

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)

18.03.02 Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии  
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Оптимизация технологии гранулирования крупнотоннажного производства  
сульфат-нитрата аммония

Обучающийся

Магдеев Р.У.

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.С. Гончаров

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)



Тольятти 2024



**Росдистант**

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

## Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Оптимизация технологии гранулирования крупнотоннажного производства сульфат-нитрата аммония».

Выпускная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, 3 таблиц, 6 рисунков, списка используемых источников.

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос предварительной подготовки суспензии сульфата аммония перед отправкой его на синтез.

Целью работы является увеличение производительности установки по производству сульфат-нитрата аммония.

Объектом исследования стадия гранулирования и сортировки сульфат-нитрата аммония.

Во введении ставится цель и формулируются задачи работы.

В первом разделе рассмотрены свойства сульфат-нитрата аммония, рассматриваются технологии используемые в процессе его производства и анализируются перспективы их развития

Во втором разделе рассмотрена технологическая схема процесса, предложено техническое решение по оптимизации.

В третьем разделе приводятся данные по расчетам основного оборудования

В заключении делаются выводы о предполагаемых технических результатах оптимизации.

## **Annotation**

Title of the Graduation Thesis: "Optimization of the Granulation Technology for Large-Scale Production of Ammonium Sulfate-Nitrate." The thesis consists of an introduction, three chapters, a conclusion, three tables, six figures, and a list of references.

The graduation thesis addresses the issue of pre-treatment of ammonium sulfate suspension before its introduction into the synthesis process. The aim of the study is to increase the productivity of the plant for the production of ammonium sulfate-nitrate. The object of the study is the granulation and sorting stages of ammonium sulfate-nitrate.

The introduction defines the objectives and tasks of the research. The first chapter examines the properties of ammonium sulfate-nitrate, explores the technologies used in its production, and analyzes prospects for their development. The second chapter reviews the technological process flow and proposes a technical solution for optimization. The third chapter presents calculations for the main equipment.

The conclusion provides insights into the anticipated technical results of the proposed optimization.

## Содержание

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                           | 5  |
| 1 Литературный обзор .....                                                              | 6  |
| 1.1 Определяющие свойства сульфат-нитрата аммония .....                                 | 6  |
| 1.2 Технология получения сульфат-нитрата аммония.....                                   | 8  |
| 1.3 Современные технологии гранулирования минеральных удобрений ...                     | 10 |
| 1.4 Технологии сортировки и классификации гранул минеральных<br>удобрений .....         | 13 |
| 2 Анализ технологии производства сульфат-нитрата аммония .....                          | 22 |
| 2.1 Описание технологической схемы.....                                                 | 22 |
| 2.1.1 Получение суспензии сульфат-нитрата аммония .....                                 | 22 |
| 2.1.2 Очистка запыленного технологического воздуха.....                                 | 28 |
| 2.1.3 Получение горячего воздуха для подачи в барабанный гранулятор -<br>осушитель..... | 28 |
| 2.1.4 Система пылеудаления .....                                                        | 29 |
| 2.2 Обоснование технического решения по оптимизации .....                               | 31 |
| 3 Технологические расчеты .....                                                         | 36 |
| 3.1 Расчет материального баланса .....                                                  | 36 |
| 3.2 Расчет грохота.....                                                                 | 39 |
| Заключение .....                                                                        | 45 |
| Список используемых источников.....                                                     | 46 |

## Введение

В современных условиях интенсивного развития сельского хозяйства перед химической промышленностью стоят задачи по увеличению объемов производства и улучшению качества минеральных удобрений. Одним из наиболее востребованных продуктов является сульфат-нитрат аммония, который сочетает в себе эффективные формы азота и серы, обеспечивающие высокий уровень питательных веществ для растений. Учитывая значительный спрос на данный продукт, важным аспектом является не только повышение его производства, но и оптимизация технологических процессов, включая этапы гранулирования и сортировки гранул[3].

Процесс производства гранулированной формы сульфат-нитрата аммония многостадийны и имеют большой потенциал для совершенствования всех стадий его производства

Гранулирование и сортировка играет важную роль в технологии производства удобрений, так как она определяет качество конечного продукта, его соответствие стандартам и экономическую эффективность производства. Процесс разделения гранул по размеру на товарные и возвратные фракции, включающий операции грохочения и рециркуляции, напрямую влияет на производительность, энергозатраты и объем потерь товарного продукта. Однако на практике часто возникают проблемы, связанные с несовершенством схем сортировки, что приводит к избыточной нагрузке на оборудование, снижению качества гранул и увеличению доли отходов[7].

Цель работы: увеличение производительности установки по производству сульфат-нитрата аммония

Задачи:

- проанализировать свойства сульфат-нитрата аммония и выявить технологические факторы, влияющие на них;
- выбрать и обосновать способ оптимизации процесса;
- произвести расчеты технологического оборудования

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Определяющие свойства сульфат-нитрата аммония

Сульфат-нитрат аммония представляет собой сложное минеральное удобрение, сочетающее в себе аммонийную и нитратную формы азота, а также серу в составе сульфата. Мировые мощности его производства составляют порядка свыше 10 млн тонн в год. Этот продукт характеризуется уникальным сочетанием свойств, что делает его важным элементом в системе агрохимического обеспечения сельского хозяйства. Его химическая структура обеспечивает высокую растворимость в воде, благодаря чему питательные вещества легко усваиваются растениями, что особенно важно для культур с интенсивным ростом [4].

Основной особенностью сульфат-нитрата аммония является его стабильность при хранении и транспортировке. В отличие от нитрата аммония, он обладает меньшей гигроскопичностью, что предотвращает слеживание гранул и обеспечивает удобство в использовании. Это делает данный вид удобрений популярным в странах с тропическим климатом и значительно расширяет возможности его транспортировки [18].

Гранулы удобрения имеют высокую прочность, прочнее модифицированных форм аммиачной селитры в 3-5 раз, что снижает пыление и облегчает механизированное внесение в почву. Удобная гранулометрия продукта способствует равномерному распределению на поле, что крайне важно для обеспечения эффективного питания растений. Поэтому к однородности гранулометрического состава предъявляются повышенные требования [14].

С точки зрения состава сульфат-нитрат аммония представляет собой двойную соль  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ , с избыточным содержанием одного из двух компонентов.

Товарный сульфат аммония выпускаемый ПАО Куйбышевазот отвечает требованиям ТУ 20.15.39-065-00205311-2016. Нормируемые технические показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые показатели сульфат-нитрата аммония

| Наименование показателя                                            | Норма                   |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Внешний вид                                                        | Белые или серые гранулы |
| Массовая доля азота в пересчете на сухое вещество, %, не менее     | 26                      |
| Массовая доля воды, %, не более                                    | 0,3                     |
| Массовая доля серы, % не менее                                     | 13                      |
| Фракционный состав, %<br>-фракция 2-5мм, не менее                  | 90                      |
| Рассыпчатость, %                                                   | 100                     |
| Статическая прочность гранул, кгс/гранулу(фракция 2-5мм), не менее | 3                       |
| Сумма оксидов кальция и магния в пересчете на MgO, % не более      | 0,9                     |

Назначение сульфат-нитрата аммония определяется его агрономическими преимуществами. Он применяется на всех типах почв и для различных сельскохозяйственных культур. Аммонийная форма азота в составе удобрения медленно поглощается растениями, что обеспечивает длительное азотное питание, в то время как нитратная форма азота доступна немедленно, стимулируя быстрый рост и развитие растений. Присутствие серы в форме сульфата помогает улучшить синтез белков и аминокислот, что особенно важно для культур с высоким содержанием белка, таких как зерновые или масличные растения. Кроме того, сера способствует лучшему усвоению азота, увеличивая общую эффективность удобрения [22].

Использование сульфат-нитрата аммония имеет свои особенности. Продукт рекомендуется как в качестве основного удобрения при предпосевной обработке почвы, так и в качестве подкормки в период активного роста растений. Благодаря сочетанию быстрых и пролонгированных эффектов, удобрение подходит как для интенсивных

технологий земледелия, так и для систем, направленных на устойчивое развитие. Его универсальность делает продукт востребованным во многих странах с различными климатическими условиями и типами почв.

Таким образом, сульфат-нитрат аммония представляет собой инновационное решение для сельского хозяйства, сочетая высокую эффективность, удобство применения и универсальность. Его использование позволяет не только повысить урожайность, но и улучшить качество продукции, обеспечивая оптимальный баланс питательных веществ для растений.

## **1.2 Технология получения сульфат-нитрата аммония**

Производство сульфат-нитрата аммония представляет собой сложный технологический процесс, включающий несколько основных стадий:

- прием компонентов;
- концентрирование раствора нитрата аммония до 97,5 % путем выпаривания части воды;
- получение пульпы сульфат-нитрата аммония путем смешивания плава аммиачной селитры с мелкокристаллическим сульфатом аммония в аппаратах с механическими мешалками;
- очистка технологического конденсата с получением раствора аммиачной селитры и возвратом его в процесс
- гранулирование и сушка продукта в грануляторе-осушителе;
- сортировка продукта по грансоставу и охлаждение продукта;
- возврат некондиционного продукта в процесс;
- финальная обработка: нанесение антислеживающих добавок и выдача на склад готовой продукции

Первая стадия заключается в приеме компонентов, необходимых для синтеза продукта, что обеспечивает стабильное и равномерное поступление сырья в производственную линию. После этого проводится концентрирование

раствора нитрата аммония, достигающее 97,5%, что реализуется путем выпаривания части воды. Этот этап необходим для получения требуемой концентрации раствора, обеспечивающей высокое качество конечного продукта[5].

Далее следует процесс получения пульпы сульфат-нитрата аммония. Для этого плав аммиачной селитры смешивается с мелкокристаллическим сульфатом аммония в аппаратах с механическими мешалками. Такой подход обеспечивает равномерность распределения компонентов и однородность структуры пульпы. Одновременно проводится очистка технологического конденсата с извлечением раствора аммиачной селитры, который затем возвращается в процесс, что снижает потери сырья и повышает экологическую эффективность производства.

Следующим важным этапом является гранулирование и сушка продукта. Процесс осуществляется в грануляторе-осушителе, где пульпа формируется в гранулы и подвергается сушке для достижения необходимых физико-механических свойств. После этого продукт сортируется по гранулометрическому составу, что позволяет выделить товарные фракции, соответствующие требованиям потребителей. Одновременно проводится охлаждение гранул для предотвращения их деформации и слипания[23].

Некондиционные фракции, включая мелкую пыль и крупные гранулы, возвращаются в процесс, что позволяет снизить объем отходов и повысить экономичность технологии. Завершающим этапом является финальная обработка готового продукта. На гранулы наносятся антислѐживающие добавки, которые предотвращают слипание при хранении и транспортировке. Затем готовая продукция отправляется на склад, где она хранится до отправки потребителям[15].

Производственный процесс включает оптимизированные технологические стадии, направленные на достижение высокой эффективности, минимизацию отходов и выпуск качественного продукта, востребованного в агропромышленной отрасли.

### **1.3 Современные технологии гранулирования минеральных удобрений**

Современные технологии гранулирования минеральных удобрений имеют определяющее значение в производстве агрохимической продукции, обеспечивая высокую эффективность их применения и соответствие требованиям агропромышленного комплекса. Основная задача процессов гранулирования заключается в формировании гранул определенного размера и прочности, которые обеспечивают удобство транспортировки, хранения и внесения удобрений в почву [12].

Гранулирование минеральных удобрений представляет собой сложный технологический процесс, который включает стадии смешивания сырьевых компонентов, формирования гранул, их сушки и последующей сортировки. Современные технологии стремятся интегрировать энергоэффективные методы, обеспечивающие стабильность параметров гранул при минимизации затрат. Особое внимание уделяется применению процессов агломерации, химической кристаллизации и шлифования в производстве, которые позволяют добиться высокой однородности и прочности конечного продукта.

Одним из значительных достижений в области гранулирования является внедрение технологий с использованием жидких связующих веществ, таких как растворы аммиака, сульфата или фосфата. Эти вещества помогают создавать плотные и устойчивые к механическим воздействиям гранулы, которые сохраняют свои свойства в процессе транспортировки и хранения. Использование жидких связующих также позволяет улучшить распределение питательных веществ в гранулах, обеспечивая их равномерное усвоение растениями [21].

Эффективное гранулирование невозможно без современных систем контроля параметров процесса. Интеграция автоматизированных систем мониторинга позволяет в реальном времени отслеживать ключевые показатели, такие как влажность, температура и размер гранул, что повышает

стабильность работы оборудования и снижает риск выпуска некондиционного продукта.

Современные технологии также ориентированы на экологическую устойчивость. Уменьшение выбросов пыли и газов, снижение энергозатрат и отходов производства становятся важными аспектами проектирования и эксплуатации грануляционных линий. Применение замкнутых циклов переработки отходов и рециркуляции некондиционных гранул позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и одновременно повышать экономическую эффективность процесса [11].

Инновации в области гранулирования направлены на создание комбинированных удобрений, содержащих несколько питательных веществ, таких как азот, фосфор и калий, в одной грануле. Это требует сложных технологий для обеспечения равномерности состава и механической устойчивости гранул. Одним из примеров таких решений являются технологии соэкструзии, которые обеспечивают равномерное распределение компонентов и позволяют создавать многослойные гранулы [17].

Одним из наиболее современных решений в области гранулирования является внедрение технологии формирования гранул по принципу «луковой шелухи» внедренное на производстве сульфат-нитрата аммония на ПАО «Куйбышевазот».

Основная идея этой технологии заключается в послойном наращивании материала вокруг центрального ядра, что обеспечивает формирование прочной и однородной гранулы с оптимальными характеристиками. Этот процесс часто реализуется в барабанных грануляторах, где движение материала, создаваемое вращением барабана, способствует равномерному распределению и укладке слоев.

Формирование гранулы начинается с зарождения мелкого ядра, которое служит основой для дальнейшего наращивания материала. Это ядро обычно образуется из мелких частиц сырья, таких как пыль, крошка или некондиционные гранулы. Далее на поверхность ядра подаются жидкие

связующие вещества, такие как раствор аммиака или кислоты, которые обеспечивают адгезию следующих слоев. Вращение барабана способствует равномерному распределению мелкодисперсных частиц по поверхности ядра, создавая тонкий слой, который затвердевает под действием температуры и движения. Этот процесс повторяется многократно, пока гранула не достигнет необходимого размера.

Основным преимуществом данной технологии является высокая однородность гранул. Благодаря послойному формированию структура гранулы становится плотной и прочной, что уменьшает вероятность её разрушения при транспортировке и внесении в почву. Кроме того, этот метод позволяет тщательно контролировать размер гранул, так как каждая стадия наращивания слоя осуществляется в заданных условиях, обеспечивая соответствие продукции стандартам [8].

Особенностью грануляции по принципу «луковой шелухи» является способность достигать высокой механической прочности без необходимости значительного увеличения затрат на связующие вещества. Это делает процесс экономически выгодным, особенно в условиях крупнотоннажного производства. Гранулы, образованные таким способом, характеризуются гладкой поверхностью, что снижает риск слеживания при хранении.

Технология также обеспечивает равномерное распределение питательных веществ в грануле. В процессе наращивания слоев можно вносить различные компоненты, такие как азот, сера или микроэлементы, что позволяет создавать многокомпонентные удобрения. Это особенно актуально для современных агрохимических продуктов, где требуется сочетание нескольких питательных элементов в одной грануле [9].

Применение барабанных грануляторов для реализации этой технологии предоставляет дополнительные преимущества. Они обеспечивают постоянное движение материала, что способствует равномерному наращиванию слоев и предотвращает агломерацию частиц. Простота конструкции и высокая

производительность оборудования делают его особенно привлекательным для крупных предприятий.

Технология гранулирования по принципу «луковой шелухи» представляет собой эффективное решение для производства минеральных удобрений с высокой однородностью, прочностью и регулируемым составом. Она отвечает требованиям современной агрохимической промышленности, позволяя производить продукцию высокого качества при минимальных затратах и с минимальным воздействием на окружающую среду [10].

Современные технологии гранулирования минеральных удобрений представляют собой комплекс прогрессивных решений, направленных на удовлетворение требований рынка и повышение эффективности производства. Они способствуют улучшению качества продукции, оптимизации производственных процессов и обеспечению устойчивого развития отрасли в целом.

#### **1.4 Технологии сортировки и классификации гранул минеральных удобрений**

Технологии сортировки гранулированных продуктов занимают ключевое место в производственных процессах химической промышленности, поскольку они обеспечивают разделение материала на фракции с заданными характеристиками. Сортировка влияет на качество конечного продукта, его соответствие стандартам и эффективность последующих стадий обработки, таких как упаковка или рециркуляция. Процесс основывается на физических различиях между частицами, включая размер, форму, плотность и механическую прочность, что позволяет выделять товарные гранулы, возвратные фракции и отходы [24].

Одной из основных задач сортировки является достижение высокой точности разделения. Для этого используются различные методы и оборудование, которые обеспечивают эффективное разделение материала в

потоке. Наиболее распространённым подходом является механическое грохочение, где гранулы проходят через ситовые поверхности с отверстиями определённого размера. Грохота, применяемые для этих целей, обладают высокой производительностью и устойчивостью к износу, что делает их оптимальными для работы в условиях крупнотоннажного производства.

Технологический процесс сортировки гранулированных продуктов тесно связан с вопросами рециркуляции. Некондиционные фракции, такие как мелкие и крупные частицы, возвращаются на ранние стадии технологической линии для повторной переработки. Это снижает потери сырья и обеспечивает экономическую эффективность производства. В то же время товарные гранулы проходят этапы очистки, охлаждения и дальнейшей упаковки. Такой подход позволяет поддерживать стабильность параметров продукции и минимизировать отходы.

Современные технологии сортировки активно используют автоматизацию и системы контроля. Применение датчиков, камер и программного обеспечения позволяет отслеживать качество разделения в реальном времени, своевременно корректировать параметры оборудования и обеспечивать стабильность процесса. Интеграция таких решений повышает эффективность работы предприятия и снижает долю некондиционной продукции.

Помимо механических методов, в последние годы всё большее внимание уделяется инновационным подходам к сортировке, основанным на физических и химических свойствах гранул. Такие технологии, как пневматическая или оптическая сортировка, позволяют выделять фракции с особыми характеристиками, что актуально для сложных многокомпонентных удобрений. Эти методы обеспечивают высокую точность и гибкость процесса, хотя их применение часто ограничено из-за высокой стоимости оборудования и энергозатрат[11].

Эффективная сортировка неразрывно связана с особенностями оборудования, его настройкой и условиями эксплуатации. Например, скорость

подачи материала, угол наклона грохота, частота вибрации и размеры сит оказывают значительное влияние на качество разделения. Постоянное развитие технологий направлено на повышение надежности и долговечности сортировочного оборудования, а также на уменьшение затрат на его обслуживание.

Таким образом, технологии сортировки гранулированных продуктов представляют собой сложный и многогранный процесс, который требует интеграции передовых методов и оборудования. Они обеспечивают стабильное качество продукции, оптимизируют использование сырья и вносят значительный вклад в повышение эффективности производства минеральных удобрений и других гранулированных материалов.

Современные технологии грохочения и классификации минеральных удобрений играют важнейшую роль в производственных процессах, обеспечивая разделение гранул на фракции, соответствующие заданным требованиям. Эти технологии направлены на повышение качества продукции, оптимизацию производительности оборудования и снижение потерь сырья. В условиях крупнотоннажного производства удобрений эффективность процессов грохочения и классификации становится ключевым фактором, влияющим на экономическую целесообразность и экологическую устойчивость производства [13].

Грохочение осуществляется с использованием различных типов оборудования, которое обеспечивает разделение гранул по размерам. В основе работы лежит использование ситовых поверхностей с отверстиями различного диаметра. Сита могут быть неподвижными или вибрационными, причем последние значительно повышают производительность за счет активного движения материала. Вибрационные грохота, благодаря своей высокой эффективности, широко применяются в производстве минеральных удобрений, так как они позволяют справляться с большими объемами материала и обеспечивают точное разделение на фракции.

Грохота, применяемые для фракционирования сыпучих материалов, используются как элементы технологических линий в различных отраслях, включая химическую промышленность, горнодобывающую и аграрный сектор. Их основная задача заключается в разделении материалов по размеру частиц, что позволяет выделять товарные фракции, возвращать некондиционные частицы в производственный процесс и минимизировать отходы. Виды грохотов различаются по принципу работы, конструкции и области применения, что позволяет выбирать оптимальные решения для конкретных условий эксплуатации.

Вибрационные грохота являются наиболее распространенным типом оборудования для фракционирования. Их принцип работы основан на колебательных движениях ситовых поверхностей, которые обеспечивают эффективное прохождение частиц через отверстия заданного размера. Вибрационные грохота отличаются высокой производительностью, универсальностью и способны справляться с большими объемами материала. Кроме того, они обеспечивают точное разделение фракций и могут быть настроены на обработку различных типов материалов, включая гранулированные удобрения, строительные смеси и руды. Конструкция вибрационного грохота представлена на рисунке 1.

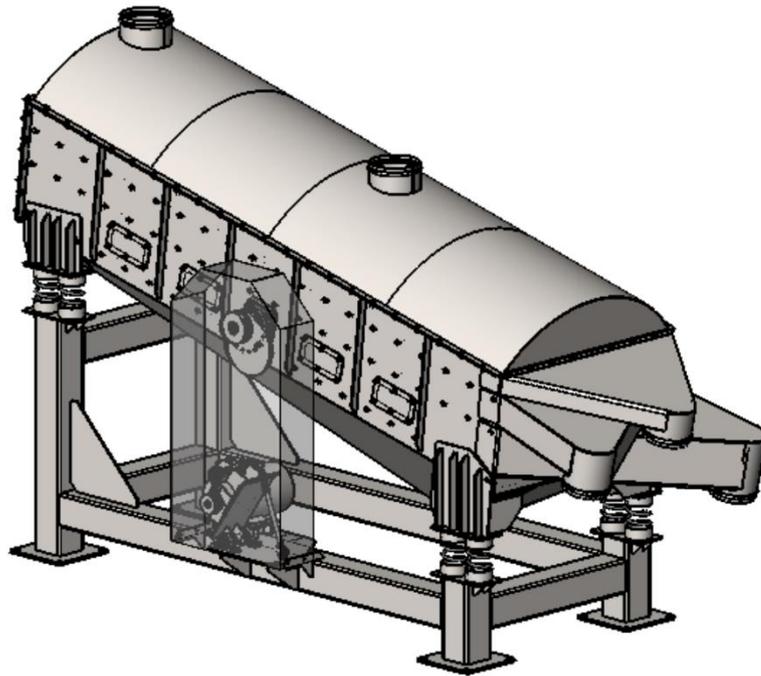


Рисунок 1 – Вибрационный грохот

Круглые или роторные грохота характеризуются вращением цилиндрической или конической сетчатой поверхности, через которую материал разделяется по размерам. Такие грохота особенно эффективны при работе с мелкодисперсными или пылеобразными материалами, поскольку их конструкция предотвращает засорение сит. Роторные грохота часто используются в производстве удобрений для отделения пыли или мелкой фракции от гранул товарного размера.

Распространены также барабанные грохота, где материал разделяется внутри вращающегося барабана, покрытого ситовой поверхностью. Этот тип оборудования отличается высокой надежностью, простотой конструкции и возможностью обработки крупнотоннажных потоков материала. Барабанные грохота применяются в случаях, когда требуется грубая сортировка или предварительное удаление крупных включений. Конструкция барабанного грохота представлена на рисунке 2.

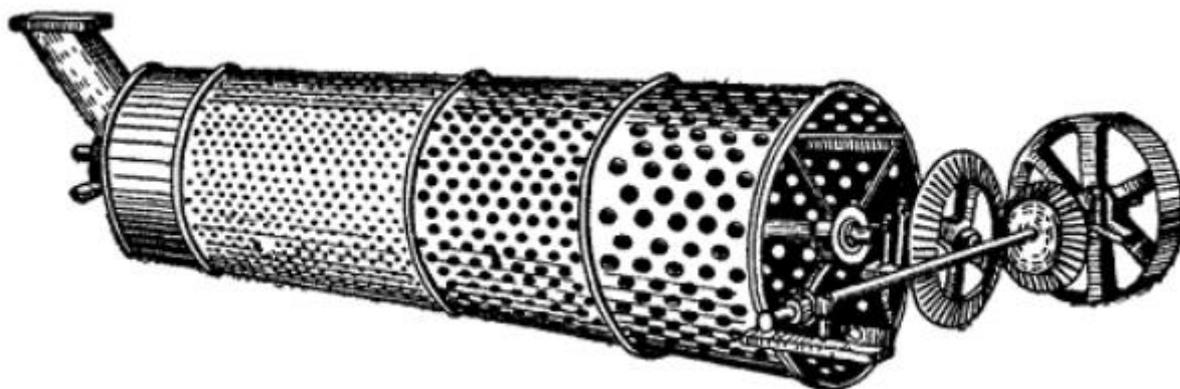


Рисунок 2 – Цилиндрический барабанный грохот

Для более сложных задач используются многоситчатые грохота, которые обеспечивают разделение материала на несколько фракций одновременно. Такие устройства осульфат-нитрат аммония щены несколькими уровнями сит с отверстиями разного размера, что позволяет выделять товарные гранулы, мелкие и крупные фракции в едином процессе. Это оборудование востребовано в высокотехнологичных производственных линиях, где требуется высокая степень автоматизации и точность сортировки. Конструкция многоситчатого инерционного грохота представлена на рисунке 3.



1 – корпус грохота, 2- пружина, 3 –вал, 4 – электродвигатель, 5 – сита, 6 – накладка, 7 – вибратор с дебалансом

Рисунок 3 –Многоситчатый грохот

Оптические и пневматические грохота представляют собой инновационные решения, основанные на использовании физических свойств материала, таких как плотность, форма или светопоглощение. Эти технологии позволяют выполнять сортировку с высокой точностью, однако их применение ограничено из-за высокой стоимости оборудования и энергозатрат.

Разнообразие видов грохотов позволяет эффективно решать задачи фракционирования сыпучих материалов в зависимости от требований к качеству продукции, особенностей перерабатываемого материала и условий эксплуатации. Развитие технологий направлено на повышение производительности, надежности и экологической устойчивости грохотного оборудования[16].

Важной характеристикой современных технологий грохочения является способность работать с материалами, которые обладают различной формой и плотностью. Это особенно актуально для многокомпонентных удобрений, где

гранулы могут иметь сложный состав и неоднородную структуру. Применение адаптивных систем, регулирующих параметры работы оборудования, позволяет учитывать такие особенности, обеспечивая стабильность процесса и высокое качество разделения.

Классификация минеральных удобрений также включает процессы пневматического и гидравлического разделения, которые основываются на различиях в плотности и аэродинамических свойствах частиц. Эти методы используются для более сложных задач, таких как отделение пылевидных примесей или разделение материалов с близкими размерными характеристиками. Пневматические системы позволяют эффективно работать с мелкодисперсными продуктами, снижая пыление и обеспечивая высокую точность классификации[25].

Современные технологии активно используют автоматизацию для повышения эффективности процессов грохочения и классификации. Интеграция сенсоров, камер и программного обеспечения для мониторинга характеристик материала в реальном времени позволяет улучшить контроль качества и оперативно корректировать параметры работы оборудования. Это особенно важно в условиях переменных характеристик исходного материала, когда требуется высокая гибкость производственного процесса.

Инновационные разработки в области грохочения направлены на снижение энергозатрат и увеличение срока службы оборудования. Применение износостойких материалов, самоочищающихся сит и энергосберегающих двигателей позволяет минимизировать эксплуатационные расходы. Кроме того, развитие технологий направлено на снижение экологической нагрузки: внедряются системы пылеулавливания и замкнутые циклы работы, исключая выбросы мелкодисперсных частиц в окружающую среду[20].

Таким образом, современные технологии грохочения и классификации минеральных удобрений представляют собой динамично развивающуюся область, которая адаптируется к требованиям промышленности и рынка. Они

обеспечивают высокое качество продукции, оптимизируют использование сырья и способствуют устойчивому развитию химической промышленности.

Вывод по разделу: Проведенное исследование позволило сформировать комплексное представление о ключевых аспектах, связанных с производством и обработкой сульфат-нитрата аммония. Изучение определяющих свойств этого продукта подтвердило его высокую востребованность в агрохимии благодаря уникальному сочетанию питательных элементов и физико-химическим характеристикам, определяющим его эффективность и стабильность в эксплуатации. Анализ технологий, включающих производство сульфат-нитрата аммония выявил высокое значение процессов сортировки и классификации гранул минеральных удобрений в обеспечении стабильного качества продукции. Современные производства включают стадии синтеза, гранулирования и сортировки, имеющие высокий потенциал для совершенствования. Эффективность сортировки оказывает значительное влияние на экономическую и экологическую составляющие производственного процесса, позволяя минимизировать потери сырья и улучшать характеристики конечного продукта

## **2 Анализ технологии производства сульфат-нитрата аммония**

### **2.1 Описание технологической схемы**

«При производстве сульфат-нитрат аммония используется технология гранулирования с применением барабанного гранулятора типа Spherodizer – барабанный гранулятор-осушитель (БГС), в которой функции гранулирования и осушки объединены и выполняются в одном вращающемся барабане методом послойной грануляции» [19].

#### **2.1.1 Получение суспензии сульфат-нитрата аммония**

«Суспензия сульфат-нитрата аммония состоит из раствора нитрата аммония, измельченных кристаллов сульфата аммония, и наполнителя (доломитовой муки).

На первом этапе кристаллы делятся на фракции: первая фракция с размерами менее 800 микрон и вторая - с размерами более 800 микрон. Первая фракция подается в бункер (поз.01-Н-001) откуда пневмокамерным насосом поз.01-Р-010 перемещается в бункер поз.01-Н-1, сульфат-нитрат аммония оснащенный фильтром циклонного типа поз.01-Ф-010 и шлюзовым питателем поз. 01-З-007, который в свою очередь выгружает сульфат аммония на ленточный транспортер поз. 01-Л-001 сульфат-нитрат аммония оснащенный конвейерными весами поз.01-Х-1 в контролирующую заданный расход сульфат аммония в первый резервуар перемешивания (поз.01-Т-003). Вторая фракция из бункера (поз.03-Н-001) подается в дробилку (поз.03-З-002) ленточным питателем (поз.03-Л-001), а затем, после сепарации в мешочном фильтре (поз.03-Ф-001), посредством шнекового питателя (поз.03-Л-006) поступает во второй резервуар перемешивания (поз.01-Т-004). Это разделение на два потока кристаллов позволяет снизить потребление электроэнергии (используется только одна дробилка вместо двух).

Дробилка поз. 03-Z-002 представляет собой валковую мельницу, внутри которой измельчение материала происходит под действием сжимающих и срезающих усилий между размольными валиками и размольным кольцом. Измельчаемый материал, поступающий в дробилку, подается специальными лопастями от днища в область между размольными валиками и размольным кольцом. Из дробилки измельченный материал выносится потоком воздуха в радиальный классификатор, расположенный в верхней части дробилки. В классификаторе под действием центробежной силы разделяются мелкие и крупные частицы сульфата аммония, мелкие частицы увлекаются потоком воздуха из дробилки в мешочный фильтр поз. 03-F-001, а крупные возвращаются в нижнюю часть дробилки для дополнительного измельчения. Электродвигатели привода ротора дробилки, на котором установлены размольные валки и привод классификатора, имеют частотные регуляторы (позиция 3410, 3420), с помощью которых соответственно осуществляется управление производительностью дробилки и степенью помола кристаллов сульфат аммония. Номинальная производительность дробилки составляет 18 – 20 т/ч.

Операция выполняется в двух резервуарах перемешивания поз.01-T-003 и 01-T-004, каждый из которых сульфат-нитрат аммония оснащен эффективным смесителем (поз.01-A-001 и поз.01-A-002, соответственно) и паровым змеевиком для регулирования температуры суспензии перед гранулированием (суспензия самотеком поступает из первого резервуара во второй). На выходе из второго резервуара перемешивания сульфат-нитрат аммония направляется в распылители – «пистолеты» барабанного гранулятора-осушителя посредством насоса поз.01-P-003А» [19].

Барабанный гранулятор-осушитель поз.02-D-001 представляет собой вращающийся барабан, разделенный на две части круговой сливной перегородкой, причем, каждая часть осульфат-нитрат аммониящена специально спрофилированными подъемными приспособлениями, которые

крепятся болтами к корпусу (при необходимости, их можно регулировать; они заменяются в случае поломки или износа).

«Принцип гранулирования заключается в наслаивании или гранулировании в режиме «луковой шелухи», в результате которого образуется гранула с послойно нарастающими слоями (гранула выглядит напоминающей множество слоев «луковой шелухи» или образовавшуюся в облаке градину).

Чтобы получить такой результат, недостаточно просто распылить суспензию сульфат-нитрата аммония (образуются слишком большие капли); необходимо получить суспензию в мелкодисперсном состоянии, которая наносится на поверхность твердой рециркулирующей частицы, попавшей в барабан из конвейера рециркуляции поз.02-L-005; с этой целью несколько распылителей – «пистолетов», установлены на входе барабана, причем, каждый из них сульфат-нитрат аммония оснащен инжектором пара для очистки и промывки при останове установки. Эти устройства изготовлены из нержавеющей стали и включают специальные внутренние детали из керамики, что позволяет избежать как коррозии, так и абразивного износа.

Сжатый воздух поступает от воздушных компрессоров поз.02-K-2A/B/C сухого типа, через ресивер поз.02-T-1. Воздух дополнительно подогревается паром низкого давления в подогревателе воздуха (поз.02-E-3).

Для удаления тепла и влаги, выделяющегося в результате процесса кристаллизации, на вход гранулятора-осушителя поз.02-D-001 подается воздух; этот воздушный поток представляет собой смесь предварительно подогретого атмосферного воздуха и повторно используемого воздуха из барабана холодильника поз.02-D-002; он распределяется на входе в секцию гранулирования с помощью соответствующих дефлекторов, чтобы избежать попадания распыленной до мелкодисперсного состояния суспензии на кожух барабана или подъемные приспособления» [19].

Гранулы выпадают из гранулятора-осушителя поз.02-D-001 и подаются при помощи конвейера гранулятора-осушителя поз.02-L-001, элеватора поз.02-L-002 и конвейера поз.02-L-003 на грохоты поз.02-S-001А/В.

«Выходящий из барабанного гранулятора осушителя поз.02-D-001 воздух всасывается воздуходувкой поз.02-B-005 после прохождения через батарею циклонов поз.02-F-002А/В/С; собранная пыль, направляется на переработку во второй резервуар перемешивания поз.01-Т-004. Затем воздух из циклонов направляется в мокрый скруббер поз.02-V-002 для окончательной очистки.

Система подачи воздуха и суспензии сульфат-нитрата аммония поз. 02-Z-009 на форсунки барабанного гранулятора осушителя представляет собой комплектную систему распределительных коллекторов: суспензии сульфат-нитрат аммония, сжатого горячего воздуха, пара низкого давления и сбора парового конденсата. Распределительная система снабжена комплектом запорной арматуры, с помощью которой на каждый из пяти распылителей могут быть поданы суспензия сульфат-нитрата аммония, сжатый горячий воздух и пар низкого давления (как вместе, так и отдельно). Подача пара в распылители производится для прогрева или очистки их от суспензии сульфат-нитрата аммония при пуске или остановке процесса гранулирования. На коллекторе суспензии США установлена разрывная мембрана поз.PSE-001 для предотвращения опасного повышения давления в коллекторе. В случае разрыва мембраны сброс суспензии осуществляется во входной короб гранулятора-осушителя. Паровой конденсат дренируемый из паровых линий поз. 02-Z-009 направляется через лоток в сборник поз. 02-Т-4.

Для отвода тепла, образующегося при кристаллизации гранул и испарении остатков влаги в суспензии сульфат-нитрата аммония в барабанный гранулятор осушитель поз.02-D-001 подаётся воздух, представляющий собой смесь предварительно подогретого атмосферного воздуха, поступающего с нагнетания вентилятора поз.02-B-001 с давлением 5 – 15 мм. вод. ст. и температурой 120 - 160 °С и повторно используемого запылённого воздуха из

барабана-холодильника поз. 02-D-002, поступающего с нагнетания вентилятора поз. 02-B-003, температурой 65 - 100°C по TIRAh1-043 (мин 60 °С, макс 110 °С). Предельные значения температуры воздуха сигнализируются» [19].

На этапе грохочение, охлаждение и нанесение покрытия происходит просеивание гранул на сетчатом фильтре в грохотах поз.02-S-001А/В, поз.02-S-002, их охлаждение в барабанном холодильнике поз.02-D-002, опудривание тальком и нанесение антислеживающей добавки в барабане нанесения покрытия поз. 02-D-003.

«Гранулированный сульфат-нитрат с ленточного конвейера (поз.02-L-003), сульфат-нитрат аммония подается на грохоты поз. 02-S-001А/В, где отсеивается мелкая и крупная фракция. Крупная фракция – более 4,25 мм направляется на измельчение в дробилку поз.02-Z-001, мелкая фракция – менее 2,9 мм возвращается в процесс на рециркуляцию в барабанный гранулятор-осушитель поз.02-D-001.

Для регулирования подачи поступающего на переработку в барабан общего количества продукта установлен второй грохот (поз.02-S-002) для товарного продукта, позволяющий отправить на переработку часть крупной фракции, полученной на конечном этапе.

Существует возможность выводить избыток мелкой фракций на узел затаривания «биг-бегов» поз.02-X-1 (к.940А), откуда заполненные «биг-беги» автопогрузчиком вывозят на временное хранение в корп. 921 для дальнейшего использования в контуре рециркуляции, по узлу приема и подачи сульфат-нитрата аммония на первоначальное заполнение» [19].

Сформировавшиеся гранулы сульфат-нитрат аммония, фракцией более 2,9 мм и менее 4,25 мм, ленточным конвейером поз.02-L-004 направляются в барабанный холодильник поз.02-D-002, куда подается кондиционированный воздух для окончательной осушки и охлаждения гранул, куда подается охлажденный осушенный воздух от установки кондиционирования воздуха поз.02-E-002.

«В зимний период для поддержания температуры воздуха, часть выходящего из барабана поз.02-D-002 потока направляется снова на вход в барабан-охладитель.

Охлажденные гранулы из барабана охладителя поз.02-D-002 подаются элеватором поз.02-L-006 в барабан нанесения покрытия поз.02-D-003 для последующей обработки антислеживающим реагентом Флотигам V4900.

Антислеживающий реагент Флотигам V4900 находится в резервуаре покрывающего реагента поз.02-T-001 сульфат-нитрат аммония оснащенного змеевиком для осуществления обогрева и поддержания его в жидком состоянии. Теплоноситель змеевика паровой конденсат. Антислеживающий реагент насосами поз.02-P-001А/В подается в барабан для нанесения покрытия поз.02-D-003, где распыляется через форсунки на гранулы, уже опудренные на входе тальком.

Тальк подается в барабан шнековым дозирующим транспортером поз.02-L-011 из бункера хранения талька поз.02-H-002.

Полученный гранулированный сульфат-нитрат аммония транспортируется с помощью ленточного конвейера поз.02-L-007 по системе ленточных конвейеров (к.940В) и башен пересыпки Б-1,2 либо на узел фасовки в биг-беги (корп.915Б), либо на складирование насыпью (на восточную часть чаши-склада корп.915)

В барабанный холодильник поз.02-D-002 охлажденный осушенный воздух поступает от установки кондиционирования воздуха. Установка кондиционирования воздуха выполнена в виде компактного блока, включающего воздушный фильтр холодильника поз.02-F-003 (для предотвращения попадания пыли из атмосферы), воздушный холодильник поз.02-E-002А, каплеуловитель (поз.02-F-004) (для удаления атмосферной влаги, конденсирующейся при охлаждении) и воздушный подогреватель поз.02-E-002В (для подогрева воздуха до температуры несколько выше точки росы, чтобы избежать попадания воды в продукт)» [19].

Образующийся газообразный аммиак из воздушного холодильника поз.02-Е-002А выдается в сборник газообразного аммиака поз.Р-100, и под давлением выдается в сосуд технологического аммиака поз.01-В-001, предусмотрена выдача аммиака в заводскую сеть через клапан РС-254.

«Часть запыленного воздуха отсасывается из барабанного холодильника поз.02-Д-002 вытяжным вентилятором поз.02-В-003 в барабанный гранулятор-осушитель поз.02-Д-001, а другая часть поступает на мокрую очистку в скруббер поз.02-В-002.

### **2.1.2 Очистка запыленного технологического воздуха**

В процессе производства сульфат-нитрата аммония потоки технологического воздуха загрязняются газообразным аммиаком, пылью сульфат-нитрата аммония и сульфатом аммония. При работе конвейерного оборудования и оборудования, в которых обращаются сыпучие сухие продукты также образуются потоки загрязненного аспирационного воздуха.

Очистка загрязненного пылью воздуха перед сбросом в атмосферу на данной установке осуществляется в две стадии: на первой запыленный воздух последовательно очищается в циклонах гранулятора-осушителя поз.02-Ф-002А/В/С и в циклонах скруббера поз.02-Ф-005А/В/С, а на второй подвергается мокрой очистке в скруббере поз.02-В-002.

В циклоны гранулятора-осушителя поз.02-Ф-002А/В/С поступает поток запыленного воздуха из барабанного гранулятора-осушителя поз.02-Д-001.

Загрязненный воздух от других источников, и газовая фаза с системы воздушшек стадии синтеза непосредственно подаются по общему коллектору через трубу Вентури в скруббер мокрой очистки (поз.02-В-002)» [19].

### **2.1.3 Получение горячего воздуха для подачи в барабанный гранулятор - осушитель**

«Атмосферный воздух после очистки в фильтре 02-Ф-001 направляется в подогреватель поз. 02-Е-001 и воздуходувкой поз.02-В-001 подаётся в барабанный гранулятор - осушитель поз.02-Д-001; температура воздуха

подаваемого в барабан регулируется расходом пара на подогреватель через клапан поз.ТВ-032.

Барабан гранулятор-осушитель функционирует при небольшом разрежении, создаваемом вытяжным вентилятором поз.02-В-005, находящимся после батареи циклонов поз.02-Ф-002А/В/С. Пыль, собранная циклонами поз.02-Ф-002А/В/С, направляется на переработку во второй резервуар перемешивания поз.01-Т-004 конвейером поз. 02-Л-012. Затем запылённый воздух из циклонов направляется в трубу Вентури и далее в скруббер поз.02-В-002 для окончательной мокрой очистки.

#### **2.1.4 Система пылеудаления**

Для исключения образования пыли на транспортирующем оборудовании (элеваторе поз.02-Л-002, сетчатым грохотах поз.02-С-001А/В, дробилках нестандартных крупных частиц поз.02-З-002, конвейере поз.02-Л-004 и других механизмах) от сухих продуктов, установлено оборудование для удаления запыленного воздуха. Запыленный воздух собирается в специальный коллектор и направляется в циклоны поз.02-Ф-005А/В/С перед прохождением окончательной мокрой очистки в скруббере поз.02-В-002.

Окончательная очистка воздуха в мокром скруббере.

Окончательная очистка загрязненного воздуха происходит в скруббере поз.02-В-002. В скруббер мокрой очистки также поступают пары из резервуара нейтрализатора поз.01-Т-002, резервуаров перемешивания поз.01-Т-003 и поз.01-Т-004, инертные вещества из эжектора поз.01-З-004, испарителя поз.01-Е-003В, конечного конденсатора поз.01-Е-011 и холодильника паров поз.01-Е-005, дренажного сборника поз.01-Т-2» [19].

Скруббер поз.02-В-002 состоит из обратной трубы Вентури, за которой установлен циклонный сепаратор для улавливания всей пыли и нейтрализации аммиака. Воздух вступает в контакт с распыленным циркулирующим раствором нитрата аммония, подаваемым насосами скруббера поз.02-Р-002А/В. Поскольку раствор нитрата аммония имеет слабую кислую реакцию, имеющийся свободный аммиак взаимодействует с азотной кислотой,

присутствующей в растворе, в результате чего образуется нитрат аммония, который остается в распыленной жидкости. Для улавливания последних остатков аммиака и частиц пыли используется промывной раствор.

«Промывной раствор, отделенный от потока воздуха из нижней сепарационной части скруббера самотеком стекает в резервуар скруббера поз. 02-T-003. В резервуар также поступают конденсат от вакуумной установки поз. 01-Z-005 и 30 %-ный раствор аммиачной селитры от насосов поз. 01-P-010A/B, также предусмотрена подача стоков насосом поз. 01-P-013A с наружной установки резервуара стоков поз.01-T-007.

Насосы скруббера поз.02-P-002A/B перекачивают переработанный промывной раствор в два резервуара перемешивания поз.01-T-003 и поз.01-T-004, по линии ВПП через регулятор расхода FIRCA-021.

Уровень в скруббере поддерживается узлом регулирования LRCA-021 подачей технологического или парового конденсата в зависимости от технологической необходимости» [19].

Технологическая схема имеет несколько потенциальных направлений для оптимизации:

- возможна оптимизация состава и качественных показателей сырьевых потоков на стадии синтеза, с целью получения гранул, обладающих более высокими качественными показателями;
- оптимизация рециркуляционных потоков стадии сортировки и гранулирования, с целью снижения энергетических затрат на процесс и сокращения материальных потерь;
- совершенствование вспомогательных стадий в частности работы аспирационных систем, подготовки воздуха и конвейерных линий для сокращения энергетических затрат и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

С точки зрения соотношения капитальных затрат на проведение оптимизации и ее эффекта наиболее привлекательным является второе направление.

## 2.2 Обоснование технического решения по оптимизации

Переработка возвратных потоков при сортировке минеральных удобрений является важным элементом оптимизации производственного процесса. Этот аспект технологии оказывает значительное влияние как на техническую, так и на экономическую эффективность работы предприятий. Возвратные потоки, включающие мелкие и крупные фракции, образующиеся на стадии грохочения, требуют повторной переработки, чтобы минимизировать потери сырья и поддерживать стабильность качества конечного продукта.

С технической точки зрения переработка возвратных потоков направлена на снижение нагрузки на основные узлы технологической линии. Включение этапов рециркуляции позволяет вернуть некондиционные гранулы на стадии гранулирования, где они используются в качестве основы для формирования новых гранул. Это уменьшает потребность в дополнительном сырье и способствует равномерному распределению нагрузки на оборудование. Применение эффективных методов дробления крупной фракции и ее последующего включения в производственный цикл обеспечивает устойчивость процесса и улучшает работу сортировочного оборудования, снижая вероятность перегрузок.

Технологическая схема узла сортировки стадии гранулирования производства сульфат-нитрата аммония представлена на рисунке 4.

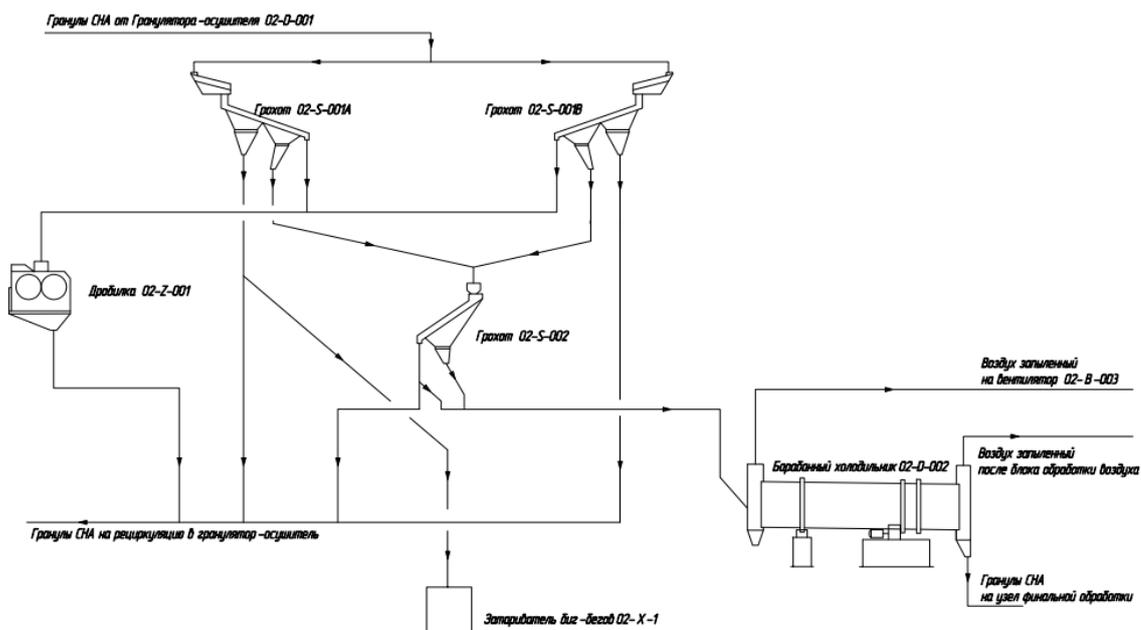


Рисунок 4 - Технологическая схема узла сортировки

Гранулы сульфат нитрата аммония после стадии гранулирования и осушки конвейером подаются в узел сортировки, где происходит просеивание гранул на грохотах.

Поток гранул сульфат-нитрата аммония направляется его через питатели в двухситные первые грохоты поз. 02-S-001А,В, работающие параллельно. На грохотах поз. 02-S-001А/В происходит отделение крупной фракции от мелкой.

Фракция сульфат-нитрата аммония с размером более 4,25 мм отводится на конвейер и далее направляется в дробилку поз. 02-Z-001, откуда измельчённый продукт транспортируется на конвейер рециркуляции, по которому мелкая фракция направляется в барабанный гранулятор поз. 02-D-001.

Мелкая фракция сульфат-нитрата аммония размером менее 2,9 мм из грохотов поз. 02-S-001А/В через отводящие устройства направляется также на конвейер рециркуляции.

Для регулирования расхода мелкой фракции сульфат-нитрата аммония, поступающей на рециркуляцию часть её из грохотов поз. 02-S-001/В направляется во второй грохот поз. 02-S-002.

Мелкие некондиционные гранулы от грохота поз. 02-S-002 из бункера подаются на конвейер рециркуляции.

«Расход мелкой фракции, направляемой на рециркуляцию в гранулятор-осушитель поз. 02-D-001, поддерживается на постоянном уровне В случае если невозможно уменьшить расход рециркуляции гранул в барабанный гранулятор поз. 02-D-001 предусмотрен вывод части мелкой фракции из процесса, что позволяет быстро увеличить средний размер гранул рециркуляции и восстановить нормальный режим гранулирования. Для этого предусмотрен затариватель мелкой фракции сульфат-нитрата аммония поз. 02-X-1. С помощью затаривателя поз. 02-X-1 мелкая фракция, поступающая из грохота, затаривается в биг-беги. Затаренные биг-беги с мелкой фракцией автопогрузчиком транспортируются на склад готовой продукции корп. 915.

Продукционные гранулы сульфат нитрата аммония с температурой 90 °С подаются в барабанный холодильник поз. 02-D-002.

Барабанный холодильник поз. 02-D-002 представляет собой вращающийся барабан, сульфат-нитрат аммония оснащенный внутренними подъемными устройствами (лопатками), которые крепятся болтами к обечайке барабана. Вследствие контакта горячих гранул с охлаждающим воздухом температура продукта в холодильнике поз. 02-D-002 снижается с 90 до не более 33 °С.

Охлажденные гранулы продукта сульфат-нитрата аммония из холодильника поз.02-D-002 с расходом до 57,5 т/ч подаются в ковшовый элеватор, которым продукт и подается в барабан для нанесения покрытия поз. 02-D-003» [19].

Сортировка и переработка возвратных потоков требуют тщательной настройки параметров технологических процессов. Например, правильный подбор характеристик грохотов, таких как частота вибраций или размер

отверстий сит, позволяет минимизировать образование избыточных объемов мелкой или крупной фракции. Автоматизация и внедрение систем контроля параметров возвратных потоков играют ключевую роль в обеспечении стабильности переработки. Современные технологии позволяют отслеживать и регулировать характеристики материала в реальном времени, что предотвращает накопление отходов и повышает эффективность рециркуляции.

Экономические аспекты переработки возвратных потоков связаны с уменьшением себестоимости продукции и повышением рентабельности производства. Возврат некондиционных гранул на повторную переработку снижает затраты на закупку нового сырья, что особенно важно в условиях повышения цен на сырьевые материалы. Кроме того, использование возвратных потоков помогает минимизировать объемы отходов, что уменьшает расходы на их утилизацию и снижает экологическую нагрузку.

Переработанная фракция гранул, выходящая из дробилки поз. 02-Z-001, содержит значительное количество до 90% гранул размером 2,5-4,2 мм, отвечающих требованиям технических условий на товарный продукт, соответственно их можно извлечь и нарастить производительность установки. Стадия синтеза при этом будет нагружена дополнительным количеством исходного сырья. Технологическая схема описанного способа оптимизации приведена на рисунке 5.

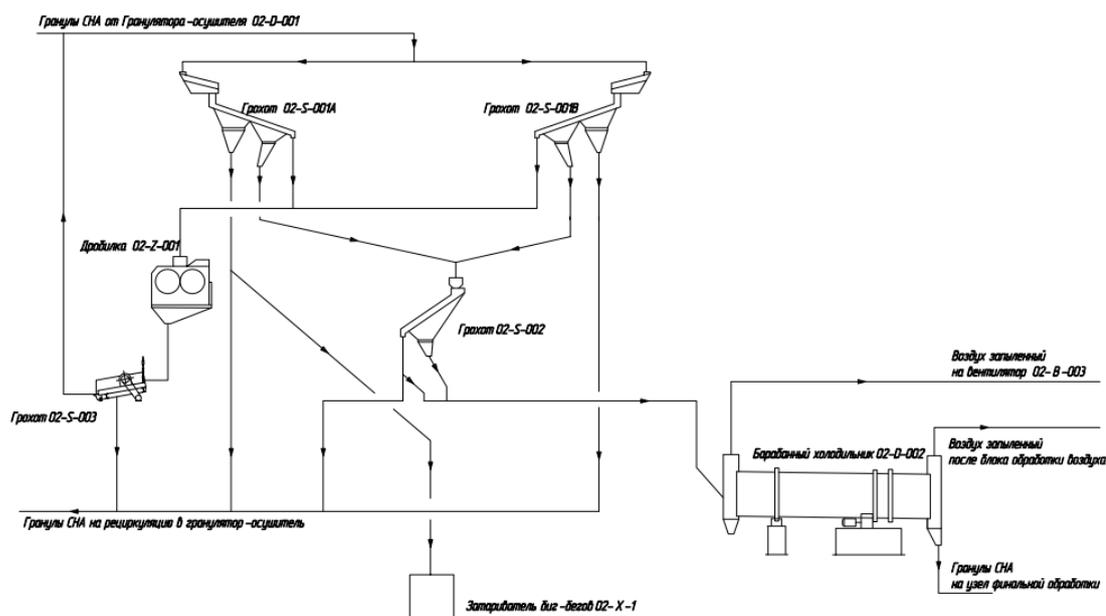


Рисунок 5 – Оптимизированная схема узла сортировки

В схему добавлен грохот 02-S-003, который разделяет дробленую фракцию на две части. Мелкая (менее 2,5 мм) отправляется на регенерацию, а крупная фракция более 2,5 мм отправляется на вход грохотов 02-S-001А,В и проходит цикл сортировки. Таким образом крупная фракция содержащая продукт товарного качества возвращается в технологический процесс по более короткому пути(без рецикла в гранулятор).

Вывод по разделу: Реализация эффективных схем переработки возвратных потоков способствует увеличению производительности установок и повышению качества конечной продукции. Это, в свою очередь, повышает конкурентоспособность продукции на рынке и увеличивает спрос со стороны потребителей. Установка дополнительного грохота не приведет к значительным материальным и энергетическим затратам, но позволит увеличить производительность установки. Оптимизированная схема узла сортировки позволит добиться прироста производительности и снижения энергозатрат установки по производству сульфат-нитрата аммония.

### 3 Технологические расчеты

#### 3.1 Расчет материального баланса

Согласно данным технологического регламента расход гранул сульфат-нитрата аммония поступающих на узел сортировки составляет 69575 кг/ч. Товарных гранул выходит из барабанного охладителя 57500 кг/ч. Соответственно некондиционных гранул на рециркуляцию в отделение синтеза попадает 12075 кг/ч. По опытным данным, усредненное распределение между потокам некондиционных гранул, идущих на рециркуляцию выглядит следующим образом:

- гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-001A/B  
 $x_1=66,67\%$

- гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-002  $x_2=5\%$

- гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-Z-001  
 $x_3=28,33\%$

Найдем массовые расходы потоков по формуле:

$$G_i = G \cdot x_i \quad (1)$$

Подставим значения в формулу:

$$G_1 = 12075 \cdot 0,6667 = 8050 \text{ кг/ч}$$

$$G_2 = 12075 \cdot 0,05 = 603,75 \text{ кг/ч}$$

$$G_3 = 12075 \cdot 0,2833 = 3421,25 \text{ кг/ч}$$

Составим материальный баланс процесса сортировки и внесем данные в таблицу 2.

Таблица 2 – Материальный баланс процесса сортировки

| Наименование потока                                      | Расход, кг/ч | Наименование потока                                            | Расход, кг/ч |
|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Гранулы сульфат-нитрата аммония от гранулятора-осушителя | 69575        | Товарные гранулы сульфат-нитрата аммония                       | 57500        |
|                                                          |              | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-001A/B | 8050         |
|                                                          |              | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-002    | 603,75       |
|                                                          |              | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-Z-001    | 3421,25      |
| Итого                                                    | 69575        | Итого                                                          | 69575        |

Из материального баланса существующего процесса видно, что после переработки в дробилке 02-Z-001 образуется 3421,25 кг/ч гранул из которых может быть выделена фракция товарного качества. По данным лабораторных исследований усредненное содержание фракции 2,5-4,2мм составляет 75-80%. То есть вернуть в процесс можно:

$$G_4 = 3421,5 \cdot 0,8 = 2737 \text{ кг/ч}$$

Если их вернуть на конвейер ведущий к грохотам 02-S-001A/B то перерабатываться будет 72312кг/ч. Грохоты 02-S-001A/B имеют большой запас по производительности определенный при пуско-наладочных испытаниях. Добавление данного количества гранул не скажется на их эффективности.

Пересчитаем материальные потоки для оптимизированного процесса исходя и эффективности разделения характерного для грохотов 02-S-001A/B .

$$G_{\text{ТОВ}} = 3421,5 \cdot 0,8264 = 59762 \text{ кг/ч}$$

$$G_1' = 12075 \cdot 0,1157 = 8367 \text{ кг/ч}$$

$$G_2' = 12075 \cdot 0,0086 = 628 \text{ кг/ч}$$

$$G_3' = 12075 \cdot 0,0492 = 3556 \text{ кг/ч}$$

Сведем данные в таблицу 3.

Таблица 3 – Материальный баланс оптимизированного процесса

| Наименование потока                                      | Расход, кг/ч | Наименование потока                                            | Расход, кг/ч |
|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Гранулы сульфат-нитрата аммония от гранулятора-осушителя | 69575        | Товарные гранулы сульфат-нитрата аммония                       | 59762        |
|                                                          |              | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-001А/В | 8367         |
| Гранулы от грохота 02-S-003                              | 2737         | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-S-002    | 628          |
|                                                          |              | Гранулы сульфат-нитрата аммония на рециркуляцию от 02-Z-001    | 3556         |
| Итого                                                    | 72312        | Итого                                                          | 72312        |

Таким образом производительности установки за счет частичного возврата гранул вырастет на 2262 кг/ч что составляет 4%. По данным материального баланса рассчитаем конструктивные параметры грохота.

### 3.2 Расчет грохота

Выберем для реализации процесса для реализации процесса выделения товарной фракции, с учетом запаса, вибрационный грохот ВГ-5 с номинальной производительностью 5 т/ч. В качестве сита будем использовать металлическую проволочную сетку с отверстиями 3x3 мм. Живое сечение сетки составляет 50%. Процесс будет вестись с обеспечением эффективности процесса разделения 99%. Для расчета используем данные материального баланса[2].

Для грохотов с квадратной ячейкой при обеспечении скорости просеивания 1,15 см/с используется формула, связывающая основные технологические параметры[2]:

$$Q = 9,7 \cdot \frac{\varphi \cdot S \cdot c}{\beta_p \cdot \varepsilon} \left( 100 - \frac{d_p}{d_0} \cdot \varepsilon \right) \quad (2)$$

где  $\varphi$  – живое сечение сита, %

$S$  – площадь сита, м<sup>2</sup>

$c$  – насыпная плотность, г/см<sup>3</sup>

$\beta_p$  – массовая доля целевой фракции в питании

$\varepsilon$  – эффективность извлечения, %

$d_p$  – характерный диаметр частицы по которому проходит разделение,  
мм

$d_0$  – характерный размер отверстия сита, мм

Выделяться на грохоте будет фракция свыше 2,5 мм, остальное попадет в подрешеточный продукт. Насыпная плотность сульфат-нитрата аммония составляет 1,1 г/см<sup>3</sup>.

Из формулы (2) по известной производительности можно определить площадь сита:

$$S = \frac{Q \cdot \beta_p \cdot \varepsilon}{6,14 \cdot \varphi \cdot c \cdot \left(100 - \frac{d_p}{d_0} \cdot \varepsilon\right)} \quad (3)$$

Подставим значения в формулу (3):

$$S = \frac{5 \cdot 76,97 \cdot 99}{9,7 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot \left(100 - \frac{2,5}{3} \cdot 99\right)} = 4,08 \text{ м}^2$$

Сито имеет прямоугольную форму соотношение ширины к длине рекомендуется выбирать из диапазона 3-4. Выберем 3,5. Тогда ширину сита грохота определим по формуле:

$$B = \frac{S}{3,5} \quad (4)$$

Подставим значения в формулу (4):

$$B = \frac{4,08}{3,5} = 1,166 \approx 1,2 \text{ м}$$

Длину найдем по формуле:

$$L = \frac{S}{B} \quad (5)$$

Подставим значения в формулу (5):

$$L = \frac{4,08}{1,2} = 3,401 \approx 3,5 \text{ м}$$

«Режим работы грохота и нагруженность его конструкции оцениваются динамическим коэффициентом, определяемым по формуле» [1]:

$$K_d = \frac{4}{\sqrt[3]{a_p}} + \frac{k_2^2 + k_1}{k_2 \cdot k_1} \quad (6)$$

где  $k_1$  – коэффициент, зависящий от формы гранул, для данного случая равен 3[1],

$k_2$  – коэффициент, зависящий от характера движения грохота, для вибрационного грохота равен 1,9[1].

Подставим значения в формулу (6):

$$K_d = \frac{4}{\sqrt[3]{2,5}} + \frac{1,9^2 + 3}{1,9 \cdot 3} = 4,1$$

Что является допустимым для вибрационного типа грохотов не превышает 8, и находится в диапазоне 3,5-4,1.

Для вибрационного грохота значение угловой частоты колебаний находится в диапазоне от 73 до 80 рад/с. Примем 75 рад/с.

Найдем амплитуду колебаний грохота по формуле:

$$x_a = K_d g \cos \alpha / (w^2 \sin \beta) \quad (7)$$

Подставим значения в формулу (7):

$$x_a = \frac{4,1 \cdot 9,8 \cdot \cos 10^\circ}{(75^2 \sin 90^\circ)} = 0,01 \text{ м}$$

Статистический момент массы дебалансов находится по формуле:

$$S_d = m_d \cdot R \quad (8)$$

где  $m_d$  – масса дебаланса, для данного типа грохота 50кг

$R$ - радиус дебаланса, для данного типа грохота 0,15м

Подставим значения в формулу (7):

$$S_d = 50 \cdot 0,15 = 7,5 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Мощность необходимую для поддержания колебаний в системе можно найти по формуле:

$$N_{\text{ср}} = S_d \cdot \omega^3 \cdot x_a \cdot \sin 2\varphi / 4 \quad (9)$$

Подставим значения в формулу (9):

$$N_{\text{ср}} = 7,5 \cdot 75^3 \cdot 0,1 \cdot \sin 2 \cdot 150 / 4 = 3998 \text{ Вт}$$

Мощность, необходимая для преодоления трения в подшипниках вала определяется по формуле:

$$N_{\text{п}} = S_d \cdot \omega^3 \cdot \mu \cdot d_{\text{в}} \quad (10)$$

где  $\mu$  – приведенный коэффициент трения подшипника качения, равен 0,006

$d_{\text{в}}$  – диаметр вала, равен 0,1м

Подставим значения в формулу (10):

$$N_{\text{п}} = 7,5 \cdot 75^3 \cdot 0,006 \cdot 0,1 = 949 \text{ Вт}$$

Требуемая мощность двигателя, приводящего в движение грохот определяется по формуле:

$$N_d = (N_{cp} + N_{п})/\eta \quad (11)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия привода, составляет 0,95

Подставим значения в формулу (11):

$$N_d = \frac{(3998 + 949)}{0,9} = 5496 \text{Вт}$$

Выберем двигатель АИРСМ 132 М8 ВЭМЗ с мощностью 5,5 кВт  
Конструкция выбранного грохота представлена на рисунке 6.

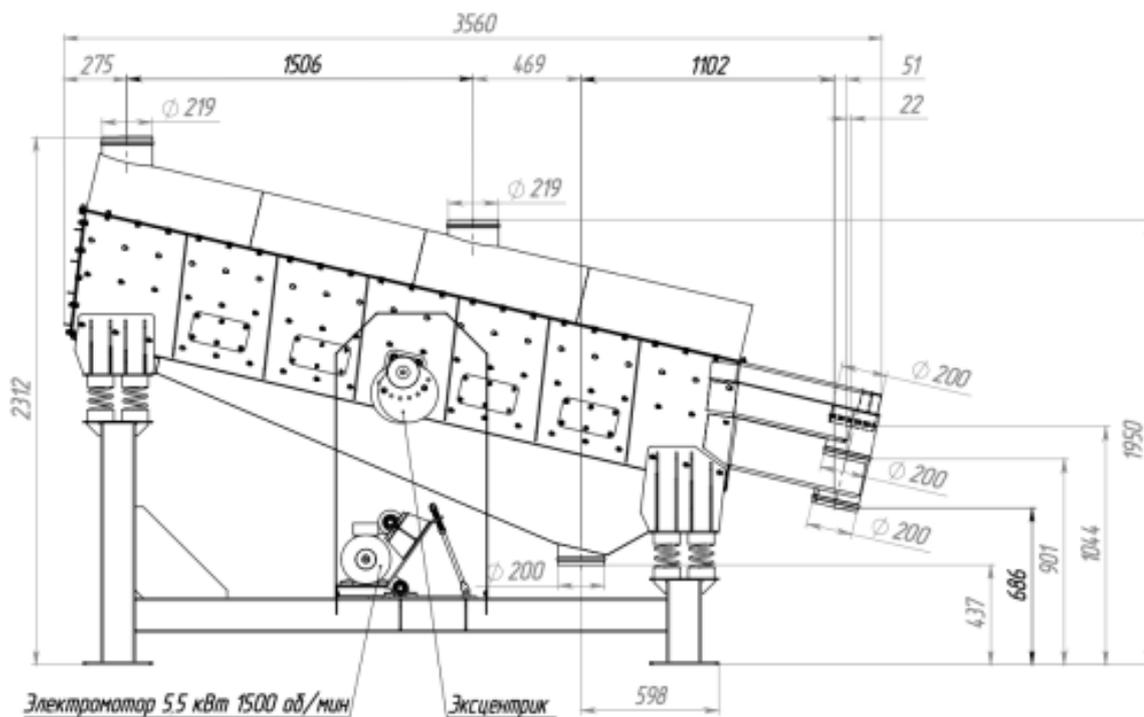


Рисунок 6 – Эскиз грохота

Грохот приводится в движения приводом, установленным на раме. Клиноременная передача передает вращения на эксцентрик закрепленный на корпусе, который через пружинные опоры связан с рамой. Более мелкие частицы проходят через отверстия в сетке, образуя нижний продукт, в то время как более крупные остаются на поверхности и перемещаются к выходу. Направление движения материала регулируется углом наклона ситовой поверхности и амплитудой вибраций, что позволяет достичь оптимального разделения. Динамические характеристики вибрации (частота, амплитуда и направление) обеспечивают требуемую скорость просеивания.

Вывод по разделу: В результате расчетов показано что существует возможность повысить производительность установки за счет возврата гранул товарного качества в технологический процесс на 2262 кг/ч. Для этого потребуется включить в технологическую схему вибрационный грохот типа ВГ-5 с шириной сита 1,2 м, длиной 3,5м, мощность привода 5,5 кВт

## Заключение

В ходе исследования были рассмотрены и исследованы основные аспекты, связанные с производством и обработкой сульфат-нитрата аммония, а также предложены пути оптимизации узла сортировки гранул. Проведенный анализ показал, что сульфат-нитрат аммония является высокоэффективным и востребованным продуктом агрохимии благодаря своему составу и физико-химическим характеристикам, определяющим его устойчивость и эффективность в применении. Технологические процессы, включающие стадии синтеза, гранулирования и сортировки, имеют значительный потенциал для совершенствования, что открывает возможности для повышения производительности и снижения затрат.

Особое внимание было уделено процессам сортировки и классификации гранул, которые играют важную роль в обеспечении стабильного качества продукции. Выявлено, что эффективная переработка возвратных потоков не только снижает потери сырья, но и повышает конкурентоспособность конечного продукта, что особенно важно для удовлетворения требований современного рынка. Оптимизация схемы сортировки, направленная на возврат гранул товарного качества в производственный процесс, позволяет существенно улучшить экономические показатели работы установки.

Результаты расчетов подтверждают возможность увеличения производительности установки за счет модернизации технологической схемы. Введение вибрационного грохота типа ВГ-5 обеспечит дополнительный возврат гранул товарного качества в процесс на уровне 2262 кг/ч, что составляет 4% от общей производительности. Это решение позволит добиться прироста производительности без значительного увеличения энергозатрат и с минимальными капиталовложениями.

Предложенные в работе решения способствуют повышению эффективности процесса производства сульфат-нитрата аммония и улучшению качества конечной продукции.

## Список используемых источников

1. Борщов В.Я., Гусев Ю.И., Промтов М.А., Тимонин А.С. Оборудование для переработки сыпучих материалов – М. : «Издательство Машиностроение-1», 2006.-208 с.
2. Вайсберг Л.А., Рубисов Д.Г. Вибрационное грохочение сыпучих материалов: моделирование процесса и технологический расчет грохотов. Санкт-Петербург, 1994, 47 с.
3. Завалин А.А., Шафран С.А., Чернова Л.С., Благовещенская Г.Г., Духанина Т.М., Байрамов Л.Э., Дубровских Л.Н. Оценка эффективности применения новой формы азотного удобрения // Агрехимия. – 2009, №12, с. 11-17.
4. Завалин А.А., Шафран С.А., Чернова Л.С., Дубровских Л.Н. Новая форма азотного удобрения под яровую пшеницу // Плодородие. – 2009, №1, с. 19-20.
5. Казаков А.И., Иванова О.Г., Курочкина Л.С., Плишкин Н.А. Кинетика и механизм термического разложения смесей нитрата и сульфата аммония // Журнал прикладной химии. – 2011. т. 84. № 9, с. 1465-1472.
6. Левин Б. В. Актуальные тенденции и перспективы развития производства комплексных удобрений в мире и особенности их производства в России / Б.В. Левин // Мир серы, N, P и K. – 2007. – № 3. – С. 14. 20. Ильин А.П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учеб. пособие / А.П. Ильин. – Иваново: ИГХТУ, 2011. – 133 с. – ISBN 5-9616-0160-9.
7. Левин Б.В., Соколов А.Н. Проблемы и технические решения в производстве комплексных удобрений на основе аммиачной селитры. //Мир серы, N, P и K. – 2004, №2, с.13-21.
8. Патент №RU2279416 С2 Российская Федерация, МПК С05С1/00, Сульфат нитрат аммония и способ его получения (варианты) : №2003117467/15 : заявл. 14.11.2001, опубликовано : 10.01.2006 / Хайсмит Р.И.,

Коррил С.Т, Куидер Д.А., Хонейвелл интернешнл, — 10 с. : ил. — Текст : непосредственный

9. Патент №BY12423 C1 Республика Беларусь, МПК C05C13/00, Сульфат нитрат аммония : №а 20030595 : заявл. 14.11.2001, опубликовано : 30.10.2009 / Хайсмит Р.И., Коррил С.Т, Куидер Д.А., Хонейвелл интернешнл, — 10 с. : ил. — Текст : непосредственный

10. Патент №RU2628493 C2 Российская Федерация, МПК C05C1/00, Способ получения сульфат-нитрата аммония : №2014132446 : заявл. 21.01.2021, опубликовано : 17.08.2017 / Барт С, Квидир Д., Азимова М.А., Виссингер Р.Г., Пейс К.Б. , Хонейвелл интернешнл, — 10 с. : ил. — Текст : непосредственный

11. Патент №RU2227792 C1 Российская Федерация, МПК C05C1/00, Сульфат нитрат аммония и способ его получения (варианты) : №2003104190/15 : заявл. 14.03.2014, опубликовано : 27.04.2004 / Абрамов О.Б., Афанасенко Б.П., Вандышев С.А., Дедов А.С., Дремов А.В. ОАО «Кирово-чепецкий химический комбинат имени Б.П. Константинова», — 7 с. : ил. — Текст : непосредственный

12. Петропавловский И.А., Дмитриевский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Технология минеральных удобрений: учебное пособие /. – СанктПетербург: Проспект Науки, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-905109-63-7.

13. Позин М.Е. Технология минеральных солей. Часть II. – Л.: “Химия”, 1970, 1198 с.

14. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии: Учеб. Пособие для вузов. - Л.: Химия, 1985. – 384 с.

15. Рубцов Ю.И. Возможности снижения скорости термического разложения аммиачной селитры / Ю.И. Рубцов, И.И. Стрижевский, А.И. Казаков, Л.П. Андриенко, Е.Б. Мошкович. // ЖПХ. – 1989. – № 10. Т. 62. – С. 2169.

16. Таран А.Л., Шмелев 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.

17. Таран А.Л., Конохова Н.В. Исследование процесса и разработка технологии производства NS – содержащего минерального удобрения в грануляционных башнях // Успехи в химии и химической технологии. – 2009, т. 23, № 7, с. 72-75.

18. Таран А.Л., Конохова Н.В., Таран Ю.А., Яковлев Д.С. Проверка адекватности математического описания процесса гранулирования аммиачной селитры с сульфатом аммония в качестве наполнителя в башнях по ходу реального процесса // Химическая промышленность сегодня. – 2011, № 6, с. 21-27.

19. Технологический регламент отделения производства сульфат-нитрат аммония цеха №37 производства капролактама ПАО «Куйбышевазот»

20. Чернышев А.К., Левин Б.В., Туголуков А.В., Огарков А.А., Ильин В.А. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение - М.: ЗАО «ИНФОХИМ», 2009. – 544 с.

21. Biskupski A., Kolaczowski A., Masal C., Schroeder J., Simonides J., Sorich B. The influence of additives on the decomposition of ammonium nitrate. I. Effect of chlorine, sulfate, nitrite ions // Pr. Nauk. Inst. technol. nieorg. i nawoz. miner. PWrocl. – 1981, №22, 15-30.

22. Tang Shuang-Ling, Lü Chun-Xu, Zhou Xin-Li, Wang Yi-Lin, Liu Zu-Liang. Study of modified ammonium nitrate II. Analysis of inorganic fertilizers // Chin. J. Appl. Chem. – 2004, 21, № 4, 400-404.

23. Bałdyga J., Orciuch W., Makowski L., Malik K. Dispersion of Nanoparticle Clusters in a Rotor-Stator Mixer Ind. Eng. Chem. Res. 2008, 47, 3652-3663

24. Rory M. Hadden. Small-scale experiments of self-sustaining decomposition of NPK fertilizer and application to events aboard the Ostedijk in

2007 / Rory M. Hadden, Guillermo Rein // Journal of Hazardous Materials. – Vol. 186, Issue 1. – 2011. – P. 731

25. Walker G.M. Caking process in granular NPK fertilizer / G.M. Walker, T.R.A. Magee, C.R. Hollond, M.N. Ahmad, J.N. Fox, N.A. Moffatt, A.G. Kells. // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1998. – № 2. – P. 435.