

УДК 631.83.85:66.099.2(045)(476)

Кондратчик Н.Ю.¹, Высоцкая Н.А.², Францкевич В.С.³¹УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Беларусь²ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», г. Солигорск, Беларусь³УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь**МЕТОДЫ ГРАНУЛИРОВАНИЯ НРК-УДОБРЕНИЙ. СПОСОБЫ ГРАНУЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ И ОКАТЫВАНИЯ**

Аннотация. В работе представлены технологические стадии гранулирования НРК-удобрений: подготовка исходного сырья, гранулирование, формирование структуры, сортировка. Описаны основные стадии технологического процесса производства НРК-удобрений на площадях промплощадки ОАО «Беларуськалий». Рассмотрены разнообразные схемы гранулирования с применением аппаратов различных по конструкции и по принципу действия, показаны их достоинства и недостатки. Представлены общие принципы подхода к выбору наиболее целесообразных методов гранулирования в зависимости от агрегатного состояния и физических свойств исходных веществ и от конкретного производства для получения качественного продукта по гранулометрическому составу.

Ключевые слова: гранулирование, НРК-удобрения, гранулятор, технология, методы, ретур, окатывание, прессование.

Kondratchik N.Yu.¹, Vysotskaya N.A.², Frantskevich V.S.³¹Baranovichi State University, Baranovichi, Belarus²JSC "Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production", Soligorsk, Belarus³Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus**NPK FERTILIZER GRANULATION METHODS. GRANULATION METHODS BY PRESSING AND ROLL BRIQUETTING**

Abstract. The paper presents the technological stages of granulation of NPK fertilizers: preparation of feedstock, granulation, structure formation, sorting. The main stages of the technological process for the production of NPK fertilizers on the areas of the industrial site of JSC "Belaruskali" are described. A variety of granulation schemes with the use of apparatuses of various designs and principles of operation are considered. Their advantages and disadvantages are shown. The general principles of the approach to the selection of the most appropriate granulation methods are presented, depending on the state of aggregation and the physical properties of the starting materials and on the specific production to obtain a high-quality product according to particle size distribution.

Keywords: granulation, NPK fertilizers, granulator, technology, methods, recycled material, pelletizing method, pressing.

Введение. Во многих отраслях промышленности (строительных материалов, химической, металлургической, пищевой и др.), а также в сельском хозяйстве широкое применение получили гранулированные материалы [1].

Правильно выбранные методы и условия гранулирования обеспечивают получение готового продукта с требуемыми качественными показателями. В настоящее время изучены, разработаны и освоены в промышленности разнообразные схемы гранулирования с применением аппаратов различных по конструкции и по принципу действия.

Процессы гранулирования минеральных удобрений разнообразны как по методам их осуществления, так и по аппаратному оформлению.

В настоящее время, когда спрос на полезные ископаемые продолжает оставаться высоким, одной из наиболее важных и трудно решаемых проблем горного машиностроения является обеспечение надежности исполнительных узлов технологического оборудования, осуществляющего грануляцию NPK-удобрений методом окатывания. Внесение удобрений – крайне важный процесс для сельского хозяйства. Поэтому производство удобрений должно осуществляться таким образом, чтобы достичь необходимого качества и адекватной формы, удовлетворяющей потребителей.

Основная часть. NPK-удобрение – универсальное азотно-фосфорно-калийное минеральное удобрение, содержащее в легкоусвояемой форме все основные питательные элементы, которые обеспечивают сбалансированное питание растений.

Особенности и преимущества NPK-удобрения:

- обеспечивает повышенную прочность стеблей растений и устойчивость зерновых культур к полеганию;
- позволяет осуществлять индивидуальный подбор норм и способов внесения удобрения в зависимости от определенной культуры и почвы, путем выбора подходящего соотношения компонентов;
- добавление антислеживающих добавок обеспечивает длительное сохранение всех свойств удобрения: повышается сыпучесть и замедляется растворение, что значительно сокращает потерю азота при орошении.

Преимущества применения гранулированных удобрений следующие: удобрение в гранулах хорошо хранится, не слеживается, при внесении в почву хорошо рассеивается, при попадании в почву гранулы создают питательные зоны в прямой близости к корневой системе растений и посеянными семенам, удобно вносить, не разносятся ветром.

В общем случае гранулирование включает в себя следующие технологические стадии:

- подготовку исходного сырья, дозирование и смешение компонентов;
- собственно гранулообразование (агломерация, наслаивание, окатывание, кристаллизация, уплотнение и др.);
- формирование структуры (сушка, термостатирование, полимеризация и др.);
- сортировка (разделение частиц по размерам) и дробление крупных фракций с последующим выделением товарного продукта [2, 3].

Если химический состав продукта зависит от качества и соотношения исходных компонентов, то его физические и механические свойства формируются на всех стадиях технологического процесса. Особая роль в этом отводится гранулированию, в процессе которого закладываются форма, размер, плотность и структура частиц (размер частиц гранулированных удобрений в Европе, как правило, около 2-5 мм). В технологии производства минеральных удобрений одной из основных стадий формирования качества продукта является процесс гранулообразования с последующей или одновременной стабилизацией структуры (сушкой или охлаждением) и выделением товарной фракции. Неслучайно различные схемы производства удобрений называют по типу гранулятора, считая его основным аппаратом, формирующим структуру технологической линии. Совершенствование аппаратуры применительно к конкретным условиям эксплуатации оказывает решающее влияние на эффективность технологической линии [3].

Производство NPK-удобрений размещено на свободных площадях промышленной площадки ОАО «Беларуськалий». Выпуск комплексных сложно-смешанных удобрений производится методом паровой грануляции.

Основными стадиями технологического процесса являются:

- прием и складирование исходного сырья;

- подача исходных компонентов в производственный корпус;
- дозирование, измельчение и подача исходных компонентов в технологический процесс;
- приготовление шихты для гранулирования;
- гранулирование методом окатывания;
- сушка продуктов окатывания;
- очистка отходящих газов;
- классификация горячей продукции с отделением ретура;
- охлаждение надрешетного продукта;
- классификации охлажденного продукта;
- кондиционирование полуфабриката;
- складирование и отгрузка готовой продукции [4].

Технологическая схема производства комплексных сложно-смешанных минеральных NPK-удобрений предусматривает фасовку готовой продукции в мягкие контейнеры грузоподъемностью 1000 кг, мешки грузоподъемностью 25 кг, отгрузку навалом в железнодорожный и автомобильный транспорт.

Основными методами гранулирования фосфорсодержащих удобрений являются:

- разбрызгивание расплавов и охлаждение их в грануляционных башнях;
- прессование сухих порошков и тукосмесей;
- распыливание в псевдооживленном слое;
- окатывание, в том числе распыливание пульпы на поверхность частиц, сочетаемое с последующим окатыванием (этим методом гранулируют большую часть фосфорсодержащих удобрений).

Наиболее распространенным методом гранулирования в ОАО «Беларуськалий» [4] является прессование (рисунок 1). Реже используется метод окатывания.

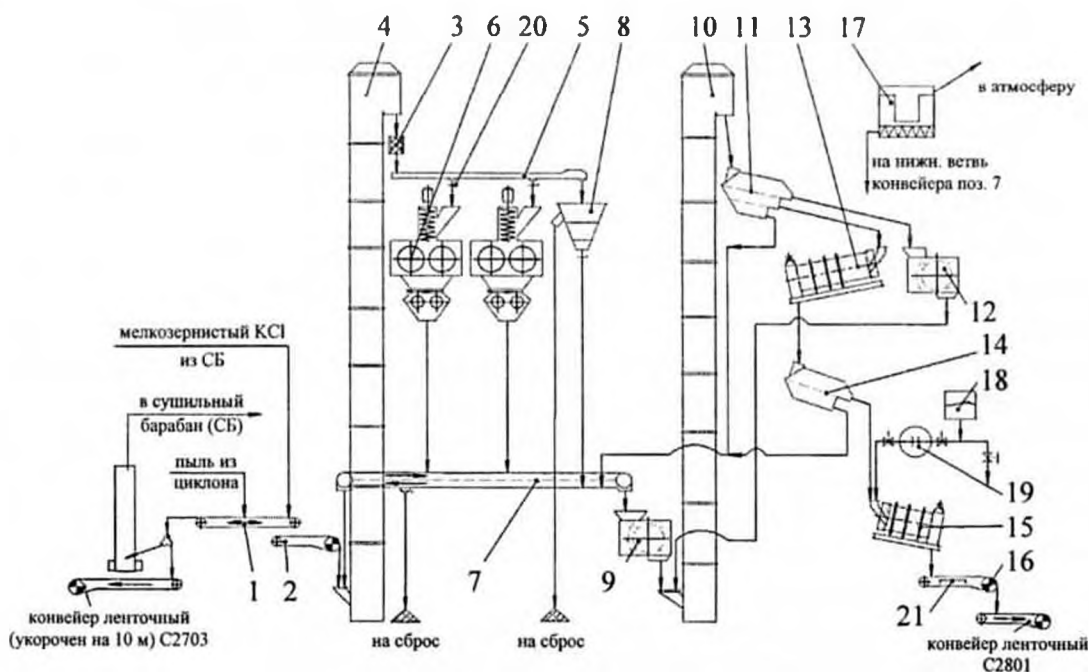


Рисунок 1. – Грануляция хлорида калия производительностью 50 тонн в час методом прессования

Компактирование (прессование) – процесс уплотнения мелкодисперсных сыпучих материалов между двумя вращающимися навстречу друг другу профилированными

валками в плитки, т.е. полосу материала определенной толщины. В отличие от традиционных методов влажной грануляции метод компактирования позволяет использовать сухие исходные материалы практически из неограниченного числа источников и без особых требований к размеру частиц. Данная технология приобретает все большее значение в промышленности, в частности, в связи с уменьшением энергетических затрат (которые являются основным фактором в процессах влажной грануляции).

Мелкокристаллический хлорид калия, нагретый до 95...100 °С, из сушильного барабана подается на ленточный реверсивный конвейер 1. На него же подается пыль из циклонов. Далее полученный продукт перегружается либо на ленточный конвейер 2 и подается в цех грануляции в ковшовый элеватор 4, который сбрасывает продукт через металлоулавливатель 3 на скребковый конвейер 5, либо на существующий конвейер линии мелкогранулированного продукта. Скребковый конвейер 5 оснащен донными шиберами 20, через которые заполняются загрузочные шахты вальц-прессов 6. Избыток продукта с конвейера 5 сбрасывается в бункер-накопитель с пересыпом 8, из которого подается на нижнюю ветвь скребкового конвейера 7 и возвращается в элеватор 4. При переполнении бункера 8 происходит сброс излишков на отметку 0.

Спрессованный вальц-прессами продукт в виде плиток через зубчатые дробилки (входят в состав вальц-прессов) поступает на шелевую плиту скребкового конвейера с просевом 7, где отделяется класс «-4 мм», который нижней ветвью конвейера подается в элеватор 4.

Плитка с верхней ветви конвейера 7 сбрасывается в дробилку 9, из которой дробленый продукт элеватором 10 подается на грохот 11, где происходит разделение продукта на 3 класса. Класс «+ 4 мм» идет на дробилку 12, из которой элеватором 10 возвращается на грохот 11. Класс «+ 2...- 4 мм» из грохота 11 поступает в барабан-окатыватель 13, в котором с гранул удаляются острые кромки. Затем в грохоте 14 происходит разделение гранул и пыли. Пыль подается на нижнюю ветвь конвейера 7 обратно в процесс прессования, а гранулы загружаются в барабан обработки антислеживателем 15. В него же насосом-дозатором 19 из бака 18 подается антислеживатель. После обработки в барабане 15 готовый продукт ленточным конвейером 16 подается в транспортную систему завода. На конвейере 16 происходит взвешивание готового продукта конвейерными весами 21. Пыль из аспирационной системы 17 выгружается на нижнюю ветвь конвейера 7 и возвращается в процесс прессования.

Работа всего оборудования комплекса контролируется и управляется системой автоматизации, которая разрабатывается отдельно и поставляется вместе с комплектом технологического оборудования.

Преимущества процесса сухого компактирования:

- сухой процесс, не требующий добавления воды или связующего вещества;
- технология без добавления воды не требует сушки;
- потребление электроэнергии на 30 % меньше, чем при мокрой грануляции;
- стабильное распределение NPK по фракциям;
- утилизация дешевой мелкой фракции;
- быстрая смена NPK-рецептур;
- снижение сегрегации;
- эксплуатационные затраты ниже из-за отсутствия коррозии;
- очень низкий уровень выбросов, т.к. в техпроцессе не используется вода или газ;
- меньше размер инвестиций в оборудование (отсутствуют сушилка и охладитель), техпроцесс хорошо адаптируется к местным условиям (нет очень сложных технологий);

- удобрения, произведенные с помощью компактирования, менее склонны к слипанию (используются сухие компоненты) и, как следствие, снижение слеживаемости, способность к длительному хранению;

- улучшение характеристик текучести продукта;

- сокращение потерь при внесении удобрений в почву за счет снижения пылимости и вымывания из почвы.

Грануляция компактированием действительно очень универсальный и недорогой способ производства удобрений, что делает его особенно выгодным для производителей удобрений. Технологическая схема производства гранулированных NPK-удобрений методом прессования в ОАО «Беларуськалий» представлена на рисунке 2.

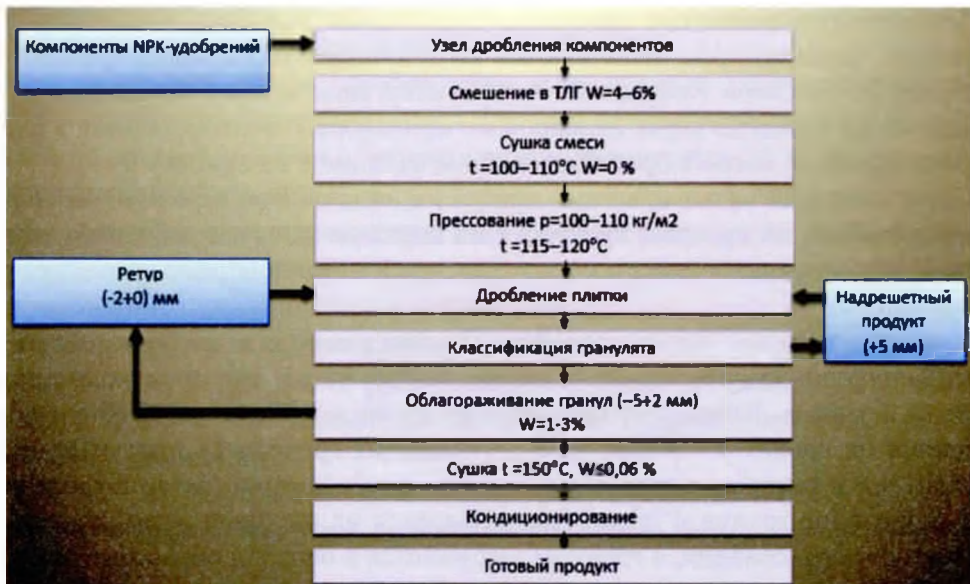


Рисунок 2. – Технологическая схема производства гранулированных NPK-удобрений методом прессования в ОАО «Беларуськалий»

Применение удобрения в виде тонкодисперсного порошка неэффективно из-за большого пылеуноса, потерь при транспортировании, гигроскопичности. На флотофабриках циклонную пыль подвергают совместному прессованию с мелкозернистым продуктом на валковых прессах, что приводит к ухудшению качества получаемого прессата. Комплексное изучение возможности переработки циклонной пыли путем агломерационного гранулирования в товарный продукт позволит улучшить качество основного продукта и снизить затраты на электроэнергию и расход пылеподавляющих реагентов [5].

Перспективность основного метода гранулирования фосфорсодержащих удобрений – окатывания – обусловлена применением агрегатов большой единичной мощности (40, 60 и 80 т/ч) для производства удобрений. Важнейшим направлением развития техники гранулирования фосфорсодержащих удобрений является создание безвыбросных производств, требующих использования концентрированных фосфорной и других кислот для получения расплава сложных удобрений. Гранулирование удобрений, достигаемое охлаждением расплавов, позволяет исключить стадию сушки и связанные с ней выбросы фтористых газов и аммиака, а также громоздкую систему абсорбции.

Гранулирование окатыванием включает следующие 4 стадии:

1 – смешение исходного вещества со связующим;

2 – формирование гранул из мелких частиц;

- 3 – окатывание и уплотнение гранул при их перемещении по поверхности аппарата;
- 4 – упрочнение структуры гранулы.

Анализ различных способов гранулирования позволил выбрать метод окатывания, который по сравнению с другими способами обеспечивает получение продукта в виде сферических гранул, высокую производительность, позволяет использовать стандартное оборудование.

Процесс осуществляют в барабанных, тарельчатых, скоростных и вибрационных грануляторах [6].

Барабанный гранулятор (рисунок 3) используется для гранулирования твердых веществ, в частности, минеральных удобрений.

Барабанный гранулятор состоит из основного барабана 1 с транспортирующей насадкой на внутренней поверхности, выполненной в виде нескольких рядов распределительных лопастей 2, подпорных лопастей 3 и 4, установленных перед распределительными лопастями и перед подпорным кольцом 5 на входном конце основного барабана 1, приемных-транспортирующих желобов 6 и приемных окон 7 на внутренней поверхности основного барабана, классификатора 8 с очистителем 9 и дополнительного наружного барабана 10. В межбарабанном кольцевом пространстве расположен обратный шнек 11, после обратного шнека в межбарабанном пространстве на входной конце барабанов размещены направляюще-транспортирующие лопасти 12, расположенные против каждого приемного окна 7, вырезанного в переднем конце основного барабана 1.

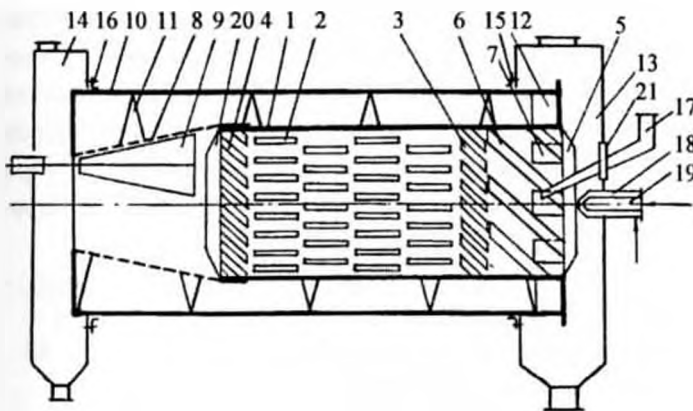


Рисунок 3. – Схема барабанного гранулятора в продольном разрезе

С двух концов оба скрепленных между собой барабана имеют неподвижные камеры загрузки 13 и выгрузки 14, снабженные уплотнительными устройствами 15 и 16 между камерами и дополнительным наружным барабаном 10. На стенке передней камеры загрузки 13 установлена загрузочная труба 17 и труба 18, в которой установлена форсунка 19. Камера выгрузки 14 расположена на выходном конце классификатора 8 и дополнительного барабана 10. На входном и выходном концах основной барабан имеет подпорные кольца 5 и 20. В стенке камеры выгрузки 14 укреплен очиститель 9 классификатора 8. Приемно-транспортирующие желоба 6 установлены после каждого приемного окна 7 с возможностью его перекрытия и перед подпорными лопастями 3. На неподвижной камере загрузки 13 установлена труба 21 для подачи воздуха.

Барабанный гранулятор работает следующим образом. Гранулированный или кристаллический продукт, подлежащий обработке плавом одноразово, непрерывно или периодически подается через трубу 17, укрепленную в неподвижной камере загрузки 13, поступает в основной барабан 1 на приемно-транспортирующие желоба 6, которые подают материал к подпорным лопастям 3. Одновременно в переднюю часть основного барабана 1 на завесу из гранул распыливается плав удобрения пневматической или механической форсункой 19. Подпорные лопасти 3 подают гранулированный продукт в промежутки между распределительными лопастями 2, которые при вращении барабана непрерывно поднимают и выбрасывают продукт по параболической кривой в попереч-

ном направлении. Вращение барабана обеспечивает окатывание и уплотнение гранул. Подпорные лопасти 3 обеспечивают упрочнение структуры гранулы. Классификатор 8 с очистителем 9 обеспечивает очистку гранул от пыли и мелких фракций. Обратный шнек 11 и направляющие лопасти 12 обеспечивают транспортировку гранул из межбарабанного пространства в камеру выгрузки 14. Труба 21 обеспечивает подачу воздуха в камеру загрузки 13 для создания необходимого давления при загрузке.

ном сечении барабана, образуя при этом плотную и равномерную завесу обрабатываемого материала во всем объеме основного барабана 1, в результате чего весь продукт многократно подвергается обработке распыленным плавом удобрения. При этом, продукт перемещается вдоль оси основного барабана 1 под действием угла наклона барабана 1 и 10, под действием подпора продукта, подаваемого в барабан приемно-транспортирующими желобами 6, в результате перемещения продукта подпорными лопастями 3, а также в результате сноса продукта факелом распыла плава удобрения при каждом пересыпании гранул продукта.

Продукт после его распределения в объеме лопастями 2 поступает на подпорные лопасти 4, которые, захватывая гранулы продукта, создают из него дополнительную завесу, что позволяет исключить проскок плава. Гранулированный продукт, пересыпаясь через подпорное кольцо 20, поступает в классификатор 8, где отделяется мелкая фракция продукта, которая подхватывается обратным шнеком 11, транспортируется в переднюю часть наружного барабана к направляюще-транспортирующим лопастям 12, с помощью которых через окна 7 продукт подается в основной барабан 1. Готовый продукт из классификатора 8 выгружается в камеру выгрузки 14 и отправляется на упаковку. Классификатор 8 постоянно очищается очистителем 9. Мелкая фракция гранул, возвращенная в основной барабан 1, по приемно-транспортирующим желобам 6 поступает на подпорные лопасти 3, которыми вновь подается в завесу из гранулированного материала для обработки плавом. Гранулы, изменив свой размер, распределительными лопастями 2 перемещаются вдоль оси барабана к зоне выгрузки в классификатор 8, в котором отделяется мелкая фракция гранул и выгружается готовый продукт. Этот цикл увеличения размеров гранул до заданного, регулируемого классификатором 8, проводится многократно. При необходимости через трубу 21 может подаваться воздух на охлаждение продукта в барабане 1.

Технологии комплексных удобрений с аппаратами аммонизатор-гранулятор – сушильный барабан (АГ-СБ). Основными преимуществами данной схемы являются:

- высокая производительность одной технологической линии;
- широкий ассортимент выпускаемых марок удобрений;
- низкие энергозатраты;
- возможность оперативного перехода между различными видами продукта;
- высокое качество готового продукта.

Аммонизатор-гранулятор – аппарат барабанного типа, совмещающий в себе процессы аммонизации и гранулирования. За счет тепла, выделяющегося при взаимодействии аммиака с кислотами, в АГ происходит также и подсушка материала. Это позволяет сократить энергозатраты на единицу продукции, а также продолжительность технологического цикла и количество необходимого оборудования в технологической линии по сравнению с другими способами.

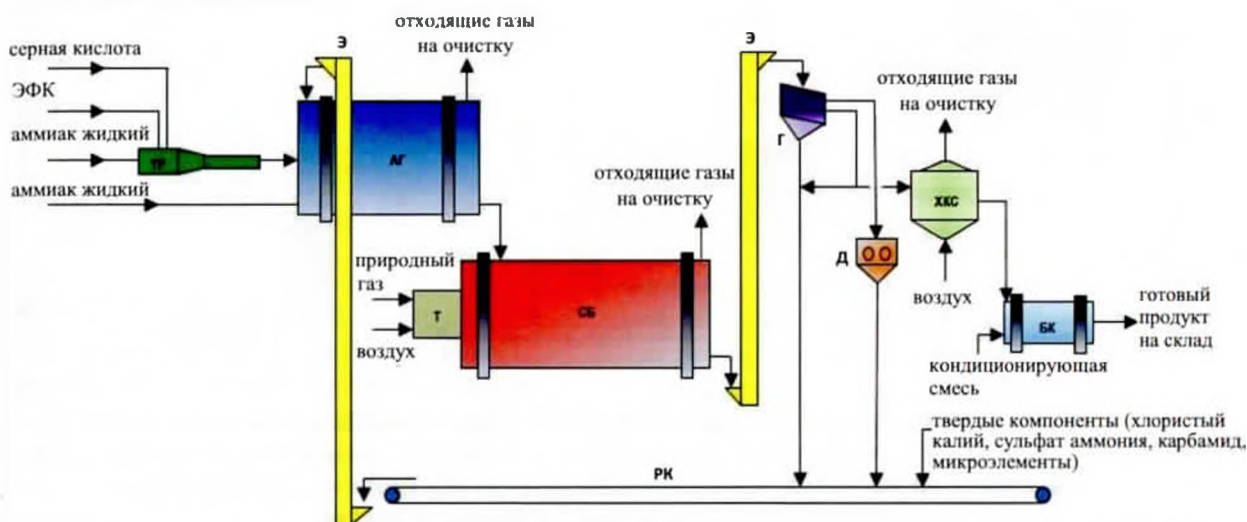
Аммонизатор-гранулятор – вращающийся барабан с закрепленными на нем бандажами, которыми барабан опирается на роликовые опорные станции. Материал на аммонизацию и гранулирование поступает через загрузочный лоток, расположенный в головной части аппарата. АГ устанавливается под углом 1-3° к горизонту, в результате чего материал перемещается через гранулятор к выгрузочной камере, расположенной в хвостовой части аппарата. В торцах барабана установлены подпорные кольца, которые обеспечивают необходимый уровень заполнения барабана. Во внутренней части барабана крепятся скребковое устройство для очистки внутренней поверхности от налипшего материала, распределитель аммиака, трубы для подачи аммиака, плава и пульпы, подъемное устройство. АГ различаются по размерам и внутреннему оформлению.

Аппараты АГ имеют достаточно высокую производительность. Технологическая линия, включающая в себя АГ, является высокопроизводительной. Совмещение в одном аппарате процессов смешения, аммонизации и гранулирования позволяет снизить энергозатраты, а также улучшить качество минеральных удобрений.

Габариты (диаметр и длина) гранулятора определяются целевой мощностью технологической нитки, а также ретурностью системы. Наибольшее распространение получили следующие АГ:

- 2,2×5 м для производительности по готовому продукту 20-30 т/ч;
- 4×8 м для производительности по готовому продукту 60-90 т/ч;
- 4,5×9 м для производительности 90-120 т/ч;
- 5×10 м для производительности по продукту 100-130 т/ч.

Схемы производства комплексных удобрений с использованием АГ представлены на рисунках 4 и 5.



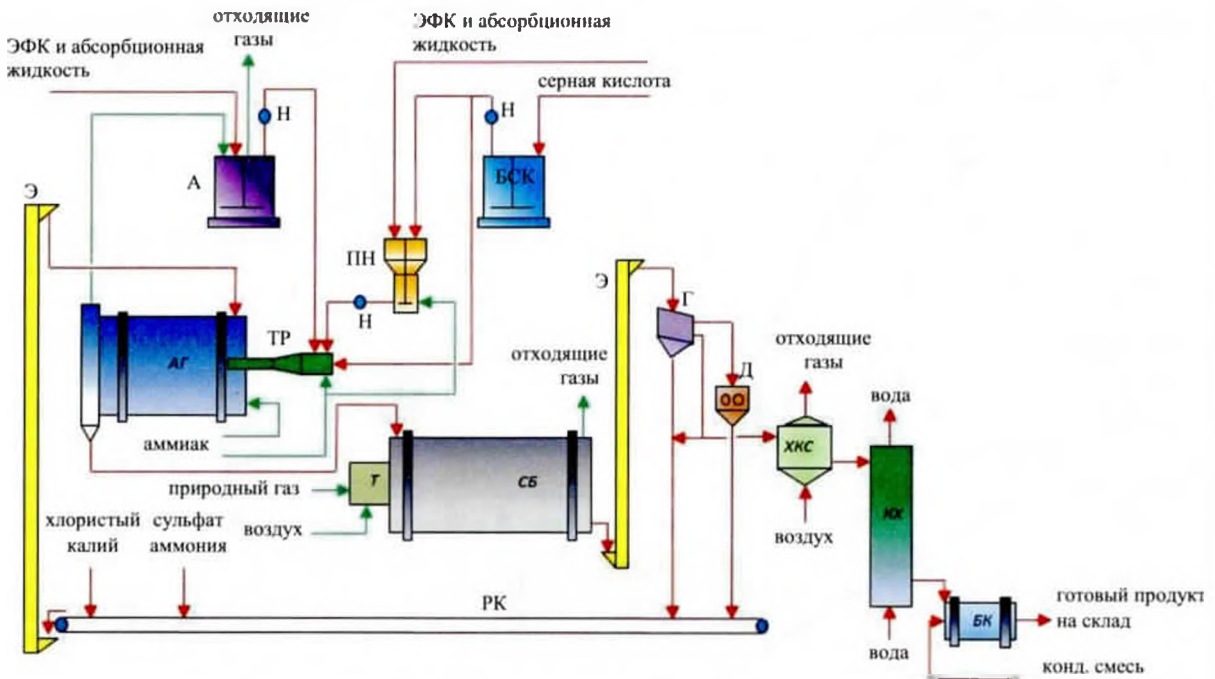
ТР – трубчатый реактор; СБ – сушильный барабан; Т – топка; Э – элеватор; Г – грохот;
 Д – дробилка; ХКС – холодильный аппарат «кипящего слоя»; БК – барабан-кондиционер;
 ЭФК – экстракционная фосфорная кислота; РК – ретурный конвейер

Рисунок 4. – Схема получения комплексных удобрений с использованием АГ и трубчатых реакторов

Схема включает в себя аммонизацию смеси серной и фосфорной кислот в трубчатом реакторе, гранулирование и доаммонизацию в АГ, сушку гранул в сушильном барабане, классификацию гранул с возвращением крупной после дробления и мелкой фракции, а также части товарной фракции в АГ в виде ретура через ретурный цикл. Готовый продукт охлаждают, обрабатывают кондиционирующей смесью для улучшения потребительских свойств и направляют на склад готовой продукции.

Использование схемы с АГ позволяет осуществлять выпуск таких удобрений как моноаммонийфосфат (МАФ, MAP), диаммонийфосфат (ДАФ, DAP), различные виды NPK-удобрений (с соотношением компонентов 9:25:25, 10:26:26, 13:19:19, 15:15:15, 16:16:8 и ряд других), различные виды NPS-удобрений (14:34:0+12S, 20:20:0+14S и ряд других), а также удобрений с микроэлементами и другими видами добавок. Для повышения доли азота и расширения ассортимента выпускаемой продукции возможно использование в качестве одного из азотсодержащих компонентов карбамида или нитрата аммония. Это позволяет осуществлять выпуск удобрений с соотношением компонентов 16:16:16, 17:17:17, 22:11:11, 19:9:19, 27:6:6, 20:10:10 и ряд других.

В ряде случаев целесообразно узел нейтрализации фосфорной и серной (азотной) кислот организовать по двухстадийной схеме: первая стадия в нейтрализаторе-испарителе (емкостном аппарате с мешалкой или скоростном аммонизаторе-испарителе), вторая стадия – в трубчатых реакторах (рисунок 5).



ПН – преднейтрализатор; А – абсорбер; БСК – бак серной кислоты; Н – насос; КХ – кондуктивный холодильник; остальные обозначения расшифрованы на рисунке 4
Рисунок 5. – Схема получения комплексных удобрений с использованием АГ и двухстадийной нейтрализации кислот

Реализация двухстадийной аммонизации позволяет:

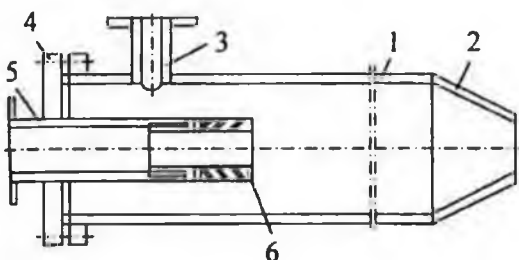
- увеличить нагрузку по аммонизируемой пульпе и тем самым увеличить соотношение Ж:Т (жидкой фазы к твердой) на стадии грануляции, что необходимо для марок с низким содержанием фосфора: 15:15:15; 16:16:8; 20:20:0 + 14S;
- дает возможность увеличить расход серной кислоты на аммонизацию и, тем самым, заменить часть кристаллического сульфата аммония;
- использовать часть ЭФК в неупаренном виде.

Предлагаемая проверенная и надежная технология АГ-СБ обеспечивает высокую единичную мощность, универсальность и гибкость производства за счет следующих усовершенствований:

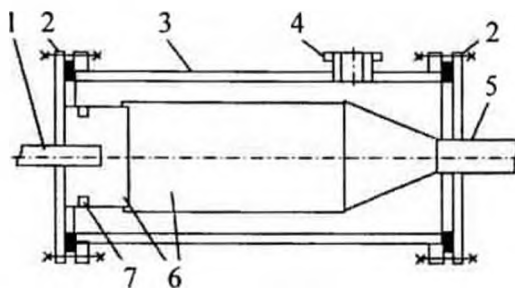
- двухстадийной последовательной схемы аммонизации в преднейтрализаторе и 2-3 трубчатых реакторах;
- оптимального пространственного расположения в АГ и конструкции форсунок на выходе пульпопроводов;
- улучшенной конструкции внутренней насадки сушильного барабана;
- оптимального ретурного контура с минимальным числом оборудования и простого в управлении, но высокопроизводительного и надежного;
- эффективной системы охлаждения: аппарат «кипящего слоя» и кондуктивный аппарат;

- оригинальной технологии улучшения качественных показателей готовой продукции за счет использования модифицирующих добавок;
- эффективной системы мокрой очистки абсорбер – Вентури-полый абсорбер-аппарат пенного слоя, обеспечивающей низкие показатели выброса загрязнителей и низкое потребление электроэнергии.

Трубчатые реакторы. Для повышения производительности АГ аммонизацию фосфорной кислоты необходимо предварительно проводить в трубчатом реакторе. На рисунках 6 и 7 представлены чертежи трубчатых реакторов. Предложенные конструкции реакторов позволяют минимизировать возможности налипания образующейся пульпы на внутренней насадке и корпусе, уменьшить металлоемкость и улучшить условия эксплуатации реактора.



1 – корпус; 2 – сопло; 3 – патрубок;
4 – крышки; 5 – патрубок подвода аммиака; 6 – распределитель аммиака
Рисунок 6. – Трубчатый реактор



1 – патрубок ввода кислоты; 2 – фланцы с прокладками; 3 – корпус; 4 – патрубок ввода аммиака; 5 – патрубок выхода продукта; 6 – тонкостенная реакционная труба; 7 – сопла аммиака
Рисунок 7. – Трубчатый реактор [7]

Большинство из выпускаемых на данный момент сложных фосфорсодержащих минеральных удобрений производится методом окатывания с использованием связующего компонента на частицах ретура в барабанных аппаратах.

Технологии комплексных удобрений с барабанным гранулятором-сушилкой (БГС). Технологии фосфорсодержащих удобрений с применением аппарата БГС получили широкое распространение, и в ряде случаев их применение предпочтительнее по сравнению с технологией с АГ. Достоинствами гранулирования в этом аппарате являются высокая интенсивность тепло- и массообмена, небольшая кратность внешнего рецикла (1-2), хорошее качество и узкий гранулометрический состав готового продукта, возможность автоматизации процесса.

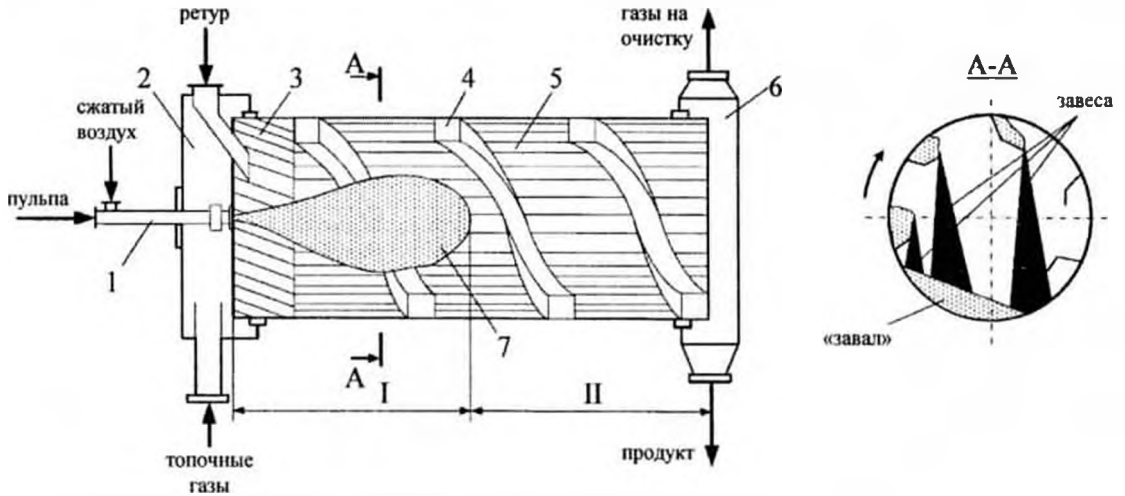
Широкое применение технологии удобрений на основе аппарата БГС обусловлено следующими причинами.

1. Наиболее универсальной с точки зрения перерабатываемого сырья является технология с аппаратом БГС, что связано с возможностью использования экстракционной фосфорной кислоты как в упаренном, так и неупаренном виде.

2. Технология с БГС позволяет производить широкий ассортимент удобрений высокого качества, в т.ч. удобрений, плохо поддающихся гранулированию методом окатывания: Р, РК, некоторые виды НРК. Помимо этого, удобрения, полученные по схеме с БГС, благодаря механизму гранулирования обладают высокой статической прочностью и высокой степенью сферичности. Получаемый продукт соответствует заданному узкому гранулометрическому составу.

Технологические нитки с БГС очень компактны. Схемы с аппаратами БГС (рисунок 8) включают в себя меньше единиц оборудования, вследствие чего снижается расход электроэнергии, а также для их создания требуется меньше капитальных вложений. Бо-

лее короткая транспортная (ретурная) цепочка может обеспечить меньшее количество выходов оборудования из строя, что увеличивает эффективный рабочий фонд времени и снижает затраты на ремонт. Технологические нитки с аппаратами БГС традиционно считаются малоретурными, что также снижает энергозатраты и позволяет использовать транспортное оборудование меньшей производительности (и, соответственно, с меньшей стоимостью).



1 – форсунка; 2 – загрузочная камера; 3 – винтовая питающая насадка;
4 – обратный шнек; 5 – подъемно-лопастная насадка; 6 – разгрузочная камера;
7 – факел; I – зона гранулирования; II – зона досушки

Рисунок 8. – Барабанный гранулятор-сушилка

Механизм гранулообразования в БГС можно упрощенно представить состоящим из следующих этапов:

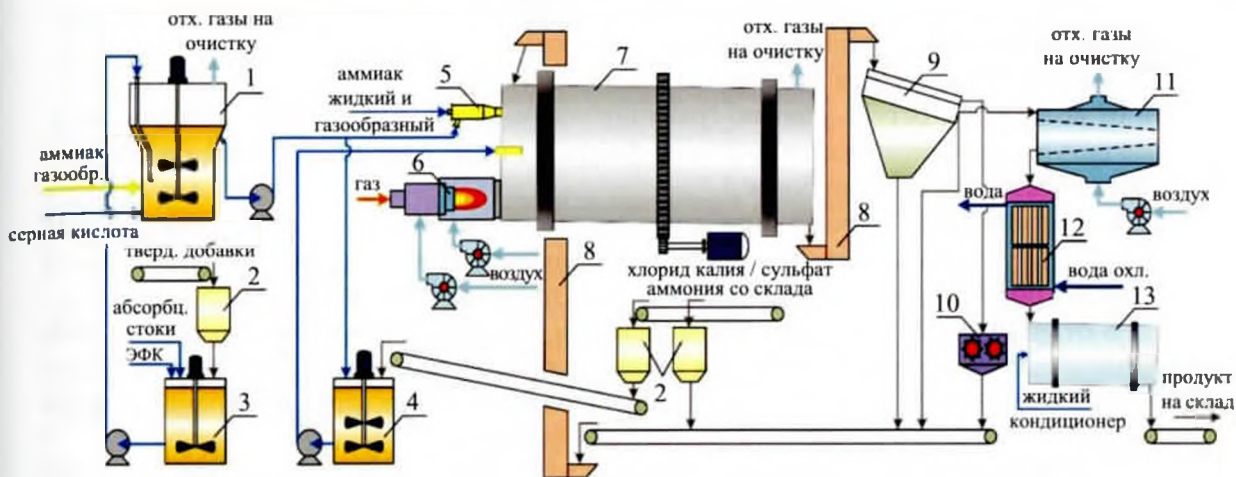
- нагрев частиц ретур, сыпавшегося с лопаток насадки в токе горячего теплоносителя (топочных газов);
- нанесение пленки жидкости на частицы ретур при прохождении их через объем факела распыливаемой пульпы;
- сушка увлажненных гранул в токе нагретых газов после их выхода из факела пульпы.

БГС представляет собой вращающийся барабан с внутренней подъемно-лопастной насадкой, установленный с наклоном $1-3^\circ$ к горизонту (рисунок 8). Отличительной особенностью аппаратов БГС является наличие обратного шнека, позволяющего возвращать некоторое количество гранулированного материала в головную часть аппарата (внутренний ретур). При вращении барабана лопатки специального профиля, установленные внутри барабана, проходят через слой продукта в нижней части («завал»), захватывая его и затем ссылая, образуя при этом «завесу» по всему сечению. На эту завесу с помощью форсунки наносится перерабатываемая пульпа, диспергируемая с помощью сжатого воздуха (или за счет образующегося пара при работе с трубчатым реактором). В головную часть барабана также подают топочные газы и вводят внешний ретур. Для перемещения внешнего ретур в зону образования завесы головная часть БГС оснащена винтовой насадкой. При нанесении пульпы на частицы завесы происходит образование гранул, которые затем досушиваются. Максимальное количество пульпы, подаваемое на завесу, зависит от предельной влажности гранул, при которой начинается образование агломератов в «завале».

Габариты (диаметр и длина) аппарата определяются целевой мощностью технологической нитки, а также влажностью разбрызгиваемой пульпы. Наибольшее распростра-

нение в производстве фосфорсодержащих удобрений получили БГС (D×L): 3,5×14 м; 4,5×16 м.

Схема производства удобрений на основе фосфатов аммония (МАФ, ДАФ, NPK) с использованием БГС представлена на рисунке 9.



- 1 – преднейтрализатор; 2 – бункеры; 3 – сборник кислоты; 4 – бак смешения пульпы с хлористым калием; 5 – трубчатый реактор; 6 – топочно-горелочное устройство; 7 – БГС; 8 – элеваторы; 9 – грохот; 10 – дробилка; 11 – холодильник «кипящего слоя»; 12 – охладитель Solex; 13 – барабан-кондиционер

Рисунок 9. – Гибкая технологическая схема производства фосфорсодержащих удобрений с использованием аппарата БГС

Схема включает в себя нейтрализацию фосфорной кислоты (или смеси серной и фосфорной кислот) аммиаком в емкостном нейтрализаторе (или в скоростном аммонизаторе-испарителе (САИ)), доаммонизацию в трубчатом реакторе, гранулирование и сушку в БГС, классификацию гранул с возвращением крупной после дробления и мелкой фракции, а также части товарной фракции в БГС в виде ретура (возврата) через ретурный цикл. Готовый продукт охлаждают, обрабатывают кондиционирующей смесью для улучшения потребительских свойств и направляют на склад готовой продукции. Предусматривается предварительное смешение части аммонизированной пульпы и хлористого калия для улучшения гранулируемости, более глубокого протекания конверсионных химических процессов и снижения слеживаемости готового продукта. Для дополнительного снижения слеживаемости и пылимости комплексных удобрений предусматривается использование магнийсодержащих добавок (магнезит, брусит). Данный способ включает в себя смешение магнийсодержащей добавки с фосфорной кислотой и последующую подачу на нейтрализацию.

Существуют технологические схемы, оснащенные аппаратами БГС и не имеющие внешнего ретура. В них крупная фракция после отсева поступает на дробление и затем возвращается на повторный сев, а мелкая фракция подается в БГС на обратный шнек. Но это решение не является наилучшим как по производительности, так и с точки зрения стабилизации технологии и качества продукта. Опытным путем установлено, что только сочетание внешнего и внутреннего ретура является оптимальным для схем с аппаратом БГС [8, 9].

Особенностью гранулирования и сушки удобрений в БГС является периодическое колебание гранулометрического состава и связанное с этим изменение массовых расхо-

дов ретура и готового продукта. Эти процессы оказывают негативное влияние и на свойства удобрений. Для стабилизации процессов гранулирования и сушки, а также для получения качественных показателей продукта необходимо поддерживать определенный расход и качество внешнего ретура [10-12].

По количеству ретура, поступающего в грануляционный аппарат со стадий дробления и отсева, методы гранулирования можно классифицировать на ретурные и безретурные. К первым относятся методы гранулирования путем агломерирования. В зависимости от количества ретура условно гранулирование может быть малоретурным с кратностью ретура до 5 (число весовых единиц ретура на 1 вес. единицу готового продукта) и многоретурным с кратностью более 5.

В большинстве случаев при гранулировании сложных и сложно-смешанных удобрений ретур вводится в грануляционный аппарат для поддержания оптимальной влажности и обеспечения максимального выхода товарной фракции [13].

В отдельных случаях, при гранулировании удобрений методом прессования либо гранулирования суперфосфата методом окатывания в присутствии влаги, ретур не требуется, однако он образуется в процессе гранулирования. В этих случаях стремятся вести процесс с минимальным выходом ретура мелкой фракции.

К безретурным методам гранулирования относится отверждение капель плава потоком воздуха или в масле. [14].

В процессе гранулирования между частицами образуются определенные связи, которые обеспечивают пластичность материала и позволяют изменять форму гранул без их разрушения [15-18]. Для получения готового продукта необходимо упрочнить связи, придав жесткость полученной в процессе гранулирования структуре. Это достигается удалением жидкой фазы или переводом ее в твердую в процессе сушки гранулята, что приводит к интенсивной кристаллизации твердых компонентов внутри гранулы. Для гранул, подвергающихся длительному хранению и транспортированию, процесс сушки очень важен.

В процессе сушки образуются новые фазовые контакты, кристаллические спайки между отдельными частицами гранулы, приводящие к увеличению прочности. Конечное содержание влаги в продукте в значительной мере определяет физико-механические свойства (прочность, слеживаемость, гигроскопичность и др.), а с увеличением содержания влаги физико-механические свойства значительно ухудшаются. Влага, входящая в состав гранул, включает поверхностную влагу, удерживаемую в гранулах механическими силами сцепления, сорбционную влагу, удерживаемую вследствие адсорбции и абсорбции, и капиллярную влагу, заполняющую капилляры и поры гранул.

Процесс сушки протекает с определенной скоростью, которая зависит от формы связи влаги с материалом и механизма превращения в нем влаги, при этом длительность процесса сушки определяется следующими факторами:

- структурой материала и формой связи влаги с ним;
- размерами частиц высушиваемого материала;
- величиной начальной и конечной влажности материала, а также его температурой;
- параметрами теплоносителя (температура, влагосодержание, скорость).

Заключение. Развитие техники гранулирования обычно тесно связано с общим развитием технологии производства того или иного продукта. Выбор метода гранулирования зависит от конкретного производства. Так, методы гранулирования полимерных материалов оказываются непригодными для гранулирования минеральных удобрений и наоборот. Тем не менее, существуют общие принципы подхода к выбору наиболее целесообразных методов гранулирования в зависимости от агрегатного состояния и физических свойств исходных веществ.

Большинство из выпускаемых на данный момент сложных фосфорсодержащих минеральных удобрений производится методом окатывания с использованием связующего компонента на частицах ретура в барабанных аппаратах [3].

Рассмотренный барабанный гранулятор для гранулирования минеральных удобрений позволяет получать гранулированный продукт более узкой фракции, перерабатывать нестандартный продукт в продукт первой и высшей категории качества по гранулометрическому составу, значительно повысить прочность гранул и снизить их истираемость (разрушение) в процессе транспортирования.

Список использованных источников

1. Шкарпеткин, Е.А. Анализ методов получения гранул и средств их реализации / Е.А. Шкарпеткин // Наука и современность. – 2010. – С. 378-383.
2. Горр, Д.А. Создание технологии приготовления топливных гранул и разработка технологических основ их использования: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / Д.А. Горр. – Москва, 2014. – 133 л.
3. Кочергин, С.А. Повышение эффективности производства сложных минеральных удобрений путем оптимизации процессов гранулирования и сушки: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / С.А. Кочергин. – Иваново, 2008. – 114 л.
4. Технология производства NPK-удобрений [Электронный ресурс] / ОАО «Беларуськалий», Солигорск, 2015. – Режим доступа: https://kali.by/production/technology/technology_for_producing_NPK. – Дата доступа: 18.12.2019.
5. Черепанова, М.В. Оптимизация сушки гранул хлорида калия, полученных путем агломерационного гранулирования циклонной пыли методом окатывания / М.В. Черепанова, А.Р. Хасанова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2013. – № 2. – С. 39-49.
6. Классен, П.В. Основы техники гранулирования (Процессы и аппараты химической и нефтехимической промышленности) / П.В. Классен, И.Г. Гришаев. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
7. Реактор для аммонизации кислот: пат. 2533713 РФ, МПК В01F3/04, В01F5/00 / И.Г. Гришаев; заявитель ОАО «НИИ по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова». – а2013114552/05; заявл. 02.04.13; опубл. 20.11.14 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности. – 2014. – № 32.
8. Технология гранулированного диаммонийфосфата из неконцентрированной экстракционной фосфорной кислоты / А.М. Норов [и др.] // Химическая технология. – 2011. – № 10., Т. 12. – С. 589-593.
9. Норов, А.М. Разработка технологии диаммонийфосфата из неконцентрированной экстракционной фосфорной кислоты с использованием барабанного гранулятора-сушилки: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / А.М. Норов. – Череповец, ОАО «НИУИФ», 2014. – 130 л.
10. Разработка норм оптимального технологического режима производства гранулированного диаммонийфосфата из неконцентрированной фосфорной кислоты / А.М. Норов [и др.] // Химическая технология. – 2012. – № 11, Т. 13. – С. 641-647.
11. Гришаев, И.Г. Производительность барабанного гранулятора-сушилки и качество фосфатов аммония / И.Г. Гришаев, А.М. Норов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – № 5. – С. 22-23.
12. Гришаев, И.Г. Разработка конструкции барабанных грануляторов-сушилок для производства минеральных удобрений: Труды НИУИФ / И.Г. Гришаев. – М., 2009. – С. 154-158.
13. Классен, П.В. Методы гранулирования фосфатов аммония / П.В. Классен // Химическая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 85.

14. Методы гранулирования удобрительных композиций / А.А. Болысбек [и др.] // Технические и естественные науки: сб. избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, 26-28 июня 2019 г. / ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ». – Санкт-Петербург, 2019. – С. 178-180.

15. Классен, П.В. Гранулирование / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 240 с.

16. Способ гранулирования тонкодисперсных материалов и устройство для его осуществления: пат. 99100811 РФ, МПК В01J2/00 / Л.И. Барышникова, С.А. Виноградов, О.Е. Кабанова [и др.]; заявитель Л.И. Барышникова, С.А. Виноградов, О.Е. Кабанова [и др.]. – № 99100811/12; заявл. 11.01.99; опубл. 20.11.00 // Открытия. Изобретения / Российское агентство по патентам и товарным знакам. – 2000.

17. Способ получения гранулированного хлористого калия: пат. 2157356 РФ, МПК C05D1/00, C01D3/22 / Ю.С. Сафрыгин, Ю.В. Букша, Г.В. Осипова [и др.]; заявитель ОАО «Уралкалий». – № 99104685/12; заявл. 10.03.99; опубл. 10.10.00 // Открытия. Изобретения / Российское агентство по патентам и товарным знакам. – 2000.

18. Способ кондиционирования гранулированных удобрений: пат. 2307115 РФ, МПК C05G3/10, C05B7/00, B01J2/28, C05G5/00 / И.Г. Гришаев, А.Я. Сырченков, И.Н. Громова [и др.]; заявитель ОАО «НИИ по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова». – № 2006119539; заявл. 06.06.06; опубл. 27.09.07 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности. – 2007. – Бюл. № 27.

Информация об авторах

Information about the authors

Кондратчик Наталья Юрьевна – аспирант УО «Белорусский государственный технологический университет», старший преподаватель УО «Барановичский государственный университет» (ул. Войкова, 21, 225404, г. Барановичи, Брестская область, Беларусь), e-mail: barsu@brest.by.

Kondratchik Natalia Yurievna – Post-graduate Student, Belarusian State Technological University, senior lecturer of Baranovichi State University (21, Voikov Str., 225404, Baranovichi, Brest Region, Belarus), e-mail: barsu@brest.by.

Высоцкая Надежда Александровна – аспирант УО «Белорусский государственный технологический университет», заместитель начальника отдела научно-технической информации ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (ул. Козлова, 69, 223710, г. Солигорск, Беларусь), e-mail: ipr@sipr.by.

Vysotskaya Nadezhda Aleksandrovna – Post-graduate Student, Belarusian State Technological University, Deputy Head of the Department of Scientific and Technical Information of the JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production” (69, Kozlova Str., 223710, Soligorsk, Belarus), e-mail: ipr@sipr.by.

Францкевич Виталий Станиславович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических и силикатных производств», УО «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь), e-mail: fvs2@tut.by.

Frantskevich Vitaliy Stanislavovich – Ph. D. (Engineering), Head of the Department of Machines and Apparatuses of Chemical and Silicate Production, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Str., 220006, Minsk, Belarus), e-mail: fvs2@tut.by.