребности в дополнительных источниках азота (N) и серы (S) и в этом его большая ценность. Также для удовлетворения возникающих потребностей в питании растущих растений, поскольку СНА содержит азот. Дополнительно к этому СНА обеспечивает наличие и является отличным источником серы, которая выполняет многочисленные важные функции в растениях, включая синтез протеинов.

По свойствам и содержанию общего азота сульфат-нитрат аммония занимает промежуточное положение между аммиачной селитрой и сульфатом аммония. Сульфат-нитрат аммония можно применять на всех почвах и под все сельскохозяйственные культуры. Будучи нейтрализован известью, он не уступает по действию на урожай сельскохозяйственных растений аммиачной селитре. Используется в качестве основного и рядкового удобрения, а также в подкормки. При взаимодействии с почвой СНА претерпевает аналогичные превращения, что и нитрат аммония. «Сульфатная группа значительно повышает физиологическую кислотность СНА по сравнению с аммиачной селитрой. Проявление подкисляющего действия удобрений во многом зависит от буферных свойств почв. На кислые дерново-подзолистых почвах оно проявится несколько быстрее, чем на черноземах» [78].

«В научной литературе отмечено значительное (в 2-3 раза) улучшение таких свойств аммиачной селитры, как статическая прочность гранул, слеживаемость, выход гранул без усадочных каналов на поверхности,

устойчивость их к термическим циклам ($20 \leftrightarrow 60$ °С) при увеличении содержания сульфата аммония с 0,5 до 5%» [79].

Параметры кристаллических ячеек соединений $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и $3\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ приведены в таблице 10 [80].

Таблица 10 – Параметры кристаллических ячеек смешанных солей нитрата и сульфата аммония

	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{NH}_4\text{NO}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$
$a, ^\circ$	9,98	10,37
$b, ^\circ$	5,96	11,46
$c, ^\circ$	12,48	10,31
$\beta, ^\circ$	93°7'	104°15'

«В тройной системе $\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{NO}_3 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ наибольший практический интерес представляют условия сосуществования раствора с кристаллическими фазами в области относительно низких температур, и фазовые равновесия в подсистеме нитрат аммония – сульфат аммония. В первом случае речь идет о совершенствовании технологии приготовления жидких удобрений, во втором – о получении гранулированных азотных удобрений, содержащих в качестве добавки серу. В обоих случаях при этом решается проблема, связанная с транспортировкой и хранением нитрата аммония – исключение или снижение его взрывоопасности» [81].

3.6 Анализ технологии получения сульфат-нитрата аммония на площадке ПАО «КуйбышевАзот» и способы ее усовершенствования

3.6.1 Общая информация и особенности технологии

Метод производства США – получение водного раствора аммиачной селитры с концентрацией 78 % масс. путем нейтрализации неконцентрированной азотной кислоты с концентрацией 57 % масс. газообразным аммиаком под давлением с дальнейшим упариванием раствора

селитры до концентрации 97,5 % масс. под вакуумом; смешиванием полученного плава селитры с мелкокристаллическим сульфатом аммония и вводом наполнителя (доломитовой муки, раствора сульфата алюминия) и переработкой полученной суспензии СНА в готовый продукт, способом гранулирования в грануляторе-осушителе барабанного типа. Основные показатели сульфата-нитрата аммония представлены в таблице 11 [82].

Таблица 11 – Основные показатели сульфата-нитрата аммония (СНА)

Наименование основных показателей	Норма по спецификации СНА компании CFIh
Внешний вид	Гранулы от белого до коричневого цвета
Содержание аммиачной селитры в удобрении, % масс.	от 35 до 40
Общее содержание азота, % масс., не менее	26
Общее содержание серы, % масс., не менее	14
Массовая доля воды, % масс., не более	0,3
Гранулометрический состав, % - содержание гранул от 2 до 5 мм, не менее	90
Содержание антислеживающего реагента, кг/т	1
Прочность гранул размером 3,6 мм, Н, не менее	40

В технологическом процессе производства СНА используются следующие основные типы оборудования: реакционное, теплообменное, емкостное, насосное, компрессорное, вентиляторное, конвейерное, дробильно-размольное, газоочистное, перемешивающее, пневмотранспортное и некоторые другие типы [83]. В составе производства используется оборудование как отечественного, так и зарубежного производства. Часть основного технологического оборудования относится к ключевому оборудованию, которое разработано и поставляется компанией «CFI holding Pte. Ltd.». Часть оборудования – в виде комплектных поставок, разработанных фирмами производителями в соответствии с техническими данными на оборудование. Принципиальная схема одного из технологических блоков в составе установки получения СНА представлена на рисунке 13 [83].

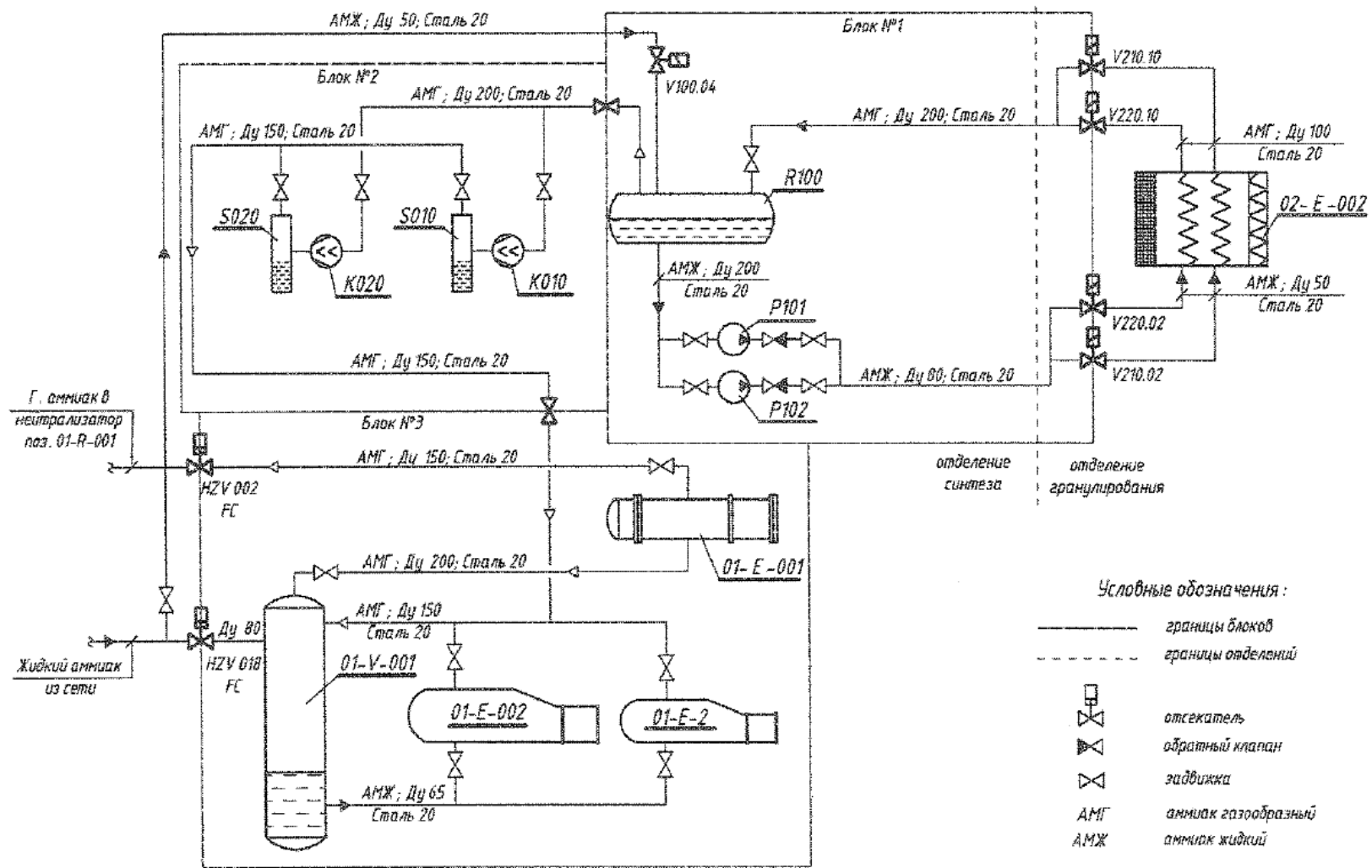


Рисунок 13 – Принципиальная схема технологических блоков

Технологический процесс производства организован по непрерывной схеме с использованием герметичного оборудования и трубопроводов. Использование в технологическом процессе жидкого и газообразного аммиака обуславливает повышенную взрывопожароопасность производства. Для безопасного ведения технологического процесса производства СНА предусмотрена система контроля, автоматического регулирования и дистанционного управления [83].

Для обеспечения устойчивости технологического процесса предусмотрена установка резервного насосного оборудования и система защитных блокировок, позволяющих безопасно остановить технологический процесс при возникновении аварийной ситуации [83].

В производстве сульфат-нитрат аммония применяются в качестве сырья, а также получаются в процессе производства вещества, которые при определенных условиях могут явиться причиной отравлений, химических и термических ожогов, пожаров и взрывов. Такими веществами являются: аммиак, азотная кислота, плав селитры, сульфат аммония, суспензия СНА, раствор сульфата алюминия, покрывающий реагент, смазочные материалы, пар и горячая вода, а также готовый продукт – сульфат-нитрат аммония. Безопасность технологического процесса обеспечивается благодаря предусмотренным мероприятиям. Например, система сигнализации, противоаварийные устройства, мероприятия по электробезопасности, изоляция оборудования и трубопроводов, система приточно-вытяжной вентиляции и т.д. [83].

Технические решения, принятые при проектировании производства обеспечивают безопасное ведение процесса в нормальном технологическом режиме с учетом минимального воздействия на окружающую среду. Постоянные сточные воды, содержащие в своем составе вредные компоненты при нормальном технологическом режиме – отсутствуют [83].

Технологическая установка получения СНА на площадке ПАО «КуйбышевАзот» отличается использованием в технологическом процессе

способов рекуперации тепла, выделяющегося в процессе получения СНА, для подогрева технологических потоков, а также использование тепла окружающей среды для испарения жидкого аммиака, поступающего на производство, чем обеспечивается энергоэффективность функционирования производства. Например, выдача очищенного технологического конденсата на производство азотной кислоты для дальнейшего использования и ряд других усовершенствований [83].

3.6.2 Узел финальной обработки готового продукта

Узел финальной обработки продукта предназначен для покрытия гранул СНА специальными реагентами (тальком и минеральным маслом), предотвращающими их слеживание в процессе хранения. Ниже представлено краткое описание проектной и усовершенствованной технологической схемы этих узлов.

На входе в барабан для нанесения покрытия гранулы СНА смешиваются с минеральным реагентом (тальком). В барабане на опудренные тальком гранулы СНА путем мелкодисперсного распыления наносится поверхностно-активное вещество, предотвращающее слеживание готового продукта [83].

По проекту реагент для нанесения покрытия (минеральное масло) поступает на производство СНА в твердом состоянии (типа воска) в металлических бочках объемом 200 литров, которые складываются в отдельно стоящем здании для хранения. Он расплавляется в плавильном аппарате поз. 02-Е-003 с электрическим обогревом, откуда жидкий реагент сливается в резервуар поз. 02-Т-001 и дозировочными насосами поз. 02-Р-001А/В (один рабочий другой резервный подается в барабан для нанесения покрытия поз. 02-Д-003. Технологическая схема узла приема и подачи реагента для нанесения покрытия, предложенная в проекте 2015 года, представлена на рисунке 14 [82].

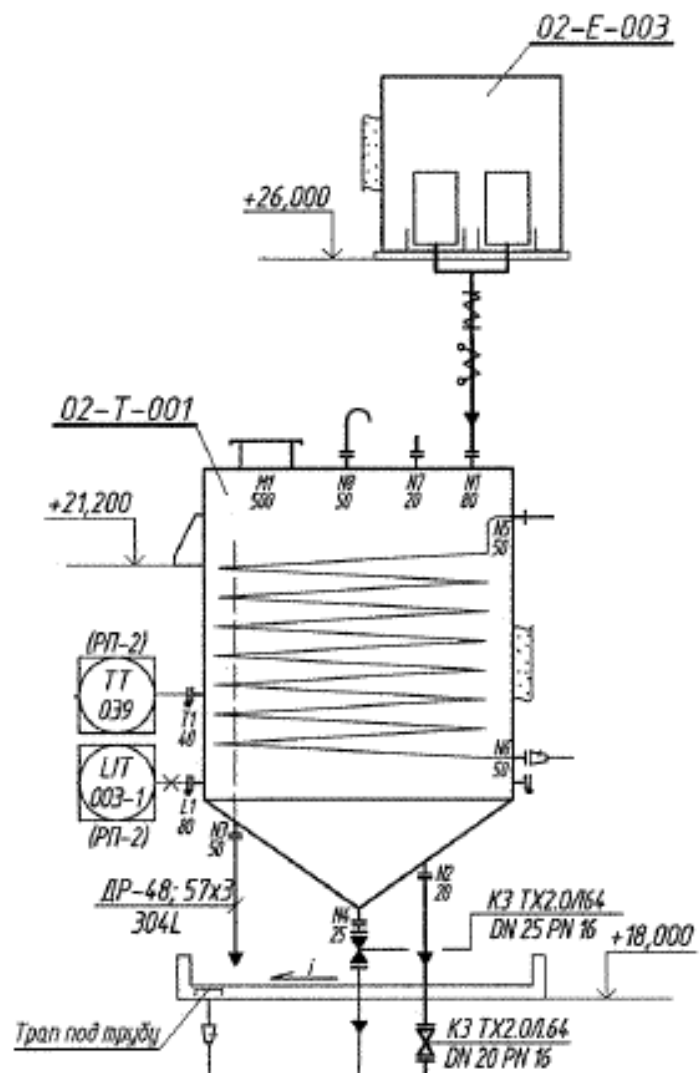


Рисунок 14 – Схема узла покрывающего реагента

Недостатками данной схемы является следующее:

- дополнительные затраты рабочего времени и энергоресурсов на обслуживание и подготовительные операции. Например, бочки с реагентом транспортируются со склада автопогрузчиком, поднимаются электротельфером и вручную устанавливаются в плавильный аппарат для разогрева;
- увеличение количества отходов производства, повышенные затраты на их хранение и утилизацию. Например, пустая тара с остатками реагента, деревянные поддоны;
- удорожание конечного продукта.

Предложен усовершенствованный вариант, согласно которому были внесены соответствующие изменения в проект. Согласно новой технологической схемы покрывающий реагент (минеральное масло) поступает на производство уже в расплавленном состоянии со склада реагентов из емкости объемом 50 м³ по трубопроводу в резервуар покрывающего реагента поз. 02-Т-001. Технологическая схема с внесенными изменениями, которые позволили исключить недостатки ранее предлагаемой схемы представлена на рисунке 15 [85].

По проекту 2015 года поставка добавки (талька) производится автотранспортом в биг-бегах на деревянных поддонах. В состав установки входит узел растаривания биг-бегов с локальной системой аспирации, пневмокамерный насос для подачи реагента в приемный бункер для талька.

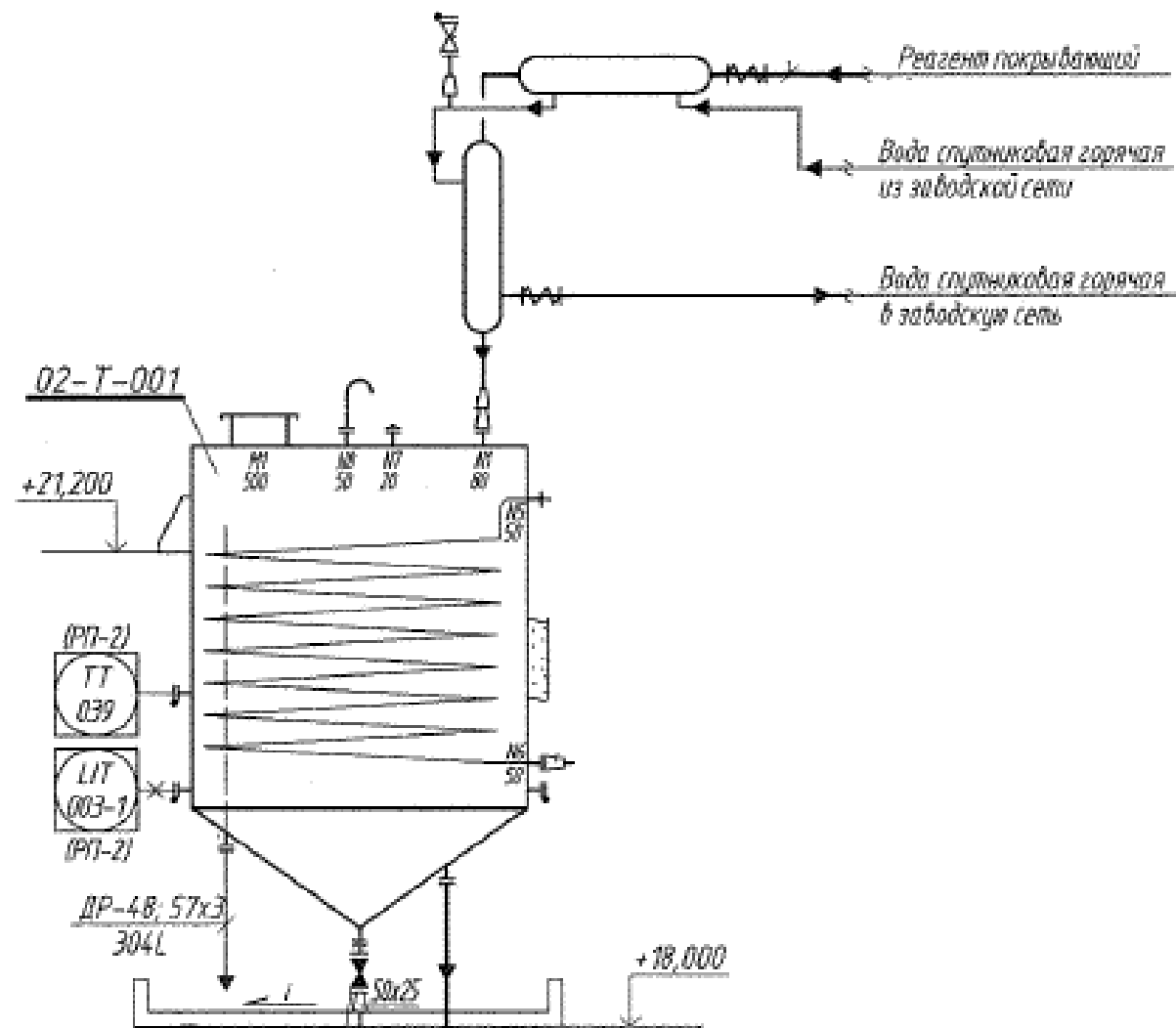


Рисунок 15 – Схема узла покрывающего реагента после изменений

Биг-бег с тальком на узел растаривания доставляется автопогрузчиком со склада реагентов и с помощью электротельфера устанавливается на разгрузочную воронку, которая встряхивается вместе с биг-бегом с помощью электровибратора. С помощью местного шкафа дистанционного управления узлом растаривания оператор выполняет предусмотренные технологией операции по заполнению приемного бункера талька поз. 02-Н-002 при помощи пневмонасоса поз. 02-Р-2. Технологическая схема узла приема и подачи талька, предложенная в 2015 году, представлена на рисунке 16 [82].

Недостатками данной схемы является:

- наличие дополнительного дорогостоящего оборудования и трубопроводов. Например, пневмокамерный насос, приборы КИПиА и регулирующая арматура;
- дополнительные затраты рабочего времени и энергоресурсов на обслуживание и подготовительные операции;
- сложность технологической схемы и удорожание конечного продукта.

Благодаря предложенному улучшению были исключены недостатки проектной схемы. Тальк в производственный корпус доставляется автопогрузчиком в биг-бегах со склада реагентов. С помощью электротельфера биг-беги поднимаются и размещаются на оборудованной площадке временного хранения (до 16 штук) или сразу подаются на разгрузку в приемный бункер для талька поз. 02-Н-002 представлены на рисунке 17 [85].

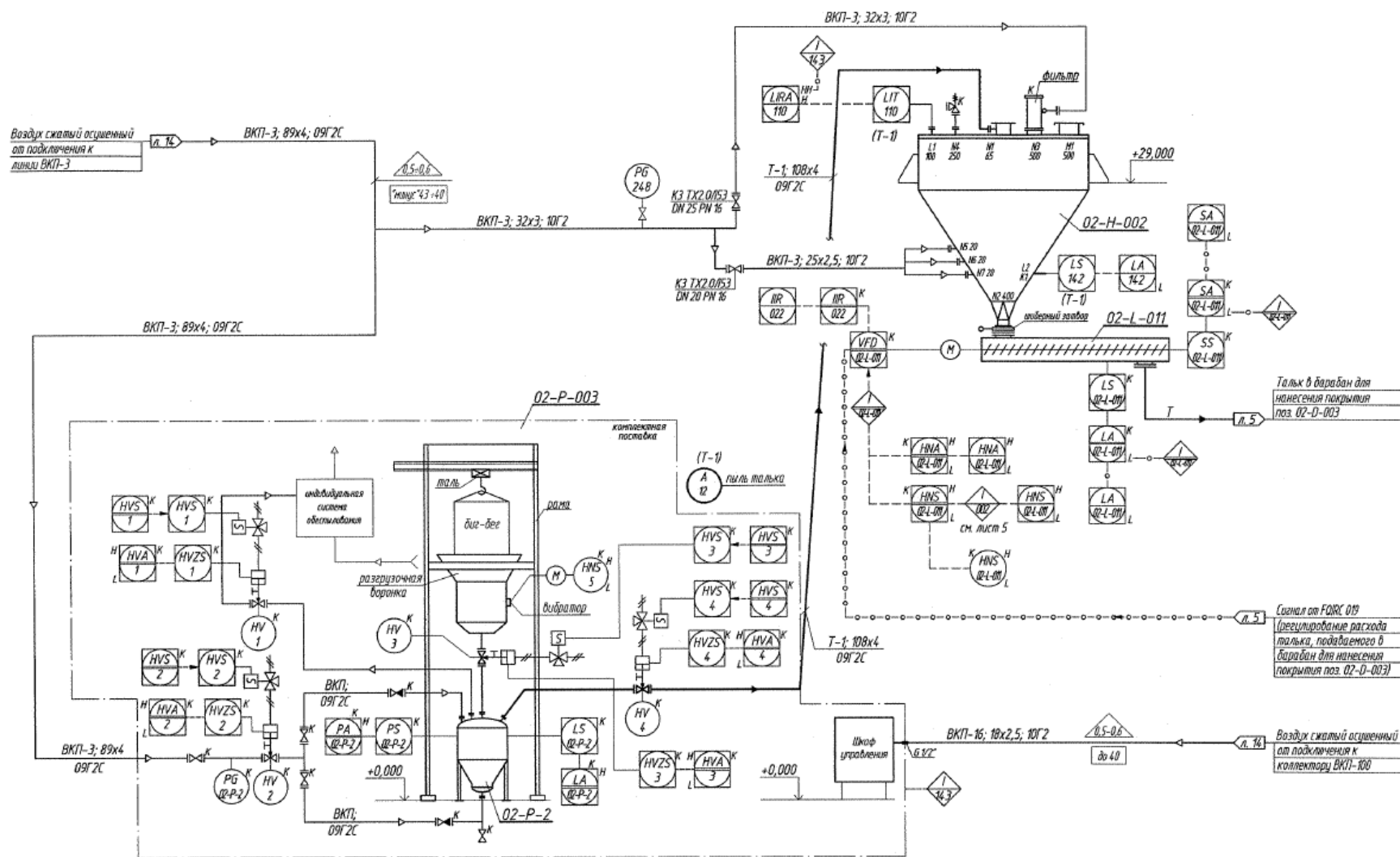


Рисунок 16 – Узел приема и подачи талька по проекту 2015 года

Для предотвращения выделения пыли в рабочую зону при растаривании биг-бегов из бункера отсасывается запыленный воздух вентилятором аспирационного фильтра. Очищенный воздух после фильтра сбрасывается за пределы помещения, а пыль талька, собирающаяся в бункере фильтра при его периодической продувке сжатым воздухом и возвращается обратно в бункер поз. 02-Н-002. Технологическая схема по проекту 2019 года представлена на рисунке 18 [85].

Дополнительными преимуществами предложенной схемы являются: удешевление узла приема и подачи талька без потери производительности, исключается дополнительный расход сжатого осушенного воздуха от узла компрессии, отсутствие транспортировочного трубопровода, исключается дорогостоящее оборудование. Например, узел растаривания биг-бегов талька расположен непосредственно на приемном бункере с местной системой аспирации.

Например, согласно опросным листам по проекту 2015 года было направлено коммерческое предложение поставщика комплектного оборудования, по которым общая стоимость установки в июле 2018 года составляла 3 829 690 руб. (с учетом НДС 18 % и доставкой до склада заказчика). Транспортный трубопровод в комплект поставки не входит. Дополнительно за шеф-надзорные работы и пуско-наладку оборудования (с учетом НДС 18 %) в июле 2018 года предусматривалась оплата в размере 94 400 руб. и 184 080 руб. соответственно. Стоимость работ, связанных с переоборудованием имеющегося бункера поз. 02-Н-002 силами заказчика в марте 2019 года составила 964 300 руб. (с учетом НДС 20 %). Своевременное внесение усовершенствования в технологию производства, в данном случае узла приема и подачи талька, позволило сэкономить свыше 3 000 000 руб.

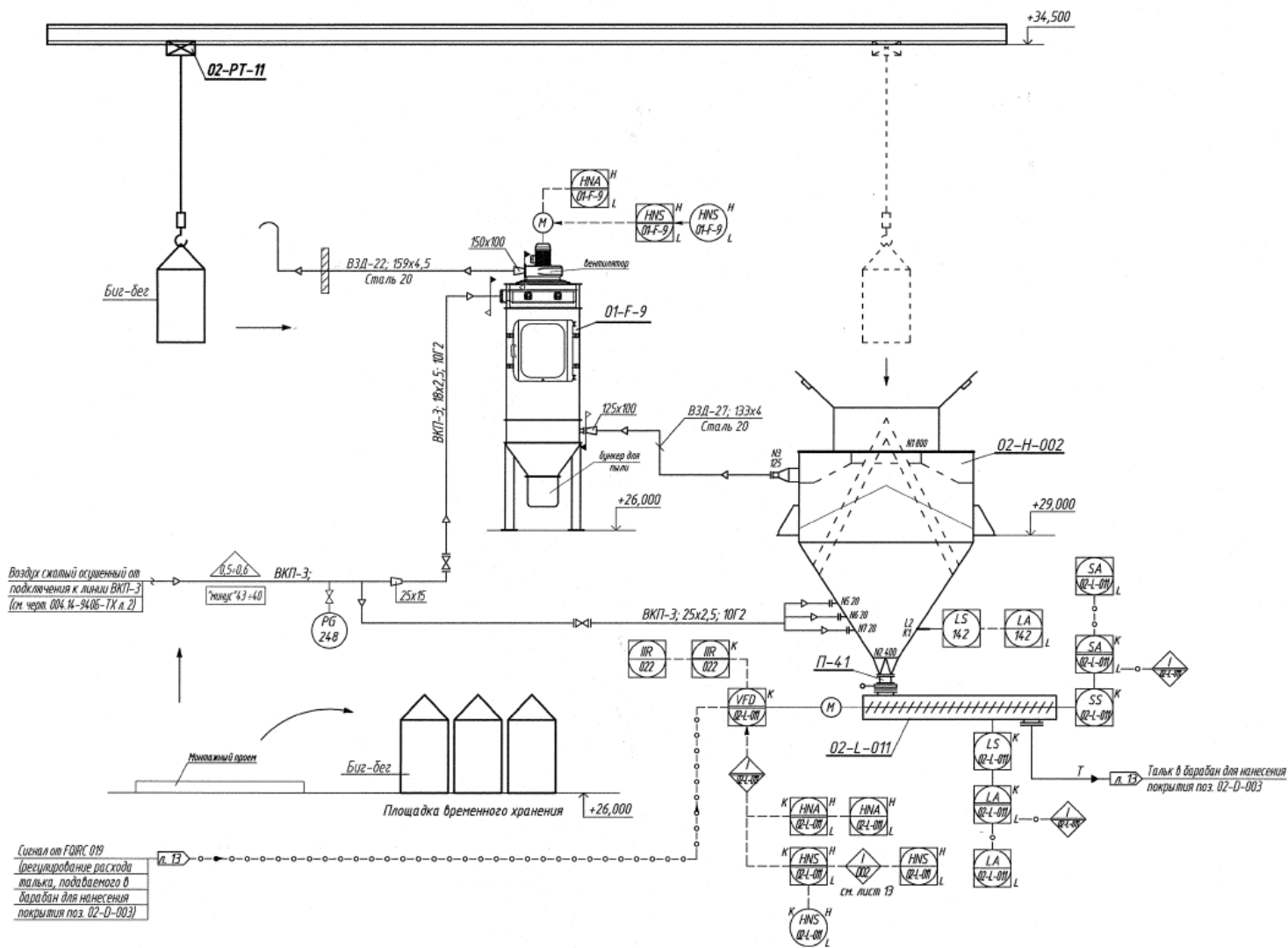


Рисунок 18 – Узел приема и подача талька после улучшения 2019 года

3.6.3 Дополнительная стадия технологического процесса

Дополнительной стадией технологического процесса, входящей в состав производства сульфат-нитрата аммония является установка приема, растворения и подачи добавки сульфата алюминия. Технологией процесса предусматривается использование добавки сульфата алюминия в виде водного раствора с концентрацией от 48 до 55 % масс. при получении аммиачной селитры.

Ниже представлено краткое описание проектной и усовершенствованной технологической схемы установки.

По проекту 2015 года поставка добавки (твердого сульфата алюминия) производится автотранспортом в биг-бегах. В состав установки входят следующие узлы:

- узел растаривания биг-бегов с подачей пневмокамерным насосом в емкость для растворения сульфата алюминия;
- узел растворения $Al_2(SO_4)_3$ и подачи готового раствора в резервуар поз. 01-Т-009 [59].

После заполнения емкости растворения поз. 01-Т-3 паровым конденсатом в нее подается пневмокамерным насосом поз. 01-Р-2 из узла растаривания сульфат алюминия, который в биг-беге доставляется автопогрузчиком со склада реагентов. Растворение $Al_2(SO_4)_3$ в паровом конденсате происходит в емкости поз. 01-Т-3. В емкость через барботажные трубки подается сжатый осушенный воздух от блока воздушной компрессии и циркуляцией раствора с помощью насоса поз. 01-Р-3. Переключение насоса с циркуляции на выдачу в емкость поз. 01-Т-009 осуществляется по показаниям рН метра, установленного на всасе насоса. Технологическая схема, предложенная ранее в 2015 году, установки приема, растворения и подачи реагента $Al_2(SO_4)_3$ представлена на рисунке 19 [82].

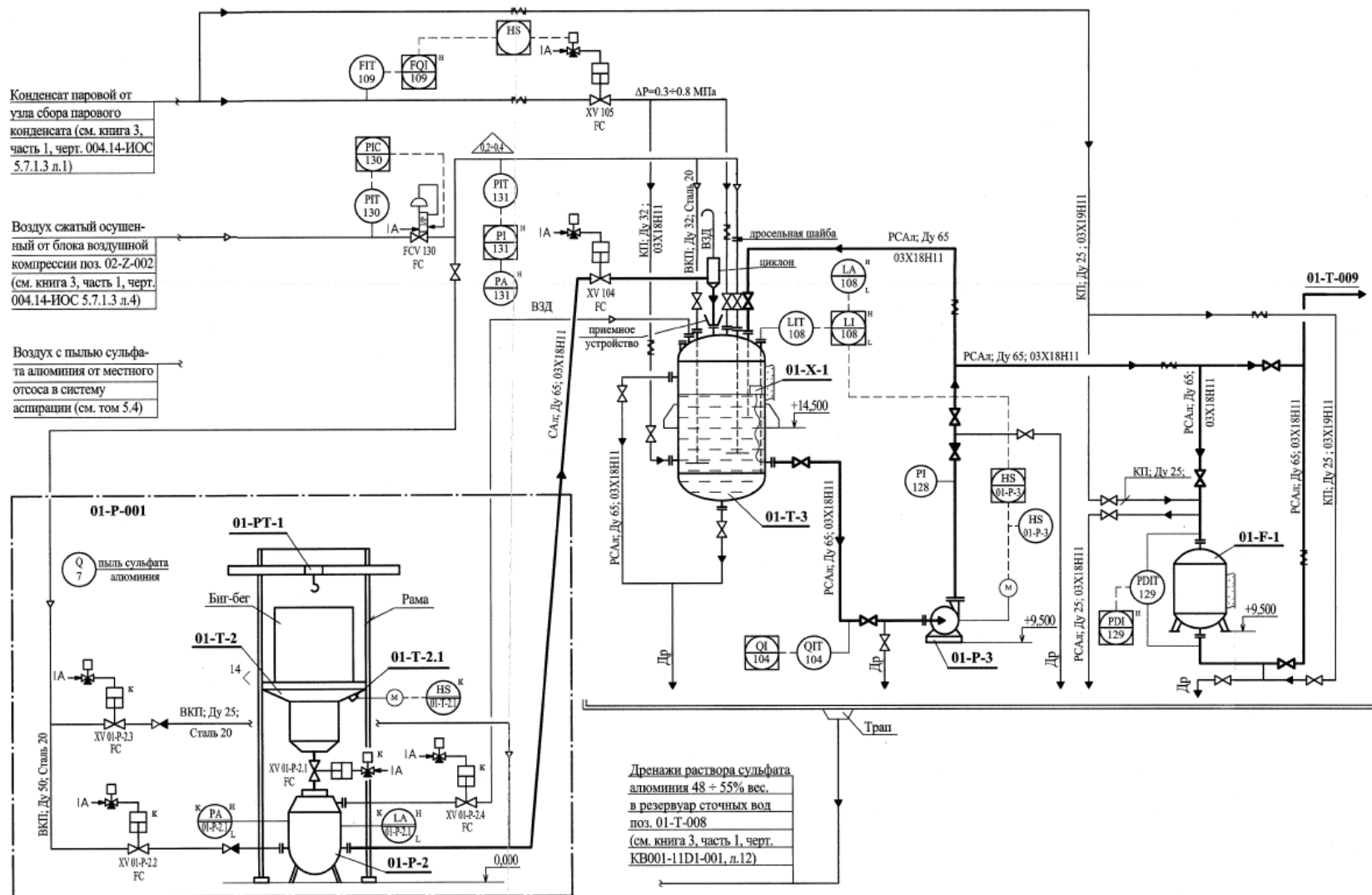


Рисунок 19 – Технологическая схема 2015 года

Технологическая схема установки сульфата алюминия по проекту 2015 года обладает рядом существенных недостатков:

- наличие дополнительного оборудования и трубопроводов. Например, пневмокамерный насос, емкость перемешивания, приборы КИПиА и регулирующая арматура;
- дополнительные затраты рабочего времени и энергоресурсов на обслуживание и подготовительные операции. Например, биг-беги с реагентом транспортируются со склада автопогрузчиком и поднимаются электротельфером, время на растворение реагента, расход парового конденсата;
- дополнительные отходы производства, повышенные затраты на их хранение и утилизацию. Например, пустая тара, деревянные поддоны;
- сложность технологической схемы.

Предложено изменение, которое позволило усовершенствовать технологию процесса установки и существенно оптимизировать дополнительную стадию производства добавки. Согласно предложению, сульфат алюминия поставляется автотранспортом на склад предприятия в жидком виде в кубитейнерах. Реагент $Al_2(SO_4)_3$ в виде водного раствора с концентрацией от 48 до 55 % масс. доставляется автопогрузчиком со склада реагентов в кубитейнерах объемом 1 м³ в производственный корпус. На рисунке 20 представлен фрагмент плана размещения оборудования в производственном корпусе [85].

Технологическая схема с внесенными изменениями представлена на рисунке 21 [85]. С помощью самовсасывающего насоса поз. 01-Р-3 раствор сульфата алюминия перекачивается из кубитейнеров в резервуар сульфата алюминия поз. 01-Т-009. Предусмотрен автоматический останов насоса поз. 01-Р-3 при срабатывании датчика протока, установленного на трубопроводе всаса насоса.

Фрагмент плана на отм. 0,000

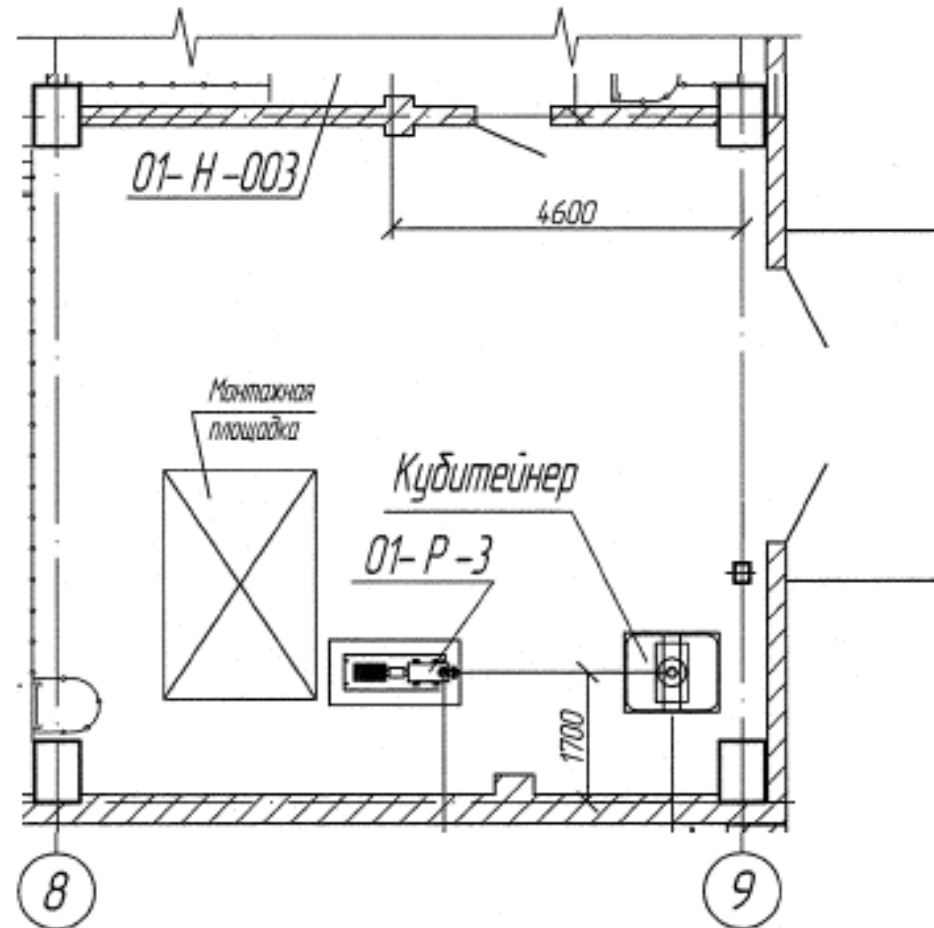


Рисунок 20 – Фрагмент плана производственного корпуса

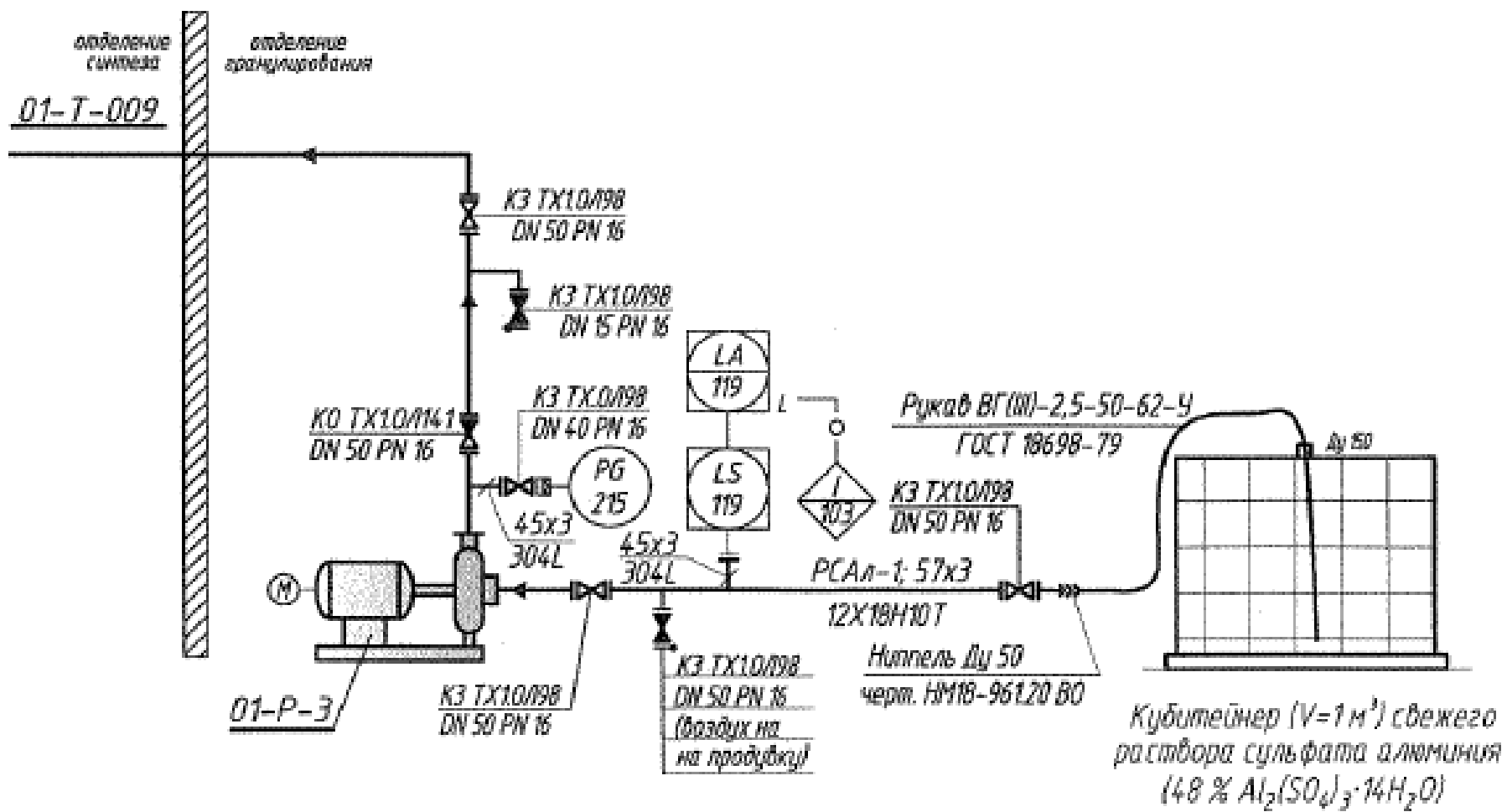


Рисунок 21 – Технологическая схема приема, растворения и подачи реагента

Реализация предложенной схемы позволила исключить указанные выше недостатки предыдущей схемы. Дополнительные преимущества: простота обслуживания установки, сокращение технологических операций, исключение дорогостоящего оборудования.

3.7 Материальный баланс предлагаемого усовершенствования

По результатам предлагаемых внедрений были проведены расчеты массового и материального балансов по каждой установке (участок синтеза нитрата аммония, участок гранулирования сульфонитрата аммония / нитрата аммония).

В таблицах 12 и 13 приведены результаты проведенного расчета материального баланса предлагаемого усовершенствования технологии получения азотных удобрений смешанного типа.

Таблица 12 – Массовый баланс участка синтеза нитрата аммония

		Номер линии	101	102	103	104	107	108	109	110	111	112	
		Текущая среда	NH3жид	NH3жид/г аз	NH3 газ	NH3 газ	NH3проду в.	NH3продув .	NH3жид	NH3 газ	NH3 газ	CWS	
Расход	Номинал.	кг/ч	3 689	3 689	3 689	3 689	0	0	3 689	3 689	0	154 104	
	Мин.	кг/ч	2 767	2 767	2 767	2 767	0	0	2 767	2 767	0	115 578	
	Макс.	кг/ч	4 612	4 612	4 612	4 612	250	200	4 612	4 612	100	192 630	
Температура	Номинал.	°С	30,0	30,0	10,8	70,0	10,8	65,0	10,8	10,8	65,0	35,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	60,0	--	--	60,0	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	75,0	--	--	75,0	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	11,64	7,00	7,00	6,30	7,00	уточнить	7,00	7,00	8,00	5,90	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	7,00	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	9,00	--	
Плотность		кг/м3	608	582	4,906	3,932	582	582	582	4,906	4,906	994	
Объемный расход		м3/ч	6,066	6,339	752	938	0	0	6,339	752	0,000	155	
Состав	NH3	кг/ч	3 687,73	3 687,73	3 687,73	3 687,73	0,00	0,00	3 687,73	3 687,73	0,00	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	1,48	1,48	1,48	1,48	0,00	0,00	1,48	1,48	0,00	154 104,00	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Продолжение таблицы 12

		Номер линии Текущая среда	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	
			CWR	CWR	CWS	CWS	PS	PS	PS	Избыт. технол. пар	PS	PC	HNO3	NH3 газ	
Расход	Номинал.	кг/ч	154 104	431 280	277 176	431 280	6 986	4 826	1 800	145	215	215	24 953	3 689	
	Мин.	кг/ч	115 578	323 460	207 882	323 460	5 239	3 619	1 350	109	161	161	18 715	2 767	
	Макс.	кг/ч	192 630	539 100	346 470	539 100	8 732	6 032	2 250	181	269	269	31 192	4 612	
Температура	Номинал.	°С	28,0	32,5	35,0	35,0	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0	149,8	25,0	70,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	5,90	5,90	5,90	5,90	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	8,00	6,30	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	996	994	994	994	2,326	2,326	2,326	2,326	2,326	916	1 328	3,932	
Объемный расход		м3/ч	155	434	279	434	3 003	2 075	774	62	92	0,235	18,797	981	
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	34,94	24,14	9,00	0,73	1,08	1,08	0,00	3 687,73	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13 474,75	0,00	
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	20,96	14,48	5,40	0,41	0,64	0,64	0,00	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	154 104,00	431 280,00	277 176,00	431 280,00	6 929,60	4 787,21	1 785,60	143,87	213,25	213,25	11 478,49	1,48	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии Текущая среда	125	126	127	128	129
			78%-ый раствор нитрата аммония	РС	РС	РС	78%-ый раствор нитрата аммония
Расход	Номинал.	кг/ч	21 923	266	9 414	266	0
	Мин.	кг/ч	16 442	200	0	0	0
	Макс.	кг/ч	27 404	333	9 680	9 680	120
Температура	Номинал.	°С	180,0	85,0	85,0	85,0	180,0
	Мин.	°С	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	4,70	4,00	7,00	7,00	4,70
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м ³	1 283	998	998	998	1 283
Объемный расход		м ³ /ч	17,087	0,267	9,433	0,267	0,000
Состав	NH ₃	кг/ч	10,96	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	17 099,98	4,36	154,39	4,36	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	кг/ч	4 812,11	261,75	9 259,51	261,75	0,00
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	201	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
		Текущая среда	78%-ый раствор нитрата аммония	Технич. вода	PS	PC	Пары	Пары	Пары	Пары	ПНД	Конденсат ы	97,5%-ый раствор нитрата аммония
Расход	Номинал.	кг/ч	21 923	2 591	4 826	4 826	0	1 567	2 823	4 390	0	0	17 533
	Мин.	кг/ч	16 442	1 944	3 619	3 619	0	1 175	2 117	3 293	0	0	13 150
	Макс.	кг/ч	27 404	3 240	6 032	6 032	50	1 959	3 529	5 488	200	200	21 916
Температура	Номинал.	°С	180,0	42,6	180,0	149,8	180,0	109,5	135,0	125,9	170,4	170,4	135,0
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	4,70	6,00	4,70	4,70	4,7	0,32	0,32	0,32	8,00	8,00	0,32
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	7,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	1 283	1 143	2,326	916	2,326	0,182	0,171	0,175	4,161	897	1 428
Объемный расход		м3/ч	17,087	2,268	2 075	5,267	0	8 608	16 543	25 151	0	0	12,278
Состав	NH3	кг/ч	10,96	0,00	24,14	24,14	0,00	2,35	4,23	6,59	0,00	0,00	4,38
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	17 099,98	364,36	14,48	14,48	0,00	1,05	4,22	5,27	0,00	0,00	17 094,71
	AS	кг/ч	0,00	256,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	4 812,11	1 970,15	4 787,21	4 787,21	0,00	1 563,78	2 814,38	4 378,16	0,00	0,00	433,95
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224
		Текущая среда	ПНД	Атм.возд.	РС	CWS	CWR	Инерт.в- ва	Инерт.в- ва	Пульпа ASN	ПНД	Конденсаты	Мелк.фракц. A S	Мелк.фракц. . AS
Расход	Номинал.	кг/ч	260	58	4 368	354 402	354 402	22	340	31 012	1 524	1 524	10 887	10 887
	Мин.	кг/ч	195	43	3 276	265 802	265 802	16	255	23 259	1 143	1 143	8 165	8 165
	Макс.	кг/ч	325	72	5 460	443 003	443 003	27	425	38 765	1 905	1 905	13 609	13 609
Температура	Номинал.	°С	170,4	30,0	61,7	28,0	35,0	61,7	128,7	145,0	170,4	170,4	25,0	25,0
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	8,00	АТМ.	0,27	5,90	5,90	0,27	АТМ.	АТМ.	8,00	8,00	АТМ.	АТМ.
	Мин.	бар абс.	--	--	0,24	--	--	0,24	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	0,32	--	--	0,32	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	4,161	1,144	982	996	994	0,203	0,608	1 524	4,161	897	1 769	1 769
Объемный расход		м3/ч	62	51	4,448	356	356	108	560	20,349	366	1,699	6,155	6,155
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	5,68	0,00	0,00	0,91	0,91	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	5,27	0,00	0,00	0,00	0,00	17 458,62	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11 111,32	0,00	0,00	10 854,65	10 854,65
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	56,91	0,00	0,00	0,00	0,00	56,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	260,00	0,97	4 357,23	354 402,20	354 402,00	20,93	282,18	2 437,62	1 524,00	1 524,00	32,66	32,66
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	225	227	228	229	230	231	233	234
		Текущая среда	Пульпа ASN	Сульфат алюминия	Сульфат алюминия	Наполните ль	Наполните ль	AS и пыль	ПНД	Конденсаты
Расход	Номинал.	кг/ч	49 874	0	0	0	0	18 862	1 677	1 677
	Мин.	кг/ч	37 405	0	0	0	0	14 146	1 258	1 258
	Макс.	кг/ч	62 342	0	0	150	150	23 577	2 096	2 096
Температура	Номинал.	°С	145,0	30,0	30,0	30,0	30,0	28,3	170,4	170,4
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	8,00	3,00	3,00	АТМ.	АТМ.	АТМ.	8,00	8,00
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	1 616	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	1 709	4,161	897
Объемный расход		м3/ч	31	0,000	0,000	0,000	0,000	11,037	403	1,869
Состав	NH3	кг/ч	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	17 458,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	28 821,54	0,00	0,00	0,00	0,00	17 710,21	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	1 094,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1 094,86	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	2 494,20	0,00	0,00	0,00	0,00	56,58	1 677,00	1 677,00
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	
		Текущая среда	Избыт. технол. пар	РС	РС	РС	Пары	РС	Инерт.в-ва	Атм.возд.	РС	РС	РС	РС	
Расход	Номинал.	кг/ч	145	1 800	4 826	215	496	635	21	14	12 926	1 448	1 448	266	
	Мин.	кг/ч	109	1 350	3 619	161	372	476	15	11	9 695	1 086	1 086	200	
	Макс.	кг/ч	181	2 250	6 032	269	620	794	26	18	16 158	1 810	1 810	333	
Температура	Номинал.	°С	180,0	103,0	149,8	149,8	99,9	100,0	163,7	30,0	85,0	85,0	50,0	85,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	80,0	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	180,0	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	4,70	Уточнить (3)	4,70	4,70	атм.	атм.	атм.	атм.	4,00	4,00	АТМ.	4,00	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	2,326	956	916	916	0,599	998	0,681	1,148	998	998	995	998	
Объемный расход		м3/ч	62	1,883	5,267	0,235	828	0,637	30	12,502	12,952	1,451	1,456	0,267	
Состав	NH3	кг/ч	0,73	9,00	24,14	1,08	5,19	0,00	5,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AN	кг/ч	0,41	5,40	14,48	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	211,67	23,71	23,71	4,36	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,61	14,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	143,87	1 785,60	4 787,21	213,25	490,81	635,28	0,00	0,26	12 714,55	1 423,96	1 423,96	261,75	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	
		Текущая среда	PC	PC	CWS	CWR	CWS	CWR	CWS	CWR	PC	HNO3	
Расход	Номинал.	кг/ч	3 212	8 000	59 593	59 593	48 761	48 761	10 832	10 832	4 368	148	
	Мин.	кг/ч	2 409	6 000	44 695	44 695	36 571	36 571	8 124	8 124	3 276	173	
	Макс.	кг/ч	4 016	10 000	74 491	74 491	60 951	60 951	13 540	13 540	5 460	289	
Температура	Номинал.	°С	85,0	85,0	28,0	35,0	28,0	35,0	28,0	35,0	61,7	25,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	4,00	4,00	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	ATM.	8,00	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	998	998	996	994	996	994	996	994	982	1 328	
Объемный расход		м3/ч	3,219	8,016	60	60	49	49	11	11	4,448	0,174	
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,68	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,92	
	AN	кг/ч	52,60	131,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,27	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	3 159,85	7 869,00	59 592,87	59 592,87	48 760,87	48 760,87	10 832,00	10 832,00	4 357,23	68,08	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	
		Текущая среда	РС	РС	РС	РС	РС	30%-ый раствор нитрата аммония	PS	PS	Пары	Пары	Пары	
Расход	Номинал.	кг/ч	8 000	8 000	6 355	4 567	2 579	436	1 800	1 800	1 894	1 645	1 789	
	Мин.	кг/ч	6 000	6 000	4 766	3 425	1 934	327	1 350	1 350	1 421	1 234	1 342	
	Макс.	кг/ч	10 000	10 000	7 944	5 709	3 224	545	2 250	2 250	2 368	2 056	2 236	
Температура	Номинал.	°С	96,0	99,4	105,0	90,0	73,0	55,0	180,0	172,0	118,0	104,0	88,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	4,00	4,00	2,20	2,40	2,20	1,90	4,70	1,86	1,86	1,17	0,65	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	998	965	961	972	983	1 181	2,326	0,869	1,056	0,682	0,394	
Объемный расход		м3/ч	8,016	8,289	6,613	4,700	2,625	0,369	774	2 072	1 793	2 412	4 537	
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AN	кг/ч	131,00	131,00	131,00	131,00	131,00	131,00	5,40	5,40	0,00	0,00	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	7 869,00	7 869,00	6 224,00	4 436,00	2 448,00	305,00	1 785,60	1 785,60	1 894,00	1 645,00	1 789,00	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422
		Текущая среда	Пары	Пары	Пары	Пары	Конденсат ы	Конденсат ы	Конденсат ы	Конденсат ы	Конденсат ы	Конденсат ы	Конденсат ы
Расход	Номинал.	кг/ч		2 142	100	117	1 894	1 800	1 800	1 645	1 889	3 434	2 104
	Мин.	кг/ч		1 607	75	88	1 421	1 350	1 350	1 234	1 417	2 576	1 578
	Макс.	кг/ч	1 987	2 678	125	146	2 368	2 250	2 250	2 056	2 361	4 293	2 630
Температура	Номинал.	°С	1 490	50,0	88,0	69,0	118,0	118,0	103,0	104,0	88,0	88,0	69,0
	Мин.	°С	2 484	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	69,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	--	0,12	0,65	0,30	1,86	уточнить (3)	уточнить (3)	1,16	0,65	0,65	0,30
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	0,30	--	1,45	1,45	--	--	--	--	1,45	1,45	1,45
Плотность		кг/м3	0,190	0,083	0,394	0,19	945	945	956	955	968	968	978
Объемный расход		м3/ч	10 436	25 768	254	614	2,004	1,905	1,883	1,723	1,951	3,548	2,151
Состав	NH3	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	5,40	5,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	1 987,00		2 142,00	100,00	117,00	1 894,00	1 785,60	1 785,60	1 645,00	1 889,00	3 434,00	2 104,00
	Добавка	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	
		Текущая среда	Конденсат ы	Конденсат ы	Инерт.в-ва	CWS	CWR	Инерт.в-ва	ПНД	CWS	CWR	Продувка	Конденсат ы	
Расход	Номинал.	кг/ч	5 421	2 142	уточнить	175 000	175 000	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	8 696	
	Мин.	кг/ч	4 066	1 607	уточнить	131 250	131 250	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	5 672	
	Макс.	кг/ч	6 776	2 678	уточнить	218 750	218 750	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	9 453	
Температура	Номинал.	°С	69,0	50,0	50,0	28,0	35,0	уточнить	170,4	28,0	35,0	уточнить	66,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	0,30	0,12	0,12	5,90	5,90	уточнить	8,00	5,90	5,90	уточнить	уточнить	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	1,45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	978	988	уточнить	996	994	уточнить	4,161	996	994	уточнить	980	
Объемный расход		м3/ч	5,543	2,168	уточнить	176	176	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	7,716	
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	уточнить	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	5 421,00	2 142,00	уточнить	175 000,00	175 000,00	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	уточнить	8 696,30	
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 12

		Номер линии	434	435	436	437
		Текущая среда	Конденсат ы	Конденсат ы	CWS	CWR
Расход	Номинал.	кг/ч	1 134	7 562	17 285	17 285
	Мин.	кг/ч	851	5 672	12 964	12 964
	Макс.	кг/ч	1 418	9 453	21 606	21 606
Температура	Номинал.	°С	66,0	50,0	28,0	35,0
	Мин.	°С	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	уточнить	уточнить	4,90	5,90
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--
Плотность		кг/м ³	980	988	996	994
Объемный расход		м ³ /ч	1,157	7,654	17,354	17,389
Состав	NH ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	кг/ч	1 134,30	7 562,00	17 285,00	17 285,00
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 13 – Массовый баланс участка гранулирования сульфонитрата аммония / нитрата аммония

		Номер линии	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511
		Текущая среда	Пульпа ASN	Атм.возд.	Сжат.возд ух	ASN	ASN	DA	Рециркуля ция	Горячий воздух	DA	DA	Пыль Сульфонитр ата аммония
Расход	Номинал.	кг/ч	49 874	656	656	155 674	155 635	8 941	108 948	15 000	39 218	38 448	770
	Мин.	кг/ч	37 405	492	492	116 755	116 727	6 706	81 711	11 250	29 414	28 836	578
	Макс.	кг/ч	62 342	820	820	194 592	194 544	11 177	136 185	18 750	49 023	48 060	963
Температура	Номинал.	°С	145,0	30,0	155,0	97,7	95,4	32,0	87,0	67,0	97,7	97,7	97,7
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	8,00	атм.	6,00	атм.	атм.	-50 мм вод.столба	атм.	0 мм вод.столба	-110 мм вод.столба	0 мм вод.столба	АТМ.
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	1 616	1,144	0,820	1 100	1 100	0,945	1 100	1,030	0,927	0,909	1 100
Объемный расход		м3/ч	31	573	800	142	141	9 458	99	14 565	42 318	42 318	0,700
Состав	NH3	кг/ч	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38	4,38	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	17 458,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	28 821,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	1 094,86	0,00	0,00	155 206,75	155 168,47	38,28	108 621,11	63,85	853,22	85,32	767,90
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	649,16	649,16	0,00	0,00	8 754,22	0,00	14 830,27	35 553,49	35 553,49	0,00
	H2O	кг/ч	2 494,20	6,56	6,56	467,02	466,91	148,79	326,84	105,88	2 806,96	2 804,65	2,31
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	512	513	514	515	516	517
		Текущая среда	Атм.возд.	Атм.возд.	Атм.возд.	ПНД	Конденсат ы	Воздух
Расход	Номинал.	кг/ч		19 665	19 665	1 292	1 292	34 665
	Мин.	кг/ч		14 749	14 749	969	969	25 999
	Макс.	кг/ч		24 581	24 581	1 615	1 615	43 331
Температура	Номинал.	°С	19 665	160,0	160,0	170,4	170,4	120,0
	Мин.	°С	14 749	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	24 581	170,0	170,0	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	30,0	-85 мм	0 мм			-5 мм
			--	вод.столба	вод.столба	8,00	8,00	вод.столба
	Мин.	бар абс.	АТМ.	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3		1,144	0,801	4,161	897	0,886
Объемный расход		м3/ч		17 193	24 556	311	1,441	39 125
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,85
	Сухой воздух	кг/ч	19 336,59	19 336,59	19 336,59	0,00	0,00	34 166,86
	H2O	кг/ч	328,41	328,41	328,41	1 292,17	1 292,17	434,29
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612
		Текущая среда	ASN	ASN	Мелк.фрак ция	Нестандартн ые крупные частицы	DA	DA	DA	Рециркуля ция	Рециркуля ция	DA	Горячий воздух	Горячий воздух
Расход	Номинал.	кг/ч	155 635	46 361	93 626	15 563	9 692	7 100	17 940	15 326	108 948	84 655	15 000	69 655
	Мин.	кг/ч	116 727	34 771	70 220	11 672	7 269	5 325	13 455	11 495	81 711	63 491	11 250	52 241
	Макс.	кг/ч	194 544	57 952	117 033	19 454	12 115	8 874	22 425	19 158	136 185	105 818	18 750	87 068
Температура	Номинал.	°C	95,4	90,0	90,0	90,0	32,0	32,0	32,0	76,8	87,0	67,0	67,0	67,0
	Мин.	°C	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°C	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	атм.	атм.	атм.	атм.	-50 мм вод.столба	-50 мм вод.столб а	-50 мм вод.столб а	атм.	атм.	0 мм вод.столба	0 мм вод.столба	0 мм вод.столба
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	1 100	1 100	1 100	1 100	0,964	1,026	0,988	1 100	1 100	1,030	1,030	1,030
Объемный расход		м3/ч	141	42	85	14,148	10 056	6 922	18 160	13,933	99	82 200	14 565	67 635
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	155 168,47	46 222,36	93 345,51	15 516,59	84,00	236,08	324,99	15 280,52	108 621,11	360,36	63,85	296,51
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	9 447,38	6 748,13	17 320,19	0,00	0,00	83 696,67	14 830,27	68 866,41
	H2O	кг/ч	466,91	139,08	280,88	46,69	160,70	115,32	295,14	45,98	326,84	597,56	105,88	491,67
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	
		Текущая среда	ASN	ASN	Атм.возд.	NH3жид	NH3 газ	Вода	ПНД	Конденсат ы	Воздух	Покр.реаге нт	Покр.реаге нт	
Расход	Номинал.	кг/ч	46 000	46 069	81 100	3 568	3 568	821	360	360	80 279	46	46	
	Мин.	кг/ч	34 500	34 535	60 825	2 676	2 676	615	270	270	60 209	35	35	
	Макс.	кг/ч	57 500	57 558	101 375	4 460	4 460	1 026	450	450	100 349	58	58	
Температура	Номинал.	°С	30,0	30,0	30,0	0,0	0,0	8,0	170,4	170,4	17,0	30,0	95,0	
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Давление	Номинал.	бар абс.	АТМ.	АТМ.	АТМ.	4,31	4,31	АТМ.	8,00	8,00	-130 мм вод.столба	АТМ.	10,00	
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Плотность		кг/м3	1 100	1 100	1,144	608	3,235	1 000	4,161	897	1,202	835	835	
Объемный расход		м3/ч	42	42	70 905	5,867	1 103	0,821	87	0,401	66 781	0,055	0,055	
Состав	NH3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	3 566,57	3 566,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	ASN	кг/ч	45 862,00	45 862,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	79 744,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79 744,21	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	138,00	138,00	1 355,58	1,43	1,43	820,6 1	360,01	360,01	360,01	534,97	0,00	0,00
	Добавка	кг/ч	0,00	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	46,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,00	46,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	624	625	626	627	628
		Текущая среда	Конденсаты	Конденсаты	DA	Гальк	DA
Расход	Номинал.	кг/ч	уточнить	уточнить	1 149	23	0
	Мин.	кг/ч	уточнить	уточнить	862	17	0
	Макс.	кг/ч	уточнить	уточнить	1 436	29	1 436
Температура	Номинал.	°С	уточнить	уточнить	32,0	30,0	32,0
	Мин.	°С	85,0	85,0	--	--	--
	Макс.	°С	95,0	95,0	--	--	--
Давление		бар абс.	уточнить	уточнить	-50 мм вод.столба	АТМ.	-50 мм вод.столба
	Номинал.	бар абс.	--	--	--	--	--
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м ³		уточнить	0,968	2 770	0,968
Объемный расход		м ³ /ч		#ЗНАЧ!	1 187	0,008	1 187
Состав	NH ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	4,92	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	1 124,69	0,00	0,00
	H ₂ O	кг/ч	уточнить	#ЗНАЧ!	19,12	0,00	0,00
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	23,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711
		Текущая среда	DA	Воздух	Инерт.в-ва	Инерт.в-ва	Инерт.в-ва	Инерт.в-ва	DA	DA	DA	Пыль	DA
Расход	Номинал.	кг/ч	38 448	69 655	21	340	0	уточнить	8 941	17 940	26 882	328	26 554
	Мин.	кг/ч	28 836	52 241	15	255	0	уточнить	6 706	13 455	20 161	246	19 915
	Макс.	кг/ч	48 060	87 068	26	425	50	уточнить	11 177	22 425	33 602	410	33 192
Температура	Номинал.	°С	97,7	67,0	163,7	128,7	180,0	уточнить	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
	Мин.	°С	--	--	80,0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	180,0	--	--	--	-50,0	-50,0	-50,0	50,0	50,0
Давление	Номинал.	бар абс. вод столба	вод столба	вод столба	АТМ.	АТМ.	4,7	уточнить	вод столба	вод столба	вод столба	АТМ.	вод столба
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м3	0,909	1,030	0,681	0,608	2,326	уточнить	0,945	0,988	0,974	1 100	0,962
Объемный расход		м3/ч	42 318	67 635	30	560	0,000	уточнить	9 458	18 160	27 605	0,298	27 613
Состав	NH3	кг/ч	4,38	0,00	5,91	0,91	уточнить	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	уточнить	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ASN	кг/ч	85,32	296,51	0,00	0,00	0,00	0,00	38,28	324,99	363,28	326,95	36,33
	Сухой воздух	кг/ч	35 553,49	68 866,41	14,61	56,91	0,00	0,00	8 754,22	17 320,19	26 074,42	0,00	26 074,42
	H2O	кг/ч	2 804,65	491,67	0,00	282,18	уточнить	уточнить	148,79	295,14	443,93	0,98	442,95
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722
		Текущая среда	Запыленны й	РС	30%-ый растворнитрат а аммония	Вода	Вода	Вода	HNO3	Продувка	Технич. вода	Технич. вода	Технич. вода
Расход	Номинал.	кг/ч	135 017	3 212	436	528	0	528	5	уточнить	51 891	2 591	49 300
	Мин.	кг/ч	101 262	2 409	327	396	0	396	4	уточнить	38 918	1 944	36 975
	Макс.	кг/ч	168 771	4 016	545	660	0	660	6	уточнить	64 864	3 240	61 625
Температура	Номинал.	°С	69,5	85,0	55,0	20,0	20,0	20,0	25,0	уточнить	42,6	42,6	42,6
	Мин.	°С	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	30,0	30,0	30,0	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	0 мм	4,00	1,90	3,50	3,50	3,50	8,00	уточнить	6,00	6,00	6,00
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--	7,00	7,00	7,00
Плотность		кг/м3	1,008	998	1 181	998	998	998	1 328	уточнить	1 143	1 143	1 143
Объемный расход		м3/ч	133 945	3,219	0,369	0,529	0,000	0,529	0,004	уточнить	45,411	2,268	43
Состав	NH3	кг/ч	11,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO3	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	52,60	131,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7 296,67	364,36	6 932,31
	AS	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5 140,42	256,69	4 883,73
	ASN	кг/ч	418,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сух. воздух	кг/ч	130 566,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H2O	кг/ч	4 020,73	3 159,85	305,00	528,28	0,00	528,28	2,28	уточнить	39 454,24	1 970,15	37 484,09
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	723	724	725	726	727	728	729	730
		Текущая среда	Технич. вода	Воздух	Воздух	Технич. вода	DA	Дробленый AS	Пыль ASN	AS и пыль
Расход	Номинал.	кг/ч	15 899	136 619	136 619	31 798	26 554	17 764	770	18 862
	Мин.	кг/ч	0	102 851	102 851	23 849	19 915	13 323	578	14 146
	Макс.	кг/ч	31 798	171 418	171 418	47 698	33 192	22 204	963	23 577
Температура	Номинал.	°C	38,9	38,9	38,9	38,9	32,0	25,0	97,7	28,3
	Мин.	°C	--	--	--	--	--	--	--	--
	Макс.	°C	--	--	--	--	50,0	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	АТМ.	-385 мм вод столба	вод столба	АТМ.	-225 мм вод.столба	АТМ.	АТМ.	АТМ.
	Мин.	бар абс.	--	вод столба	--	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м ³		--	--	1 143	0,962	1 769	1 100	1 709
Объемный расход		м ³ /ч		1 143	1,094	28	27 613	10,042	0,700	11,037
Состав	NH ₃	кг/ч	13,914	124 937	5,97	3,63	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO ₃	кг/ч	1,81	5,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	4 620,32	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	2 310,16	0,00	0,00	3 256,17	0,00	17 710,21	0,00	17 710,21
	ASN	кг/ч	1 628,08	0,00	5,97	273,47	36,33	0,00	767,90	1 094,86
	Сухой воздух	кг/ч	136,73	5,97	130 566,35	0,00	26 074,42	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	кг/ч	0,00	130 566,35	6 040,73	23 644,91	442,95	53,29	2,31	56,58
	Добавка	кг/ч	11 822,45	6 040,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продолжение таблицы 13

		Номер линии	801	802	803	804	805
		Текущая среда	Кристаллы сульфата аммония	Мелк. фракц .AS	Дробленый AS	Дробленый AS	Дробленый AS
Расход	Номинал.	кг/ч	28 651	10 887	17 764	17 764	17 764
	Мин.	кг/ч	21 488	8 165	13 323	13 323	13 323
	Макс.	кг/ч	35 814	13 609	22 204	22 204	22 204
Температура	Номинал.	°С	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
	Мин.	°С	--	--	--	--	--
	Макс.	°С	--	--	--	--	--
Давление	Номинал.	бар абс.	атм.	атм.	атм.	атм.	атм.
	Мин.	бар абс.	--	--	--	--	--
	Макс.	бар абс.	--	--	--	--	--
Плотность		кг/м ³	950	1 769	1 769	1 769	1 769
Объемный расход		м ³ /ч	30,159	6,155	10,042	10,042	10,042
Состав	NH ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HNO ₃	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AS	кг/ч	28 564,88	10 854,65	17 710,22	17 710,22	17 710,21
	ASN	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Сухой воздух	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	кг/ч	85,95	32,66	53,29	53,29	53,29
	Добавка	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Покр. реагент	кг/ч	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Выводы к главе 3

Анализ существующего технологического процесса производства азотных удобрений на площадке ПАО «КуйбышевАзот» позволил выявить недостатки существующей технологии и предложить следующие решения по совершенствованию:

- В предлагаемой технологической схеме покрывающий реагент (минеральное масло) поступает на производство уже в расплавленном состоянии со склада реагентов из емкости объемом 50 м³ по трубопроводу в резервуар покрывающего реагента поз. 02-Т-001.
- Тальк в производственный корпус доставляется автопогрузчиком в биг-бегах со склада реагентов.
- Предложено, чтобы сульфат алюминия поставлялся автотранспортом на склад предприятия в жидком виде в кубитейлерах.

Заключение

В работе проведен сравнительный анализ способов и методов получения сульфат-нитрата аммония. Приведены характеристики наиболее распространенных минеральных азотных удобрений, составлены рекомендации для минеральных удобрений смешанного типа для сохранения необходимых для растений питательных веществ, представлены определенные правила совместимости и смешиваемости некоторых удобрений эффективность получения минеральных удобрений смешанного типа. Обоснованы преимущества СНА, по сравнению с нитратом аммония. Проведен патентный поиск отечественных и зарубежных методов и способов получения и производства СНА в качестве минерального азотсодержащего удобрения.

Представлен анализ технологии нейтрализации аммиака азотной кислотой с последующей очисткой выхлопных газов, применяемой на площадке ПАО «КуйбышевАзот».

Дано описание действующей технологии получения сульфат-нитрата аммония и способы ее усовершенствования.

Предложен усовершенствованный вариант для схемы узла покрывающего реагента, согласно которому в новой технологической схеме покрывающий реагент (минеральное масло) поступает на производство уже в расплавленном состоянии со склада реагентов из емкости объемом 50 м³ по трубопроводу в резервуар покрывающего реагента.

Предложено изменение, которое позволит усовершенствовать технологию процесса установки и существенно оптимизировать дополнительную стадию производства добавки. Согласно предложению, сульфат алюминия поставляется автотранспортом на склад предприятия в жидком виде в кубитейнерах. Реагент $Al_2(SO_4)_3$ в виде водного раствора с концентрацией от 48 до 55 % масс. доставляется автопогрузчиком со склада реагентов в кубитейнерах объемом 1 м³ в производственный корпус.

Список используемой литературы

1. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, ИТС 2-2015. НДТ ИТС 2-2015 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот».
2. Бродский А. А. Технология фосфорных и комплексных удобрений. М: Химия, 1987. 464 с.
3. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1989. 352 с
4. Захаренко В. А. Мировые тенденции производства и использования минеральных удобрений // Агрохимия. М.: Наука, 2000. №5. С. 14-15
5. Гаврилов В. С. Производство азотных удобрений // Результаты агрохимических испытаний МФУ: сб. статей. Ташкент: УзИНТИ, 1965. С. 189-194
6. Горловский Д. М. Технология карбамида. Л.: Химия, 1981. 320с.
7. Городецкий С.П. Влияние медленнодействующих и водорастворимых удобрений на превращение азота в почве и потери его от вымывания // Агрохимия. М.: Наука, 1983. №8. С. 37-45
8. Косов В. И. Сапропель – уникальное полезное ископаемое // Горный журнал. М.: Руда и металлы, 2009. №6. С. 31-33
9. ТУ 113-03-33-01-85. Карбамидоформальдегидные удобрения (опытные партии). – Введ. 09.01.86. – 11 с.
10. ТУ 2181-629-00209023-02. Удобрения жидкие азотные «КАС». – Введ. 12.01.02. – 10 с.
11. Капцынель Ю. М. Условия эффективного применения длительно действующих азотсодержащих удобрений. Обзорная информация. – Москва, 1989. 42 с.

12. Крутько Н.П. Физико-химические основы и технология получения медленнодействующих минеральных удобрений с улучшенными физико-химическими и агрохимическими свойствами. М.: Химия, 1989. 343 с.

13. Ильин А.П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учеб. Пособие. Иван. гос. хим.- технол. ун-т. Иваново, 2011. 133 с.

14. Справочник по минеральным удобрениям, отв. ред. М. В. Каталымов. М., 1960; Позин М. Е., Технология минеральных солей, 2 изд., Л., 1961; Прянишников Д. Н., Избр. соч., т. 1, М., 1963; Справочник по удобрениям, 3 изд., М., 1964.

15. Справочная книга по химизации сельского хозяйства; под ред. В. М. Борисова. М., 1969.

16. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. Л.: Химия, 1983. 336 с.

17. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрохимия; под редакцией Б. А. Ягодина. М.: Колос, 2002. 584 с.

18. Логинова И. Сульфат-нитрат аммония: «убить двух зайцев». [Электронный ресурс]. URL: <http://infoindustria.com.ua/sulfat-nitrat-ammoniya-ubit-dvuh-zaytsev/> (дата обращения 10.10.2019).

19. Спецификация на материал: сульфат-нитрат аммония от 14.03.2014. Документ опубликован не был. Исключительными правами на данный документ обладает компания «CFIh».

20. Патент RU 2279416 Сульфат нитрат аммония и способ его получения (варианты). Оpubл. 10.07.2006. Автор(ы): Хайсмит Роналд Ирл, Коррил Стивен Томас, Куидер Джеймс Алфонс. [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/227/2279416.html> (дата обращения 15.11.2019).

21. Патент RU2385311C2 Способ получения гранулированного нитратно-сульфатного аммиачного удобрения. Оpubл. 27.03.2010. Автор(ы): Бугарова Зузана, Полак Антон, Батика Дезидер, Папп Йозеф. [Электронный

ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2385311C2/ru> (дата обращения 15.11.2019).

22. Патент RU2385311C2 Способ получения гранулированного нитратно-сульфатного аммиачного удобрения. Оpubл. 27.03.2010. Автор(ы): Бугарова Зузана, Полак Антон, Батика Дезидер, Папп Йозеф. [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2385311C2/ru> (дата обращения 15.11.2019).

23. Патент RU 2628493 Способ получения сульфата-нитрата аммония. Оpubл. 17.08.2017. Автор(ы): Барт Стефани С., Квидир Джеймс А., Азимова Мария А., Виссингер Рэймонд Г., Пейс Кристофер Б., Макгилл Джошуа Х., Кочран Киф Д., Ховс Эндрю Дж. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/262/2628493.html> (дата обращения 15.11.2019).

24. Фонд развития промышленности. Строительство установки для получения сульфат-нитрата аммония. [Электронный ресурс]. URL: <http://frprf.ru/proekty-i-zayavki/proekty/42562/> (дата обращения 20.11.2019).

25. Фонд развития промышленности. Строительство установки для получения сульфат-нитрата аммония. [Электронный ресурс]. URL: <http://frprf.ru/proekty-i-zayavki/proekty/42562/> (дата обращения 20.11.2019).

26. Описание технологического процесса от 11.12.2013. Документ опубликован не был. Исключительными правами на данный документ обладает компания «CFIh».

27. Инструкция по эксплуатации от 27.02.2014. Документ опубликован не был. Исключительными правами на данный документ обладает компания «CFIh».

28. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1989.

29. Справочник азотчика: в 2 т. М.: Химия, 1987. Т. 1, 2.

30. Горловский, Д. М. Технология карбамида. Л.: Химия, 1981.

31. Комплексные удобрения на основе аммиачной селитры и способы их получения [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/223/2237046.html> (дата обращения: 16.05.2019).
32. Дудкина Е. Карбамидно-аммиачная смесь (КАС) // Агроном. – 2013. – №1.
33. Постоянный технологический регламент №ТР 3-1 производства селитры аммиачной и КАС цеха №3 ПАО «КуйбышевАзот».
34. Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: сборник научных трудов. – Иваново. : Изд-во ФГОУ ВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д.К. Беляева», 2010.
35. Пат. 2154620 Российская Федерация, МПК⁷ C05C1/02, C05D1/00, C05G1/06, C05D5/00. Способ получения азотно-калийного удобрения / Духанин В. Ф., Серебряков А. И. Оpubл. 20.08.2000.
36. Пат. 2233823 Российская Федерация, МПК⁷ C05G1/00, C05C1/02, C05D1/00. Способ получения азотно-калийного удобрения / Мельниченко И. М. Оpubл. 10.08.2004.
37. Пат. 92006438 Российская Федерация, МПК⁶ C05C1/02, C05C9/02. Способ получения гранулированного удобрения / Расулов М. М., Усманов А. С., Богданов А. В. Оpubл. 30.04.1995.
38. Пат. 2186751 Российская Федерация, МПК⁷ C05C1/00, C05G1/00, C05G1/08. Способ получения сложного удобрения, содержащего азот, кальций и серу / Серебряков А. И., Духанин В. Ф. Оpubл. 10.08.2002.
39. Пат. 2000131688 Российская Федерация, МПК⁷ C05G5/00, C05C9/00, C05B19/00, B01J2/00. Способ приготовления гранул сложных удобрений / Ван Бремпт Артур (BE), Поукари Юхани (FI). Оpubл. 20.11.2002.
40. Вилесов Н. Г., Скрипко В. Я., Ломазов В. Л., Танченко И. М. Процессы гранулирования в промышленности. Киев: Техника, 1976.
41. Тиссенкрупп Индастриал Солюшнс (РУС). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tkisrus.com/> (дата обращения: 20.05.2019).

42. Воробьев Н. И. Технология связанного азота и азотных удобрений / тексты лекций по одноименному курсу для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 01 «Технология минеральных удобрений, солей и щелочей» очной и заочной форм обучения. Минск: БГТУ, 2011.

43. Олевский В. М. Технология аммиачной селитры. М.: Химия, 1978.

44. Клевке В. А. Технология азотных удобрений. 2-е. изд. Госхимиздат, Москва. 1963

45. Петров В. И. Исследование массоотдачи в жидкой фазе вихревых контактных устройств с нисходящим потоком фаз для многоступенчатых аппаратов // Вестник Казанского национального технологического университета. 2011. № 21.

46. Петров В. И. Оптимизация конструкции и режимов работы вихревых контактных устройств. Часть 2. ВКУ со сферическим контактным патрубком // Вестник Казанского национального технологического университета. 2010. № 12.

47. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissertcat.com> (дата обращения: 20.05.2019).

48. Пат. РФ 2088554. Способ получения жидкого азотного удобрения / Орлова М. А., Горшкова Н. В., Горьков Т. Н. - №95907461/25; заявл. 09.21.1994; 27.08.1997, Бюл. №12 – 9 с.

49. Рынок удобрений в России – 2015. Показатели и прогнозы. – электронный ресурс. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.marketing.rbc.ru> (дата обращения: 20.05.2019).

50. Белова А. Симбиоз науки и практики: почему жидкие удобрения такие эффективные? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samara.kp.ru/daily/26992.4/4053030/> (дата обращения: 24.11.2019).

51. Справочник по растворимости солевых систем. В 2 т. Л.: Химия, 1975. Т.1. 1070 с.; Т. 2. 1063 с.

52. Пат. РФ 2394799 Гранулированное азотное удобрение на основе аммиачной селитры и карбамида и способ его получения / Киселевич П. В., Кощеев В. А., Бойков С В., Пономарев Н. П., Наумов А. А., Хохлов В. М., Абрамов О. Б., Захарова О. М., Мухачева Т. Е., Терещенко О. Л., Медянцева Д. Г. - №2008152020/15; заявл. 26.12.2008; опубл. 20.07.2010, Бюл. №11 – 14 с.

53. Сборнова Е. Производству – модернизация, лесам – восстановление: КуйбышевАзот соблюдает баланс интересов. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samara.kp.ru/daily/27085/4157646/>(дата обращения: 24.11.2019).

54. Пат. 2408561 РФ, МПК C05C1/00. Способ получения сульфатонитрата аммония / Киселович П. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «ЗМУ КЧХК». - № 2009115301/05; заявл. 21.04.2009; опубл. 10.01.2011.

55. Логинова И. Сульфат-нитрат аммония: «убить двух зайцев». [Электронный ресурс]. URL: <http://infoindustria.com.ua/sulfat-nitrat-ammoniya-ubit-dvuh-zaytsev/> (дата обращения: 24.11.2019).

56. Исследование процесса и разработка технологии производства NS-содержащего минерального удобрения в грануляционных башнях // Успехи в химии и химической технологии. Том XXIII. 2009. №7

57. Новое решение в азотно-серном питании растений – сульфонитрат NS 30:7 // Федеральный журнал «АгроФорум». Научно-практическое издание эффективного агробизнеса. 2019. №2. С. 56–57

58. Ильин А. П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учеб. пособие // Иван. гос. хим.- технол. ун-т. Иваново, 2011. 133 с.

59. Пат. 2408561 РФ, МПК C05C1/00. Способ получения сульфатонитрата аммония / Киселович П. В. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «ЗМУ КЧХК». - № 2009115301/05; заявл. 21.04.2009; опубл. 10.01.2011

60. АО «ОХК «УРАЛХИМ». Годовой отчет за 2013 год: эффективность как источник роста, 2013 - 88 с.

61. Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: сборник научных трудов. Иваново: Изд-во ФГОУ ВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д.К. Беляева», 2010.

62. Левин Б. В., Соколов А. Н. // Труды НИУИФ, 1919-2014. – М., 2004. – С. 235-249.

63. Trussell P. // International Conference & Exhibition «Nitrogen 2006 Vienna Austria». – P. 23-33.

64. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1983. – 336 с., ил.

65. Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. Агрохимия; под редакцией Б. А. Ягодина. М.: Колос, 2002. – 584 с.

66. Логинова И. Сульфат-нитрат аммония: «убить двух зайцев». [Электронный ресурс]. URL: <http://infoindustria.com.ua/sulfat-nitrat-ammoniya-ubit-dvuh-zaytsev/> (дата обращения 10.10.2019).

67. Material datasheet for ammonium sulfonitrate 14.03.14_T_MSDS_ASN_INT_REV0. Документ опубликован не был. Исключительными правами на данный документ обладает компания «CFIh»

68. Таран А. Л., Шмелёв С. Л., Олевский В. М., Кузнецова В. В., Рустамбеков М. К., Филонов А. М., Таран А. В. Исследование возможности гранулирования в башнях аммиачной селитры с добавкой сульфата аммония // Химическая промышленность. 1991. № 12. С. 743-749.

69. Сульфат нитрат аммония на основе растворов и плава аммиачной селитры и сульфата аммония // Химический журнал Казахстана, 2015. № 3.

70. О промышленной безопасности производственных объектов. [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.07.97. № 116 ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения 01.02.2020).

71. Общие правила взрывобезопасности взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-540-03

72. . Heather D. J., Lance G. E. Fertiliser Manufacturers Association. Безопасность азотнокислотного аммония, хранение и транспортировка.

73. Chien Sen H.; Singh Upendra; Gearhart M. Mercedes; Austin E. Rick. Evaluation of Fused Ammonium Sulfate Nitrate Fertilizer for Crop Production. – February 2013 - Volume 178 - Issue 2 - p 79–86

74. Plett D., Garnett T. & Okamoto M. Molecular genetics to discover and improve nitrogen use efficiency in crop plants. (Adelaide Univ. Press, Australia, 2017)

75. Zhang F. S. [et al.] Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. Acta Pedologica Sinica. 45, 915–924 (2008)

76. Yu F. & Shi W. M. Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years. Acta Pedologica Sinica. 52, 1311–1324 (2015)

77. Клечковский В. М., Петербургский А. В. Агрохимия; под редакцией акад. ВАСХИЛ В. М. Клечковского и проф. А. В. Петербургского. М.: Колос, 1964. 527 с.

78. Поляков Н. Н., Кантор А. С., Гришаева О. С. Стабилизирующее действие фосфатно-сульфатной добавки на плав аммиачной селитры при его упарке // Азотная промышленность. 1974. № 3. С. 15-17.

79. Coates R. V., Woodard G. D. X-ray powder diffraction data for solid solutions and double salts occurring in granular compound fertilizers // J. Sci. Food Agric. 1963 V. 14. P. 398 – 404

80. Корнеева А. С., Бабкина Т. С. Термическая устойчивость смешанных солей нитрата и сульфата аммония при различной влажности воздуха // XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2011». Секция «Химия», подсекция «Физическая химия-2». Москва, 2011.

81. Установка получения сульфат-нитрата аммония. Проектная документация // Технологические решения. Производственный корпус. Текстовая часть. 004.14-ИОС 5.7.1.3, 2015. 291 с.

82. Установка получения сульфат-нитрата аммония. Проектная документация / Технологические решения. Производственный корпус. Текстовая часть. 004.14-ИОС 7.1.3.1, 2019. 307 с.

83. Установка получения сульфат-нитрата аммония. Проектная документация / Технологические решения. Склад реагентов. 004.14-ИОС 7.1.2, 2019. 74 с.

84. Установка получения сульфат-нитрат аммония. Проектная документация / Технологические решения. Производственный корпус. Графическая часть (начало). 004.14-ИОС 7.1.3.2.1, 2019. 48 с.

85. Установка получения сульфат-нитрата аммония. Проектная документация / Технологические решения. Производственный корпус. Графическая часть (окончание). 004.14-ИОС 7.1.3.2.2, 2019. 65 с.