

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **041615**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.11.14**

(51) Int. Cl. **B01J 2/12** (2006.01)  
**B01J 2/14** (2006.01)  
**C05C 9/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202191663**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.07.12**

---



---

(54) **СПОСОБ НЕПРЕРЫВНОГО ГРАНУЛИРОВАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**

---

(31) **2021108925**

(56) RU-C1-2545328  
RU-C1-2163901  
SU-297235  
RU-C2-2245843  
US-A-4501773  
GB-A-779811

(32) **2021.04.01**

(33) **RU**

(43) **2022.10.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"ДЖИЭСЭМ КЕМИКЭЛ" (RU)**

(74) Представитель:  
**Квашнин В.П. (RU)**

(57) Изобретение относится к области химической технологии и, в частности, к способу непрерывного гранулирования водорастворимых твердых веществ, который включает следующие стадии: а) подача исходного сырья и заправки на тарелку гранулирования; б) проведение гранулирования водорастворимых твердых веществ в условиях смачивания водной фазой; в) выведение с тарелки гранулирования продукта гранулирования с широким диапазоном распределения гранул по диаметру; г) сушка продукта гранулирования со стадии в); д) разделение высушенного продукта гранулирования со стадии г) на фракции; выведение товарной фракции из процесса, отличающемся тем, что на стадии д) высушенный продукт гранулирования со стадии г) разделяют на четыре фракции: товарную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ ; крупную фракцию, имеющую диаметр гранул  $>D_2$ ; ретурную фракцию, имеющую диаметр гранул

$\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ ; мелкую фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне  $< \frac{D_1+D_2}{9}$ , причем ретурную фракцию направляют на стадию подачи исходного сырья а) в качестве заправки,

крупную фракцию направляют на размол до диаметра частиц в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$  и после возвращают в процесс на стадию подачи исходного сырья а), мелкую фракцию направляют на размол до полного отсутствия гранул, чей размер превышает размер исходного сырья, и также возвращают на стадию подачи исходного сырья а), причем диаметр частиц исходного сырья

составляет  $< \frac{D_1+D_2}{44}$ .

**041615**  
**B1**

**041615**  
**B1**

Изобретение относится к области химической технологии и, в частности, к способу непрерывного гранулирования водорастворимых твердых веществ, который включает следующие стадии:

- a) подача исходного сырья и заправки на тарелку гранулирования;
- b) проведение гранулирования водорастворимых твердых веществ в условиях смачивания водной фазой;
- c) выведение с тарелки гранулирования продукта гранулирования с широким диапазоном распределения гранул по диаметру;
- d) сушка продукта гранулирования со стадии c);
- e) разделение высушенного продукта гранулирования со стадии d) на фракции; выведение товарной фракции из процесса,

отличающемся тем, что на стадии e) высушенный продукт гранулирования со стадии d) разделяют на четыре фракции: товарную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ ; крупную фракцию, имеющую диаметр гранул  $>D_2$ ; ретурную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$

до  $D_1$ ; мелкую фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне  $< \frac{D_1+D_2}{9}$ ,

причем ретурную фракцию направляют на стадию подачи исходного сырья a) в качестве заправки, крупную фракцию направляют на размол до диаметра частиц в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$  и после возвращают в процесс на стадию подачи исходного сырья a), мелкую фракцию направляют на размол до полного отсутствия гранул, чей размер превышает размер исходного сырья, и также возвращают на стадию подачи исходного сырья a), причем диаметр частиц исходного сырья составляет  $< \frac{D_1+D_2}{44}$ .

Производство сыпучих химических продуктов, помимо решения стандартных химических задач, также неотъемлемо связано с необходимостью придания на выходе конечному продукту свойств, наиболее востребованных у потребителя. Тенденция последнего времени такова, что потребитель отдает свое предпочтение гранулированным сыпучим продуктам с четко регламентированным гранулометрическим составом, поскольку видит в этом существенное упрощение дальнейших технологических стадий, а также получение экономических преимуществ, связанных с логистикой и хранением. Поэтому развитие технологии гранулирования сыпучих химических продуктов приобретает все больший интерес со стороны производителей.

Одной из областей, наиболее заинтересованной в развитии технологии получения гранулированных продуктов, является сельское хозяйство, так как стадия гранулирования часто является определяющей в процессе производства минеральных удобрений, поскольку порошкообразные удобрения, особенно гигроскопичные, отличаются плохой сыпучестью и рассеиваются очень неравномерно вследствие склеивания мелких кристаллов. Кроме того, они могут сильно слеживаться и затвердевать, требуя больших затрат труда на их повторное измельчение. Гранулирование удобрений - наиболее действенный прием уменьшения слеживаемости и улучшения рассеиваемости удобрений. Независимо от улучшения физических свойств, гранулирование может значительно повышать и агрохимическую ценность удобрений, особенно водорастворимых фосфатов. Кроме того, гранулированные удобрения дают возможность составления сбалансированных по питанию сложных туковых смесей перед внесением на сельскохозяйственные культуры в целях получения планового количества и качества продукции.

В настоящее время развитие технологии гранулирования сыпучих химических продуктов направлено на снижение затрат производства, повышение производительности и улучшение качества получаемой продукции, в частности на получение готового продукта, так называемой "товарной фракции", с заданным гранулометрическим составом и максимально возможным выходом.

Стандартный процесс гранулирования сыпучих продуктов включает стадию наплавления жидкой фазы и/или влажной твердой фазы на поверхность так называемого ретура - мелких частиц определенного размера, стадию сушки и/или охлаждения для стабилизации структуры гранул, стадию классификации грануляционной шихты и отделение гранул требуемого размера (товарной фракции), стадию дробления крупной и возврат полученной мелкой фракции в гранулятор в виде ретура.

В процессе гранулирования обычно на выходе из гранулятора гранулы имеют достаточно широкое распределение по размеру, при этом гранулы требуемого интервала размеров составляют "товарную фракцию", гранулы с размерами, превышающими требуемые, образуют "крупную фракцию", а гранулы малого размера - "мелкую фракцию".

Процесс гранулирования является весьма нестабильным и подверженным влиянию многих факторов: от работоспособности оборудования до состава и влажности сырья, что может приводить как к волнообразным изменениям соотношения количества товарной фракции к крупной и мелкой фракциям, так и к полной остановке процесса в связи с отсутствием товарной фракции.

В связи с этим важной задачей является необходимость обеспечения возможности регулирования гранулометрического состава с целью получения гранулированного продукта, стабильного как по размеру, так и по физико-химическим свойствам.

Из уровня техники известно несколько подходов при регулировании процесса гранулирования.

Так, например, в патенте РФ № 2455228 при получении гранулированного фосфата аммония для регулирования режима гранулирования авторы предлагают подбирать определенные технологические показатели, в частности проводить гранулирование в две стадии, осуществляя при этом контроль влажности пульпы.

В способе получения гранулированных фосфатов аммония, описанном в патенте РФ № 2450854, регулирование процесса гранулирования ведут, изменяя плотность завесы ретура на стадиях напыления пульпы, окатывания шихты и времени пребывания шихты на этих стадиях.

В патенте РФ № 2631073 раскрывается способ получения гранулированной древесной золы, заключающийся в окатывании частиц гранулообразования при одновременной подаче порошкового и жидкого компонентов и дальнейшей сушке гранул, при этом в качестве частиц гранулообразования используют отсев древесной золы с размером частиц до 1,5 мм, окатывание осуществляют в грануляторе тарельчатом, жидким компонентом служит вода, а в качестве порошкообразного компонента используют сухую древесную золу с насыпным весом 560-600 кг/м<sup>3</sup>. Регулирование гранулометрического состава осуществляют за счет изменения угла наклона тарелки гранулятора, скорости ее вращения, а также соотношения воды и золы в пределах от 0,27 до 0,29.

Приведенные способы дают положительный эффект и позволяют получить требуемый гранулированный продукт только при строгом соблюдении описанных технологических параметров. Однако при многотоннажном производстве происходят неминуемые сбои в технологическом процессе, связанные с поступающим сырьем, работой оборудования. Для того чтобы отрегулировать гранулометрический состав готового продукта, необходимо менять технологические параметры процесса.

В уровне техники также известен другой подход для регулирования процесса гранулирования, так, в патенте США US 4501773 А, касающемся вариантов непрерывного способа гранулирования, включающего:

- (а) распыление капель жидкого, клейкого, затвердевающего вещества в потоке газа;
- (b) пропускание указанного потока газа, содержащего указанные капли, через твердые затравочные частицы в грануляторе; и
- (с) получение увеличенных затравочных частиц на выходе из гранулятора (d), для регулирования гранулометрического состава конечного продукта предлагается осуществлять разделение полученных после гранулирования частиц на три фракции, включающие:
  - (i) конечный гранулированный продукт, имеющий диапазон размеров частиц в пределах желаемого диапазона;
  - (ii) более мелкий гранулированный продукт, имеющий диапазон размеров частиц меньше, чем диапазон желаемых размеров частиц; и
  - (iii) более крупный гранулированный продукт, имеющий диапазон размеров частиц больше, чем диапазон желаемых размеров частиц.

Затем конечный гранулированный продукт выгружают. Более мелкий порошкообразный или гранулированный продукт (фракция А) передают на хранение в первый резервуар. Гранулированный продукт большего размера передают на хранение во второй резервуар. Часть более крупного гранулированного продукта, хранящегося во втором резервуаре, извлекают и измельчают, так что средний размер частиц становится меньше, чем средний размер частиц фракции А. Далее указанные частицы подаются снова в гранулятор, и за счет изменения соотношения потоков из первого и второго резервуаров регулируют распределение конечной шихты по размерам частиц. Недостатком данного способа является то, что указанное регулирование применяют только в случае отклонения процесса от заданных параметров, постоянно анализируя выходящий поток продукта с помощью автоматики, и используют специальный алгоритм смещения соотношения направляемых в качестве ретура частиц из первого и второго резервуаров, причем сами авторы отмечают, что возможно волнообразное колебание состава при несвоевременном завершении смещения соотношения направляемых в качестве ретура частиц.

Таким образом, способ включает весьма сложную систему регулирования, требующую постоянного контроля, со стороны как автоматики, так и обслуживающего персонала.

Наиболее близким аналогом заявленного изобретения является российский патент RU № 2545328 С1, который раскрывает способ регулирования процесса гранулирования фосфорсодержащих удобрений, включающий стадию разделения гранулированной шихты на мелкую, товарную и крупную фракции с измельчением крупной фракции и возвратом мелкой фракции, измельченной крупной фракции и части товарной фракции в процесс в качестве ретура, при этом возвращаемую в ретур часть товарной фракции делят на два потока, один из которых подвергают измельчению, причём этот поток отбирают в количестве, необходимом для получения шихты с заданным эквивалентным диаметром частиц. Однако недостатком данного способа является использование части товарной фракции в создание ретура, что существенно снижает выход конечного продукта и, кроме того, необходимо постоянно контролировать процесс из-за возникающих изменениях гранулометрического состава, что при несвоевременном завершении смещения соотношения направляемых в качестве ретура частиц может приводить к волнообразным колебаниям состава.

Таким образом, задача настоящего изобретения состояла в том, чтобы предоставить способ непре-

равного гранулирования водорастворимых твердых веществ, который отличался бы стабильностью проведения без необходимости регулирования технологических параметров производства во время процесса гранулирования, не требовал бы возврата части товарной фракции и позволял бы получать продукт с неизменным гранулометрическим составом и с практически количественным выходом, в пересчете на вводимый исходный компонент.

Указанная задача была решена посредством способа непрерывного гранулирования водорастворимых твердых веществ, который включает следующие стадии:

- a) подача исходного сырья и затравки на тарелку гранулирования;
  - b) проведение гранулирования водорастворимых твердых веществ в условиях смачивания водной фазой;
  - c) выведение с тарелки гранулирования продукта гранулирования с широким диапазоном распределения гранул по диаметру;
  - d) сушка продукта гранулирования со стадии c);
  - e) разделение высушенного продукта гранулирования со стадии d) на фракции;
  - f) выведение товарной фракции из процесса;
- отличающегося тем, что на стадии e) высушенный продукт гранулирования со стадии d) разделяют на четыре фракции:

товарную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ ;

крупную фракцию, имеющую диаметр гранул  $>D_2$ ;

ретурную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ ;

мелкую фракцию, имеющую диаметр гранул  $< \frac{D_1+D_2}{9}$ ,

причем ретурную фракцию направляют на стадию подачи исходного сырья a) в качестве затравки,

крупную фракцию направляют на размол до диаметра частиц в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$  и после возвращают в процесс на стадию подачи исходного сырья a), мелкую фракцию направляют на размол до полного отсутствия гранул, чей размер превышает размер исходного сырья, и также возвращают на стадию подачи исходного сырья a), причем диаметр частиц исходного сырья составляет  $< \frac{D_1+D_2}{44}$ .

Предложенный способ непрерывного гранулирования водорастворимых твердых веществ позволяет стабилизировать процесс гранулирования без необходимости постоянного регулирования технологических параметров производства, не требует возврата части товарной фракции в качестве ретура, используя для восполнения ретура крупную фракцию, и обеспечивает конечный продукт с неизменным во времени гранулометрическим составом, при этом гарантирует практически количественный выход, в пересчете на вводимый исходный компонент, в связи с чем повышает экономическую рентабельность и технологическую доступность процесса гранулирования, особенно при промышленных масштабах производства водорастворимых твердых веществ.

В основу способа согласно изобретению авторами была положена идея о том, что в процессе гранулирования твердых веществ на частицы ретура могут налипать только частицы, имеющие существенно меньший размер, чем размер частиц ретура, а в случае частиц, которые близки по размерам к частицам ретура, такого налипания не происходит.

Исходя из этого, по мнению авторов, в случае непрерывного процесса гранулирования, когда в процесс постоянно возвращается часть гранулированной шихты, в циркуляционном контуре гранулирования непрерывно возрастает количество частиц, которые незначительно меньше частиц ретура, и налипания в должной мере не происходит, это влияет на распределение частиц в грануляторе, что, в свою очередь, приводит к изменению гранулометрического состава и уменьшению количества желаемой товарной фракции. Чтобы стабилизировать процесс, оператор установки пытается изменить технологические параметры (такие как скорость подачи водной фазы, наклон тарелки гранулятора, скорость ее вращения и т.д.), в первый период это приводит к выравниванию ситуации, однако количество частиц, которые незначительно меньше частиц ретура, продолжает возрастать, и процесс опять выходит из требуемых рамок гранулометрического состава, что опять требует изменения технологических параметров. Таким образом, постоянно возникают волнообразные колебания, которые приходится нивелировать за счет действий оператора или автоматики.

Опираясь на данную идею, авторами было предложено при возврате мелкой фракции в гранулятор удалять из циркуляционного контура гранулирования частицы с размерами незначительно меньше частиц ретура. В частности, если оперировать желательным диапазоном товарной фракции, обозначаемым как диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ , то размер частиц (диаметр гранул) ретурной фракции нахо-

дится в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ , и, следовательно, из мелкой фракции, имеющей диаметр гранул  $< \frac{D_1+D_2}{9}$ , необходимо удалять частицы с размером от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $\frac{D_1+D_2}{44}$ .

Данное удаление проводят путем размола фракции  $< \frac{D_1+D_2}{9}$  до полного отсутствия гранул, чей размер превышает размер исходного сырья, т.е. до диаметра частиц  $< \frac{D_1+D_2}{44}$ .

Кроме того, чтобы дополнительно снизить содержания фракции от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $\frac{D_1+D_2}{44}$  в грануляторе, можно проводить классификацию исходного сырья перед подачей в гранулятор и отобранные частицы с размером  $> \frac{D_1+D_2}{44}$  подвергать размолу вместе с возвращаемой мелкой фракцией.

Таким образом, техническим результатом настоящего изобретения является отсутствие накопления в циркуляционном контуре гранулирования частиц, которые не участвуют в процессе образования гранул из возвращаемых частиц ретурной фракции и мешают установлению стабильных условий для формирования желаемого гранулометрического состава, что позволяет снизить нагрузку на используемое в способе оборудование и направить ресурсы производства максимально на производимый продукт, а также повысить выход конечного продукта.

Согласно изобретению в способе в качестве водорастворимых твердых веществ могут быть использованы любые твердые материалы, которые при смачивании водной фазой в грануляторе пригодны для агломерирования и окатывания.

В предпочтительном варианте осуществления способа согласно изобретению водорастворимыми твердыми веществами являются минеральные соли.

В особо предпочтительном варианте осуществления способа согласно изобретению водорастворимыми твердыми вещества являются нитраты, сульфаты или хлориды натрия, калия или аммония.

В наиболее предпочтительном варианте осуществления способа согласно изобретению водорастворимым твердым веществом является сульфат аммония.

В другом предпочтительном варианте осуществления способа согласно изобретению водорастворимыми твердыми вещества являются минеральные удобрения, в частности смеси минеральных удобрений.

В частности, по способу согласно изобретению гранулированию могут подвергаться карбамид, сульфат магния, сульфат калия, сульфат натрия, а также следующие смеси:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KCl-(NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-NH}_4\text{NO}_3$ -аммофос,  $\text{KCl-(NH}_4)_2\text{SO}_4$ -аммофос,  $\text{KCl}$ -аммофос,  $\text{KCl-H}_3\text{BO}_3$ .

В предпочтительном варианте осуществления диапазона товарной фракции  $D_1\text{-}D_2$ , соответствует условию, что  $0,5 \text{ мм} \leq \frac{D_1+D_2}{2} \leq 11 \text{ мм}$ , причем  $D_1 \geq 0,2 \text{ мм}$ . В особо предпочтительном варианте осуществления диаметр  $D_1$  находится в диапазоне от 0,2 до 10,0 мм, а диаметр  $D_2$  находится в диапазоне от 0,8 до 11,8 мм.

В способе согласно изобретению в качестве водной фазы может быть использована вода, водный раствор гранулируемого вещества, водный раствор смеси гранулируемых веществ или водный раствор одного или нескольких веществ, отличных от гранулируемого вещества.

Способ согласно изобретению может быть осуществлен на стандартном промышленном оборудовании, известном специалисту в области химической технологии.

В предпочтительном варианте осуществления размол мелкой фракции, а также при необходимости исходного сырья, проводят в вихревой мельнице. Вместо вихревой мельницы можно использовать любое другое стандартное размольное оборудование, известное специалисту в данной области, например трубную мельницу.

Согласно изобретению стадию гранулирования проводят на традиционном тарельчатом грануляторе, оснащенном линией подачи водной фазы для орошения шихты.

Стадию сушки полученной гранулированной шихты после гранулятора по способу согласно изобретению предпочтительно проводят в аппарате кипящего слоя. Вместо аппарата кипящего слоя можно использовать любое другое стандартное сушильное оборудование, например сушильный барабан, однако аппарат кипящего слоя выбирают исходя из экономической составляющей, так как скорость сушки в нем существенно выше.

Согласно изобретению стадию разделения высушенного продукта гранулирования на фракции проводят посредством двустадийной классификации на вибрационных грохотах с различным количеством уровней сит. На первом этапе двустадийной классификации используют вибрационный грохот с тремя уровнями сит для разделения просушенной гранулированной шихты на товарную фракцию, крупную фракцию, ретурную фракцию и мелкую фракцию, на втором этапе двустадийной классификации раздробленную крупную фракцию разделяют на вибрационном грохоте с одним уровнем сит.

Кроме того, измельченную мелкую фракцию, и при необходимости исходное сырье, перед подачей в гранулятор подвергают классификации в пневмоклассификаторе.

В случае, если исходное сырье перед подачей содержит минимальное количество фракции с размером частиц от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $\frac{D_1+D_2}{44}$ , ее можно направлять в гранулятор без размельчения и классификации. В

этом случае размолотую мелкую фракцию после классификации подают в гранулятор параллельно с исходным сырьем.

Однако в предпочтительном варианте осуществления способ согласно изобретению включает дополнительную стадию размельчения и классификации исходного сырья перед подачей на тарелку гранулятора. В особо предпочтительном варианте осуществления способа размельчение и классификацию исходного сырья проводят вместе с возвращаемой мелкой фракцией и полученное на выходе объединенное сырье подают на следующую стадию способа.

На фигуре показана блок-схема способа согласно изобретению, включающая дополнительную стадию размельчения и классификации исходного сырья.

Согласно данной схеме способ осуществляют следующим образом.

Исходное водорастворимое твердое вещество направляют в вихревую мельницу, куда также подают мелкую фракцию после классификации на грохоте гранулированной шихты. В вихревой мельнице проводят измельчение. Из мельницы размолотый порошок поступает в газоход, в котором циркуляционным потоком воздуха, создаваемым вентилятором, транспортируется в пневмоклассификаторе происходит окончательное разделение на фракцию с диаметром частиц более  $\frac{D_1+D_2}{44}$ , не пригодную для гранулирования, и фракцию с диаметром частиц менее  $\frac{D_1+D_2}{44}$ , являющуюся сырьем для тарельчатого гранулятора.

Фракция с диаметром частиц более  $\frac{D_1+D_2}{44}$  через шлюзовой затвор  $\frac{D_1+D_2}{44}$  ссыпается в загрузочный патрубок вихревой мельницы и направляется на повторное измельчение.

Пригодная для гранулирования фракция потоком воздуха транспортируется в батарею циклонов, где отделяется от воздуха и собирается в бункере циклона. Из бункера порошок транспортируется шнековым конвейером в тарельчатый гранулятор. Также в тарельчатый гранулятор после классификации на грохоте подают ретур с размером частиц от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ . Грануляционную шихту в тарельчатом грануляторе орошают водной фазой.

В грануляторе мелкие частицы направляются в зону орошения скребком. Крупные частицы перекачиваются по поверхности тарелки и, достигнув определенного размера, выгружаются из нее через борт, а мелкие под действием центробежной силы направляются в зону подачи твердых компонентов и зону орошения для дальнейшего агломерирования и окатывания.

Поток влажных гранул переливается через борт тарелки в наклонный желоб, футерованный во избежание налипания влажной шихты фторопластом и, далее, поступает в сушильный аппарат кипящего слоя (КС).

Процесс сушки происходит за счёт тепла, передаваемого паром продукту через трубчатый погружной теплообменник. В установке используется влажный пар давлением 10 атм ( $T=183^\circ\text{C}$ ). Скорость восходящего потока в сушильном аппарате поддерживается за счет подаваемого необходимого объема воздуха. Воздух поступает в зону сушки аппарата КС с температурой  $90-140^\circ\text{C}$ .

Сушка гранул ведётся с таким расчётом, чтобы на выходе из сушильного аппарата получить продукт с температурой  $90-140^\circ\text{C}$  и с массовой долей влаги не более 0,5%. Горячий продукт через вертикальный затвор поступает в нижний кипящий слой аппарата КС, где охлаждается цеховым воздухом.

Воздух из цеха подается вентилятором в аппарат КС через перфорированную подину, охлаждает продукт до температуры  $65-70^\circ\text{C}$ , проходит через теплогенератор, в котором нагревается до температуры  $90-140^\circ\text{C}$  и, далее, поступает в зону сушки аппарата кипящего слоя.

Классификацию гранул, выходящих из сушильного аппарата, производят на двух вибрационных грохотах. Первый грохот имеет три яруса сит. На первом грохоте гранулы рассеивают на четыре фракции:

крупная фракция - диаметр гранул  $>D_2$ ;

товарная фракция - диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ ;

ретурная фракция - диаметр гранул в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ ;

мелкая фракция - диаметр гранул  $< \frac{D_1+D_2}{9}$

Мелкую фракцию с грохота по трубам направляют в начало процесса на размол в вихревую мельницу.

Крупную фракцию с грохота подают на дробилку, где подвергают дроблению в более мелкий размер. Раздробленный в дробилке продукт направляют на рассев во второй грохот, имеющий один ярус сит. На втором грохоте дробленые гранулы рассеивают на две фракции:

фракция с диаметром гранул  $>D_1$ ;

фракция с диаметром гранул  $D_1$ .

Фракцию с диаметром гранул  $D_1$  направляют в первый грохот для повторного отсева ретурных

$$\frac{D_1 + D_2}{9}$$

гранул размером от  $\frac{D_1 + D_2}{9}$  до  $D_1$ . Фракцию с диаметром гранул  $>D_1$  после грохота возвращают в дробилку для повторного дробления. Таким образом, образуется замкнутый цикл: дробилка - грохот, с помощью которого крупные гранулы перерабатываются в ретурные гранулы, тем самым обеспечивая технологический процесс в достаточном количестве ретура.

Полученную ретурную фракцию направляют в тарельчатый гранулятор в качестве заправки.

Товарную фракцию направляют при необходимости на стадию дообработки гранул антислеживателем и, далее, в бункер готового продукта.

Далее изобретение поясняется более подробно с помощью примеров.

### Примеры

Пример 1 Проведение гранулирования сульфата аммония по способу согласно изобретению.

В качестве оборудования использовали следующие основные аппараты:

вихревая мельница Pallmann тип PSKM 15-720 (500×2400×2400 мм, D=1500 мм электродвигатель N=315-500 кВт);

гранулятор тарельчатый D=8000 мм, H=600 мм, Q=50 т/ч, угол наклона=40-60°, n=2,2-6,6 об/мин, электродвигатель АИР 315 54, N=160 кВт, n=1500 об/мин;

аппарат кипящего слоя 12X18H10T; площадь пода - 9 м<sup>2</sup>;

грохот вибрационный 1, Q=75 т/ч, площадь одного уровня сит S=9 м<sup>2</sup>, 3 уровня сит, два вибромотора N=15 кВт, n=960 об/мин. Размер ячеек сит уровней: верхнего - 5,0×5,0 мм, среднего - 2,0×2,0 мм, нижних - 0,8×0,8 мм;

дробилка молотковая СМД-504;

грохот вибрационный 2, Q=75 т/ч, площадь одного уровня сит S=9 м<sup>2</sup>, 1 уровень сит, два вибромотора N=15 кВт, n=960 об/мин. Размер ячеек сит - 2,0×2,0 мм,

а также стандартное вспомогательное оборудование для транспортировки, нагрева и хранения хорошо известное специалисту в данной области.

В качестве исходного сырья для гранулирования использовали сульфат аммония (ТУ 113-03-625-90, производства АО "СДС Азот" г. Кемерово) с размером частиц от 0,5 до 6 мм.

Технологическая методика.

32,7 т/ч кристаллического сульфата аммония подают в вихревую мельницу (транспортным объемом около 11 м<sup>3</sup>), куда также поступают 5,2 т/ч мелких гранул после классификации на грохоте фракция частиц размером менее 0,8 мм.

В вихревой мельнице сульфат аммония измельчают. Первичная классификация порошка осуществляется в самой вихревой мельнице.

Из мельницы размолотый порошок поступает в газоход, в котором циркуляционным потоком воздуха, создаваемым вентилятором, транспортируется в пневмоклассификатор. В пневмоклассификаторе происходит окончательное разделение на фракцию более 0,16 мм, не пригодную для гранулирования, и фракцию менее 0,16 мм, являющуюся сырьём для тарельчатого гранулятора. Фракция более 0,16 мм (около 3 т/ч) через шлюзовой затвор ссыпается в загрузочный патрубок вихревой мельницы на повторное измельчение.

Пригодный для гранулирования порошок потоком воздуха транспортируется в батарею циклонов, где он отделяется от воздуха и собирается в бункере циклона. Из бункера порошок транспортируется шнековым конвейером в количестве 37,9 т/ч в тарельчатый гранулятор. В тарельчатый гранулятор после классификации на грохоте также подается 12,1 т/ч ретура с размером частиц от 0,8 до 2,0 мм. Грануляционная шихта орошается водой с расходом 4,4 м<sup>3</sup>/ч.

Для получения округлых и прочных гранул сульфата аммония диаметром от 2 до 5 мм применялся тарельчатый гранулятор диаметром 8,0 м, высотой борта 0,6 м, производительностью 50 т/ч по сухому веществу. Угол наклона оси вращения 48° к горизонтали. Частота вращения тарелки 5,9 об/мин.

В зоне орошения вода распыляется гидравлическими форсунками на слой мелких частиц. Для поддержания качественного процесса гранулирования сульфата аммония расход воды устанавливается так, чтобы массовая доля влаги в шихте была в пределах от 7 до 9%. Влажность шихты измеряется в непрерывном режиме датчиком микроволнового типа, погруженным в слой гранул в области их минимальной циркуляции.

Поток влажных гранул 54,4 т/ч после гранулятора поступает в сушильный аппарат кипящего слоя (КС).

Процесс сушки происходит за счёт тепла, передаваемого паром продукту через трубчатый погружной теплообменник площадью теплообмена 260 м<sup>2</sup>. В установке используется влажный пар давлением 10 атм (183°C). Расход пара в трубчатый теплообменник автоматически регулируется по температуре слоя от 120 до 140°C. Необходимый объем воздуха для поддержания скорости восходящего потока в сушильном аппарате 2,5 м/с составляет 81000 физ. м<sup>3</sup>/ч. Воздух с температурой 120-140°C после теплогенератора поступает в зону сушки аппарата КС через перфорированную подину.

Сушка гранул ведётся с таким расчётом, чтобы на выходе из сушильного аппарата получить про-

дукт с температурой 120-140°C и с массовой долей влаги не более 0,5%. Горячий продукт через вертикальный затвор поступает в нижний кипящий слой аппарата КС, где охлаждается цеховым воздухом.

Воздух из цеха подается вентилятором производительностью 60000 м<sup>3</sup>/ч в аппарат КС через перфорированную подину, охлаждает продукт до температуры 65-70°C, проходит через теплогенератор, в котором нагревается до температуры 120-140°C, и, далее, поступает в зону сушки аппарата кипящего слоя.

Классификацию гранул, выходящих из сушильного аппарата, производят на двух вибрационных грохотах. Первый грохот имеет три яруса сит. Площадь поверхности рассева каждого яруса - 9 м<sup>2</sup>. На первом грохоте гранулы рассеивают на четыре фракции:

- крупная фракция - более 5,0 мм;
- товарная фракция - от 2,0 до 5,0 мм;
- ретурная фракция - от 0,8 мм до 2,0 мм;
- мелкая фракция - менее 0,8 мм.

Мелкую фракцию с грохота 5,2 т/ч по трубам направляют на размол в вихревую мельницу.

Крупную фракцию с грохота 5 т/ч подают на дробилку, где дробят в более мелкий размер.

После дробилки молотый продукт отправляют на рассев во второй грохот, имеющий один ярус сит с площадью поверхности рассева 9 м<sup>2</sup>.

На втором грохоте дробленые гранулы рассеивают на две фракции:

- фракция с диаметром частиц более 2,0 мм;
- фракция с диаметром частиц менее 2,0 мм.

Фракцию с диаметром частиц менее 2,0 мм направляют в первый грохот для повторного отсева ретурных гранул размером от 0,8 до 2 мм. Фракцию с диаметром частиц более 2 мм после грохота возвращают в дробилку для повторного дробления. Таким образом, образуется замкнутый цикл: дробилка - грохот, с помощью которого крупные гранулы перерабатываются в ретурные гранулы, тем самым обеспечивая технологический процесс в достаточном количестве ретура.

Ретурную фракцию 12,1 т/ч направляют в тарельчатый гранулятор в качестве затравки.

Товарную фракцию 32,7 т/ч направляют на стадию дообработки гранул антислеживателем и, далее, в бункер готового продукта.

Основные показатели получения гранулированного сульфата аммония в течение 36 ч при использовании для гранулирования классифицированного порошка, содержащего 100% фракции менее 0,16 мм, приведены в табл. 1.

Как можно увидеть из табл. 1 в результате проведения способа достигается практически 100%-ная агрегация порошка исходного сульфата аммония в товарные гранулы диаметром от 2 (D<sub>1</sub>) до 5 (D<sub>2</sub>) мм в течение всего периода времени подачи сырьевых компонентов.

Таблица 1

Время от начала измерений параметров, ч	Нагрузка на мельницу по сырью <sup>1)</sup> , т/ч	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Нагрузка на тарелку по сырьевой смеси, т/ч		Гранулометрический состав продукта, %				Выход готового продукта <sup>2)</sup> , %
			Всего	в т. ч. ретур	Крупный	Товарный	Ретур	Мелкий	
					>5 мм	2+5 мм	0,8+2 мм	<0,8 мм	
0	37,4	4,7	49,7	12,3	2,6	64,8	22,7	9,9	86,1 (100) <sup>3)</sup>
2	37,6	4,5	50,0	12,5	2,4	64,6	22,5	10,5	86,0(100)
4	37,9	4,3	51,5	13,6	2,2	63,6	24,4	9,8	86,4(100)
6	37,8	4,1	52,7	14,8	2,0	62,1	26,4	9,5	86,4(100)
8	38,3	4,3	53,0	14,7	2,0	62,1	26,2	9,7	86,0(100)
10	36,4	4,8	48,3	11,8	2,5	64,8	23,0	9,7	85,9(100)
12	37,9	4,4	48,7	10,7	2,1	66,3	22,0	9,6	85,0(100)
14	37,5	4,8	48,8	11,3	2,0	65,0	22,8	10,2	84,6(100)
16	37,9	4,7	50,1	12,2	2,6	63,7	23,3	10,4	84,1(100)
18	37,5	4,4	49,7	12,2	2,4	65,0	23,0	9,6	86,1(100)
20	37,9	4,3	51,1	13,3	2,2	63,7	24,0	10,1	86,1(100)
22	38,8	4,0	49,8	11,0	1,8	66,2	22,1	9,9	85,0(100)
24	38,4	4,1	49,8	11,4	2,0	65,4	22,6	10,0	84,9(100)
26	38,3	4,3	49,2	10,9	1,6	66,0	22,2	10,2	84,8(100)
28	38,4	4,4	49,4	11,0	2,1	65,7	22,3	9,9	84,6(100)
30	38,3	4,3	49,6	11,3	2,0	65,5	22,0	10,5	84,9(100)
32	38,3	4,4	50,5	12,2	2,5	65,1	22,1	10,3	85,8(100)
34	38,2	4,4	50,6	12,4	2,1	65,3	22,4	10,2	86,4(100)
36	37,6	4,3	48,3	10,6	1,9	66,0	22,0	10,1	84,6(100)
Среднее значение	37,9	4,4	50,0	12,1	2,2	64,8	23,1	10,0	85,5(100)
Среднеквадратичное отклонение	0,51	0,22	1,31	1,24	0,28	1,24	1,32	0,31	0,75

<sup>1)</sup> Нагрузка на мельницу по сырью включает расход исходного сульфата аммония 32,7±0,5 т/ч и отсева (<0,8мм) 5,2±0,1 т/ч.

<sup>2)</sup> Выход готового продукта вычислен относительно нагрузки на мельницу.

<sup>3)</sup> Выход готового продукта на расход исходного сульфата аммония без учета технологических потерь

Пример 2 (сравнительный). Проведение гранулирования сульфата аммония без удаления части мелкой фракции.

Гранулирование проводили на том же оборудовании, что и в примере 1.

В качестве исходного сырья для гранулирования использовали сульфат аммония (марка В по ТУ 113-03-625-90, производства АО "СДС Азот" г. Кемерово) с размером частиц от 0,5 до 6 мм.

Технологическая методика.

10,0 т/ч кристаллического сульфата аммония транспортируют элеватором в приемный бункер объемом 40 м<sup>3</sup>. Из приемного бункера сульфат аммония подают на ленточный весовой дозатор и, далее, транспортируют шнековым конвейером в вихревую мельницу.

В вихревой мельнице сульфат аммония измельчают. Доля фракции более 0,16 мм в сульфате аммония на выходе составляет от 6 до 10%.

Из мельницы размолотый порошок транспортируют при помощи элеватора и ленточного конвейера в расходный бункер тарельчатого гранулятора, куда также поступают мелкие гранулы после классификации на грохоте. Смешанный продукт из расходного бункера в количестве от 11 до 20 т/ч подают шлюзовым дозатором в тарельчатый гранулятор. Также в тарельчатый гранулятор из бункера ретур в качестве затравки подают шлюзовым дозатором ретурные гранулы в количестве от 2 до 8 т/ч пропорционально расходу смешанного продукта из расходного бункера. В грануляторе смесь порошка и ретура орошают водой с расходом от 1,0 до 2,2 м<sup>3</sup>/ч.

Для получения округлых и прочных гранул сульфата аммония диаметром от 2 до 5 мм применялся тарельчатый гранулятор диаметром 8,0 м, высотой борта 0,6 м, производительностью 50 т/ч по сухому веществу. Угол наклона оси вращения 48° к горизонтالي. Частота вращения тарелки 5,9 об/мин.

В зоне орошения вода распыляется гидравлическими форсунками на слой мелких частиц. Для поддержания качественного процесса гранулирования сульфата аммония расход воды устанавливается так, чтобы массовая доля влаги в шихте была в пределах от 7 до 9%. Влажность шихты измеряется в непрерывном режиме датчиком микроволнового типа, погруженным в слой гранул в области их минимальной циркуляции.

Поток влажных гранул после гранулятора поступает в сушильный аппарат кипящего слоя (КС).

Сушка гранул ведётся с таким расчётом, чтобы на выходе из сушильного аппарата получить продукт с температурой 120-140°С и с массовой долей влаги не более 0,5%. Горячий продукт через вертикальный затвор поступает в нижний кипящий слой аппарата КС, где охлаждается цеховым воздухом.

Классификация гранул, выходящих из сушильного аппарата, производится на двух вибрационных грохотах. Первый грохот имеет три яруса сит. Площадь поверхности рассева каждого яруса 9 м<sup>2</sup>. На первом грохоте гранулы рассеиваются на четыре фракции:

- крупная фракция - более 5,0 мм;
- товарная фракция - от 2,0 до 5,0 мм;
- ретурная фракция - от 0,8 мм до 2,0 мм;
- мелкая фракция - менее 0,8 мм.

Мелкую фракцию с грохота самотеком по трубам в количестве не более 10 т/ч направляют в расходный бункер тарельчатого гранулятора, а избыток мелкой фракции 5 т/ч выводят из циркуционного контура в накопительный бункер.

Крупную фракцию с грохота 1-4 т/ч самотеком по трубам направляют на дробилку, где дробят в более мелкий размер. После дробилки молотый продукт отправляется на рассев во второй грохот, имеющего один ярус сит с площадью поверхности рассева 9 м<sup>2</sup>. На втором грохоте дробленые гранулы отсеивают на две фракции:

- фракция с диаметром частиц более 2,0 мм;
- фракция с диаметром частиц менее 2,0 мм.

Фракцию с диаметром частиц менее 2,0 мм направляют в первый грохот для повторного отсева ретурных гранул размером от 0,8 до 2 мм. Фракцию с диаметром частиц более 2 мм после грохота возвращают в дробилку для повторного дробления.

Ретурную фракцию 2-8 т/ч направляют в ретурный бункер тарельчатого гранулятора и используют в качестве затравки при гранулировании мелких частиц.

Товарную фракцию направляют на стадию дообработки гранул антислеживателем и, далее, в бункер готового продукта.

Основные показатели получения гранулированного сульфата аммония в течение 12 ч по данной методике приведены в табл. 2.

Таблица 2

Время от начала измерений параметров, ч	Расход сульфата аммония на мельницу, т/ч	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Нагрузка на тарелку по сырьевой смеси, т/ч			Гранулометрический состав продукта, %				Выход товарного продукта, %	Мелкие отсеивы в накопительный бункер, т/ч
			Всего	в т. ч. фракция		Крупный >5 мм	Товарный 2+5 мм	Ретур 0,8+2 мм	Мелкий <0,8 мм		
				0,8+2 мм (ретур)	менее 0,8 мм						
0	10,0	1,0	12,6	1,6	1,0	8,4	32,2	12,7	46,7	40,6	0,0
2	10,0	1,5	18,5	2,1	6,4	17,0	26,4	11,5	45,1	49,0	5,0
4	10,0	1,9	23,6	3,7	9,9	15,0	17,8	15,7	51,6	42,0	5,0
6	10,0	2,0	24,4	5,5	9,0	8,9	18,8	22,4	49,9	46,0	5,0
8	10,0	2,0	24,8	6,6	8,3	10,2	14,5	26,4	48,9	35,9	5,0
10	10,0	2,1	26,3	7,8	8,4	12,3	15,6	29,8	42,2	41,0	5,0
12	10,0	2,2	27,2	7,8	9,3	6,8	12,4	28,8	51,9	33,8	5,0

Среднее значение статической прочности гранул – 2,7 МПа

Таблица 3

Время от начала измерений параметров, ч	Нагрузка на мельницу по сырью <sup>1)</sup> , т/ч	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Нагрузка на тарелку по сырьевой смеси, т/ч		Гранулометрический состав продукта, %				Выход готового продукта <sup>2)</sup> , %
			Всего	в т. ч. ретур	Крупный	Товарный	Ретур	Мелкий	
					>5 мм	2÷5 мм	0,8÷2 мм	<0,8 мм	
0	32,5	3,5	36,7	4,2	0,6	86,6	11,2	1,6	97,9 <sup>3)</sup>
2	32,8	3,5	36,8	3,9	0,4	86,3	10,5	2,8	96,8
4	32,6	3,5	36,9	4,1	0,8	86,2	11,0	2,0	97,7
6	32,7	3,5	37,4	4,6	0,4	85,0	12,3	2,3	97,3
8	32,5	3,5	36,8	4,2	0,6	86,3	11,3	1,8	97,9
10	32,6	3,5	36,8	4,0	0,7	86,3	10,8	2,2	97,5
12	32,5	3,5	36,8	4,1	0,5	86,4	11,2	1,9	97,8

Среднее значение статической прочности гранул – 3,9 МПа

<sup>1)</sup> Нагрузка на мельницу по сырью включает расход исходного сульфата калия 31,8 т/ч и отсеивы (<0,8мм) 0,8 т/ч.

<sup>2)</sup> Выход готового продукта вычислен относительно нагрузки на мельницу.

<sup>3)</sup> Выход готового продукта от расхода исходного сульфата калия без учета технологических потерь – 100%.

При данных технологических условиях не удавалось повысить нагрузку на тарелку по сырьевой смеси более 27 т/ч, так как при значениях более 27 т/ч практически отсутствовала товарная фракция.

В связи с тем, что в процессе гранулирования накапливается количество мелкой фракции (менее 0,8 мм), а нагрузка на тарелку по сырьевой смеси не может быть увеличена свыше 27 т/ч, то с определенного момента времени приходится выводить часть мелкой фракции (менее 0,8 мм) в накопительный бункер. Так как объем данного бункера ограничен, процесс пришлось остановить через 12 ч.

Как можно увидеть из табл. 2, при использовании для гранулирования порошка сульфата аммония, содержащего от 6 до 10% частиц размером более 0,16 мм, и отсутствии удаления фракции от 0,16 до 0,8 мм гранулометрический состав продукта, выходящего с тарелки, отличается крайней неоднородностью. Содержание крупных гранул размером более 5 мм в среднем в 4,5 раза больше, чем в примере 1. Содержание товарной фракции 2-5 мм в среднем в 1,8 раза меньше.

В условиях автоматического поддержания влажности шихты от 7 до 9% процесс гранулирования носит случайный характер: то накатываются крупные гранулы, то с тарелки ссыпается негранулированный продукт. Выход конечного продукта также не стабилен и не превышает 50% в пересчете на расход сульфата аммония на мельницу.

Пример 3. Проведение гранулирования сульфата калия по способу согласно изобретению.

Гранулирование проводили на оборудовании и по методике, указанным в примере 1.

В качестве исходного сырья для гранулирования использовали сульфат калия кристаллический (ТУ 2184-093-43399406-2001), состоящий из частиц размером от 0,5 до 6 мм.

Для получения округлых и прочных гранул сульфата калия диаметром от 2 до 5 мм применялся тарельчатый гранулятор диаметром 8,0 м, высотой борта 0,6 м, производительностью 50 т/ч по сухому веществу. Угол наклона оси вращения 48° к горизонтали. Частота вращения тарелки 5,9 об/мин. Грануляционную шихту орошали водой с расходом 3,5 м<sup>3</sup>/ч.

Полученный гранулят рассеивали на четыре фракции:

- крупная фракция - более 5,0 мм;
- товарная фракция - от 2,0 до 5,0 мм;
- ретурная фракция - от 0,8 мм до 2,0 мм;
- мелкая фракция - менее 0,8 мм.

Основные показатели и результаты получения гранулированного сульфата калия приведены в табл. 3.

Пример 4. Проведение гранулирования карбамида по способу согласно изобретению.

Гранулирование проводили на оборудовании и по методике, указанным в примере 1.

В качестве исходного сырья для гранулирования использовали карбамид кристаллический (марка А по ГОСТ 2081-2010), состоящий из частиц размером от 0,5 до 2 мм и карбамидоформальдегидный концентрат (КФК-85 по ТУ 2223-009-00206492-07).

Для получения округлых и прочных гранул карбамида диаметром от 6 до 8 мм применялся тарельчатый гранулятор диаметром 8,0 м, высотой борта 0,6 м, производительностью 50 т/ч по сухому веществу. Угол наклона оси вращения 40° к горизонтали. Частота вращения тарелки 3,5 об/мин. Грануляционную шихту орошали грануляционным раствором 3,4-4,0 т/ч, содержащим 45-50% карбамида и 4,0-4,4% КФК-85.

Для проведения сушки в аппарате кипящего слоя использовали воздух с температурой 90-100°С.

Полученный гранулят рассеивали на четыре фракции:

- крупная фракция - более 8,0 мм;
- товарная фракция - от 6,0 до 8,0 мм;
- ретурная фракция - от 1,6 мм до 6,0 мм;
- мелкая фракция - менее 1,6 мм.

Основные показатели и результаты получения гранулированного карбамида приведены в табл. 4.

Таблица 4

Время от начала измерений параметров, ч	Нагрузка сырья на мельницу, т/ч		Расход грануляционного раствора, т/ч			Нагрузка на тарелку по сырьевой смеси, т/ч		Гранулометрический состав продукта, %				Выход готового продукта, %
	Всего	в т. ч. фракция <1,6 мм	Всего	В том числе		Всего	в т. ч. фракция 1,6+6 мм (ретур)	Крупный >8 мм	Товарный 6+8 мм	Ретур 1,6+6 мм	Мелкий <1,6 мм	
				Карбамид	КФК-85							
0	17,4	2,1	3,5	1,6	0,2	21,3	3,9	1,6	73,3	16,7	8,3	88,1
2	17,6	2,3	3,6	1,7	0,2	21,5	3,9	1,5	72,9	16,6	9,0	87,4
4	17,9	2,2	3,7	1,7	0,2	22,4	4,5	1,4	71,4	18,6	8,6	87,8
6	17,8	2,6	3,8	1,8	0,2	22,7	4,9	1,2	68,7	20,0	10,0	85,9
8	18,3	2,3	3,8	1,8	0,2	23,2	4,9	1,2	70,9	19,4	8,5	87,9
10	16,4	2,3	3,4	1,6	0,2	20,5	4,1	1,6	70,6	18,3	9,6	86,4
12	17,9	2,4	3,8	1,8	0,2	22,7	4,8	1,3	70,2	19,3	9,2	87,0
14	17,5	2,3	3,7	1,7	0,2	22,3	4,8	1,2	70,0	19,8	9,0	87,2
16	17,9	2,2	3,6	1,7	0,2	21,9	4,0	1,6	73,0	16,8	8,6	87,7
18	17,5	2,5	3,6	1,7	0,2	21,9	4,4	1,5	70,3	18,4	9,8	86,2
20	17,9	2,6	3,8	1,7	0,2	22,6	4,7	1,4	69,3	19,2	10,1	85,8
22	18,8	2,1	4,0	1,9	0,2	24,0	5,2	1,1	71,4	19,8	7,6	89,1
24	18,4	2,3	3,9	1,8	0,2	23,3	4,9	1,2	70,5	19,5	8,8	87,5
26	18,3	2,2	3,9	1,8	0,2	23,8	5,5	1,0	69,5	21,2	8,3	88,2
28	18,4	2,1	3,8	1,8	0,2	23,1	4,7	1,3	72,1	18,6	8,0	88,6
30	18,3	2,3	3,9	1,8	0,2	23,2	4,9	1,2	70,5	19,5	8,8	87,5
32	18,3	2,7	3,8	1,8	0,2	22,8	4,5	1,6	70,1	18,0	10,3	85,5
34	18,2	2,1	3,8	1,8	0,2	22,8	4,6	1,3	72,1	18,7	7,9	88,7
36	18,6	2,3	3,9	1,8	0,2	23,7	5,1	1,2	70,4	19,8	8,6	87,8

Среднее значение статической прочности гранул – 3,1 МПа  
<sup>1)</sup> Выход готового продукта вычислен относительно нагрузки на мельницу.  
<sup>2)</sup> Выход готового продукта от общего расхода карбамида (без учета КФК-85) без учета технологических потерь – 100%.

Представленные в примерах 3, 4 результаты показывают, что способ согласно изобретению может быть реализован для широкого спектра различных водорастворимых твердых веществ и с получением разного гранулометрического состава с сохранением стабильности процесса.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ непрерывного гранулирования водорастворимых твердых веществ, который включает стадии:

- подача исходного сырья и заправки на тарелку гранулирования;
  - проведение гранулирования водорастворимых твердых веществ в условиях смачивания водной фазой;
  - выведение с тарелки гранулирования продукта гранулирования;
  - сушка продукта гранулирования со стадии с);
  - разделение высушенного продукта гранулирования со стадии d) на фракции;
  - выведение товарной фракции из процесса;
- отличающийся тем, что на стадии e) высушенный продукт гранулирования со стадии d) разделяют на четыре фракции:

товарную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $D_1$  до  $D_2$ ;

крупную фракцию, имеющую диаметр гранул  $>D_2$ ;

ретурную фракцию, имеющую диаметр гранул в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$ ;

мелкую фракцию, имеющую диаметр гранул  $< \frac{D_1+D_2}{9}$ ,

причем ретурную фракцию направляют на стадию подачи исходного сырья а) в качестве заправки,  $\frac{D_1+D_2}{9}$

крупную фракцию направляют на размол до диаметра частиц в диапазоне от  $\frac{D_1+D_2}{9}$  до  $D_1$  и после возвращают в процесс на стадию подачи исходного сырья а), мелкую фракцию направляют на размол до полного отсутствия гранул, размер которых превышает размер исходного сырья, и также возвращают на стадию подачи исходного сырья а), причем диаметр частиц исходного сырья составляет  $< \frac{D_1+D_2}{44}$ .

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что включает дополнительную стадию размельчения и классификации исходного сырья перед подачей на тарелку гранулятора.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что размельчение и классификацию исходного сырья проводят вместе с возвращаемой мелкой фракцией и полученное на выходе объединенное сырье подают на следующую стадию способа.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что водорастворимыми твердыми веществами являются минеральные соли.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что водорастворимыми твердыми веществами являются нитраты, сульфаты или хлориды натрия, калия или аммония.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что водорастворимым твердым веществом является сульфат аммония.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что водорастворимыми твердыми веществами являются минеральные удобрения, в частности смеси минеральных удобрений.

8. Способ по одному из пп.1-7, отличающийся тем, что диапазон товарной фракции  $D_1-D_2$  соответствует условию, что  $0,5 \text{ мм} \leq \frac{D_1+D_2}{2} \leq 11 \text{ мм}$ , причем  $D_1 \geq 0,2 \text{ мм}$ .

