

УДК 661.152.3.099.2 (476)(06)

Н.А. ВЫСОЦКАЯ

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ГРАНУЛИРОВАНИИ МЕТОДОМ ОКАТЫВАНИЯ В БАРАБАННОМ ГРАНУЛЯТОРЕ

В работе отмечено, что сила капиллярного сцепления в объеме увлажненного сыпучего материала тем ниже, чем из более крупных зерен он состоит; предельный размер образующихся комков прямо пропорционален величине капли и обратно пропорционален пористости слоя материала; чем больше поверхностное натяжение жидкости и мельче частицы, тем плотнее агломерат. Установлено, что с уменьшением содержания влаги физико-механические свойства агломератов улучшаются. Аналитически доказано, что с повышением температуры при окатывании образуются более плотные гранулы, а также что снижение содержания влаги в шихте приводит к увеличению производительности всей технологической линии. Проиллюстрированы и описаны кривые поглощения влаги гранулами двойного суперфосфата с прочностью 2–4 МПа и различной влажностью.

Ключевые слова: температура, влажность, гранулирование, окатывание, минеральные удобрения, жидкость

Введение. Во многих отраслях промышленности, в том числе в сельском хозяйстве, широкое применение получили гранулированные материалы [1, 2]. Высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур часто возможны лишь при создании оптимальной системы питания растений и, прежде всего, за счет применения удобрений [3]. В настоящее время в химической промышленности получили широкое распространение процессы гранулирования тонкодисперсных порошков. При этом в качестве связующих используют различные вещества, отличающиеся своей природой и свойствами [4–6].

Гранулирование — совокупность физико-химических и физико-механических процессов, обеспечивающих получение частиц определенной формы, размеров и прочности и сопровождающихся уплотнением структуры вещества [7].

К конструктивным параметрам барабана-гранулятора относятся: диаметр барабана-гранулятора, длина обечайки, высота борта, угол. К динамическим характеристикам процесса окатывания относятся: коэффициент заполнения и скорость вращения аппарата, время пребывания в нем материала, определяющие скорость и число соударений гранул.

Влияние влажности на процесс гранулирования.

При гранулировании связующими выступают различные жидкости, способствующие сцеплению частиц. Чаще всего используют воду.

Неотъемлемой частью процесса гранулообразования является наличие жидкой фазы. Изменение ее содержания сильно влияет на процесс гранулирования. С увеличением количества связующего уменьшаются динамические нагрузки и время окатывания, возрастают прочность и плотность гранул. Содержание жидкой фазы изменяется в зависимости от фракционного состава исходного сырья [8, 9].

На равномерность увлажнения влияет метод распыливания жидкости. В результате грубого диспергирования образуются крупные капли, вокруг которых возникают комки. При хорошем перемешивании и мелкодисперсном распылении жидкости происходит хорошая гомогенизация шихты, это обеспечивает узкий гранулометрический состав продукта. На начальной стадии увлажняют крупными каплями. Жидкая фаза образуется внутри системы в виде плава или раствора.

Крупные частицы поступают на гранулирование вместе с ретуром, прошедшим обкатку и сушку и отсеянным от продукта. Скорость капиллярного всасывания определяется такими свойствами жидкости, как вязкость, плотность, поверхностное натяжение, а также свойствами материала — радиусом капилляров, природой вещества, состоянием его поверхности [10].

Технология образования зародыша и формирования гранулы при подаче жидкости в гранулятор имеет следующий вид: капля воды попадает в слой материала, под действием капиллярных сил начинает распространяться во все стороны, заполняя при этом поры между отдельными частицами. Вода перестает распространяться в сыпучем материале, как только комок достигает предельной капиллярной влагоемкости. Это время измеряется несколькими секундами. Для увлажнения частиц ретура требуется намного больше времени.

Кривые поглощения влаги гранулами двойного суперфосфата диаметром 2–4 мм, помещенными в слой шихты различной влажности W с размером частиц 0,1–0,3 мм, представлены на рисунке [6].

В начальный период времени τ влага поглощается гранулами наиболее интенсивно.

В начальный момент времени τ влага поглощается поверхностным слоем гранул под действием капиллярных сил. По мере насыщения этого слоя влага просачивается внутрь гранулы. Далее поглощение влаги резко замедляется и ограничивается растворением воздуха в жидкой фазе. Чем выше влагосодержание порошка, тем более интенсивно насыщается поверхностный слой гранул и тем скорее наступает переход от одного характера влагопоглощения к другому [11].

Чем мельче частицы и больше поверхностное натяжение жидкости, тем плотнее агломерат. При увлажнении порошка двойного суперфосфата пористость агломерата, образованного вокруг капли, такая же, как и гранулы. Далее агломерат уплотняется окатыванием.

Уплотнение частиц методом окатывания происходит при ударе о стенку гранулятора или о неподвижный слой материала. Должен существовать минимальный размер влажного комка, при котором он обладает достаточной кинетической энергией во время ссыпания.

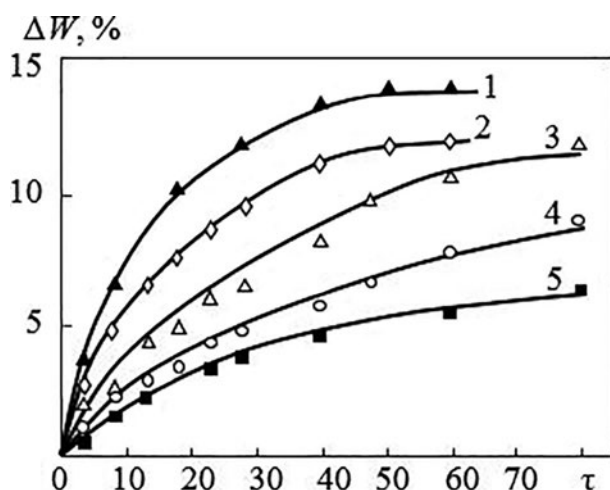


Рисунок — Кривые поглощения влаги гранулами двойного суперфосфата с различной прочностью: 1 — прочность гранул 2 МПа, $W = 21,2\%$; 2 — прочность 2 МПа, $W = 18,5\%$; 3 — прочность 2 МПа, $W = 15,5\%$; 4 — прочность 3 МПа, $W = 15,5\%$; 5 — прочность 4 МПа, $W = 15,5\%$

Комки в результате неоднократных ссыпаний и ударов уплотняются, отдельные частицы, перемещаясь, укладываются более плотно. При этом избыточная влага вытесняется на поверхность комка, в результате чего становится возможным дальнейшее присоединение к комку сухих частиц. По мере приближения частиц друг к другу толщина пленок связанной воды уменьшается, а прочность сцепления становится больше.

При работе гранулятора внутри комка формируется определенная минимальная толщина водных пленок, равная величине динамических нагрузок. При достижении этой толщины дальнейшее выделение воды на поверхность комка прекращается, гранула прекращает расти.

Наличие в шихте сухих плотных частиц ретура приводит к тому, что влага не только всасывается во внутрь, но и выдавливается на поверхность. Для дальнейшего увеличения размера гранул окатыванием на поверхность следует вводить дополнительное количество жидкости извне. При большом содержании ретура в шихте и однократном увлажнении на его поверхности создается временный избыток жидкой фазы, в результате чего происходит рост гранул. Далее частицы ретура продолжают впитывать в себя жидкость. По истечении определенного времени на поверхности частиц ретура жидкости уже не хватает, и агломераты разрушаются [11].

Однократное введение требуемого количества жидкости приводит к чрезмерному увеличению влажности шихты и образованию крупных агломератов. Для получения гранул требуемого размера шихту необходимо увлажнять постепенно. Для поддержания на поверхности гранул оптимальной влажности следует производить увлажнение шихты весь период окатывания.

Структура гранулы уплотняется постепенно под действием большого числа ударов различного направления, в результате чего взаимное перемещение частиц происходит только на тех участках, где в данный момент сила сцепления имеет наименьшее значение. Напряжения в комке не должны быть разрушающими.

Поверхность частиц имеет немаловажное значение в процессе гранулирования. При измельчении поверхность имеет неупорядоченное расположение молекул, она является аморфной и активной по отношению к ад-

гезии. В процессе длительного хранения, сушки, а также в присутствии примесей поверхностная активность снижается. Размер гранул зависит от равномерного распределения связующего. Неравномерность гранулометрического состава приводит к переувлажнению шихты и образованию крупных комков и гранул.

С увеличением скорости скатывания размер гранул вначале растет, когда скорость превысит допустимую для данного размера гранул, происходит их измельчение.

Размер гранул зависит от химического состава связующего и материала, гранулометрического состава шихты, температуры, количественного соотношения компонентов [13].

Влияние температуры. На растворимость и содержание плава влияет температура, поэтому чем ниже температура, тем больше требуется вводить жидкой фазы.

Температура и влажность взаимосвязаны: с уменьшением температуры аммофоса от 85 до 50 °С оптимальная влажность увеличивается с 4 до 10,5 %.

Увеличение доли жидкой фазы, образуемой внутри системы, приводит к увеличению выхода товарной фракции.

С повышением температуры изменяется поверхностное натяжение, вязкость и количество жидкой фазы. С увеличением вязкости текучесть жидкости уменьшается, ее удельный расход на смачивание поверхности для получения гранул заданного размера уменьшается.

С повышением температуры при окатывании образуются более плотные гранулы. Так, при увеличении температуры с 40 до 70 °С прочность гранул суперфосфата при влажности 3,5 % увеличивается с 1,0 до 2,0 МПа, а прочность гранул аммофоса влажностью 0,8 % возрастает с 3,5 до 6,0 МПа.

Увеличение температуры при гранулировании позволяет снизить содержание влаги в шихте, поступающей на сушку, а также получить более прочные гранулы. Снижение содержания влаги в шихте, подающейся на сушку, приводит к увеличению производительности всей технологической линии без изменения влагообъема в сушильном барабане.

Сложные минеральные удобрения гранулируют при 75–110 °С, выше — наблюдаются значительные потери аммиака.

Представляет интерес способ нагрева шихты. Наиболее эффективный нагрев наблюдается на стадии окатывания, поскольку на стадии увлажнения жидкая фаза присутствует в основном на поверхности частиц, и повышение температуры приводит к образованию комков. При дальнейшем окатывании полученных гранул влага частично уходит с поверхности частиц, а ее недостаток компенсируется нагревом [13].

При гранулировании происходит нагрев самой шихты либо стенки гранулятора. При получении аммофоса требуемая температура гранулирования достигается поддержанием максимально возможных температур пульпы, ретура и порошкообразного аммофоса из распылительных сушилок. Температура пульпы при этом достигает 100 °С, а порошкообразного аммофоса из распылительных сушилок — 90 °С. В промышленных условиях поддерживать такие условия трудно, поэтому температуру допустимо понижать до 80–85 °С.

Смешиваемый с гранулируемым материалом пар конденсируется, нагревает шихту и одновременно увлажняет ее. Введение дополнительного количества влаги с паром целесообразно в том случае, если вода является связующим по технологии. При гранулировании супер-

фосфата шихту в грануляторе увлажняют водой до влажности 16–18 %. Температура гранулирования составляет 20–40 °С. Ввод в гранулятор пара позволяет уменьшить расход воды на увлажнение, снизить оптимальную влажность шихты до 11–13 %, а температуру увеличить до 60–70 °С. В результате повышается производительность технологической линии на 15–20 % и увеличивается прочность гранул.

В производстве минеральных удобрений используют реакцию аммонизации кислых солей и кислот. В результате этой реакции не только увеличивается температура, но и изменяется химический состав материала шихты, как следствие, — изменяются условия гранулирования.

Технология получения аммофоса заключается в сушке части пульпы в распылительной сушилке, увлажнении полученного порошка другой частью пульпы и окатывании этой смеси в барабане, при этом аммофос налипают на стенки и пересушивается, порошок выходит повышенной крупности с большим количеством комков. Это затрудняет эксплуатацию распылительных сушилок, так как необходимо отделять и измельчать образовавшиеся комки.

Чем больше ретур и чем он крупнее, тем меньше поверхность частиц и выше ее влагосодержание в начальный момент времени. Влияние количества ретура и размера частиц на диаметр гранул особенно заметно при больших влагосодержаниях шихты, так как любое изменение влагосодержания приводит к значительному изменению диаметра. Изменяя количество ретура и размер частиц можно получить продукт с определенным размером гранул при различном влагосодержании исходного материала (шихты). Чем меньше диаметр частиц ретура, тем больше должно быть его количество при средней влажности шихты.

В технике гранулирования минеральных удобрений наиболее благоприятен режим, при котором средний размер гранул изменяется только в начальный момент, а затем при окатывании и уплотнении гранул он изменяется незначительно. При гранулировании двойного суперфосфата в промышленных условиях средний размер гранул формируется в первые 2–3 мин, затем его рост резко замедляется, в то же время происходит измельчение крупных гранул и рост мелких. Необходимое для окатывания время определяется только динамическими усилиями, воздействующими на гранулу, и требуемой их плотностью. Средний диаметр гранул продукта определяется технологическими параметрами процесса. В начальный момент времени диаметр гранул растет с малой скоростью, затем — быстрее и при влагосодержании, близком к массовому слипанию в комки, незначительное увеличение содержания жидкости приводит к резкому увеличению диаметра.

Вывод. Существенным и основным недостатком гранулирования методом окатывания является большая

чувствительность к содержанию жидкости в материале. Для того чтобы процесс гранулирования протекал успешно, необходимо для каждого конкретного вещества экспериментально подбирать режим.

Проблему улучшения качества минеральных удобрений следует решать в первую очередь за счет оптимизации технологического процесса.

Список литературы

1. Прушак, В.Я. Разработка новых технических решений по увеличению выпуска гранулированного хлорида калия с применением валковых прессов, изготовляемых в ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» / В.Я. Прушак, Н.Ю. Кондратчик, Н.А. Высоцкая / Тр. БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. — 2020. — № 1(229). — С. 62–67.
2. Высоцкая, Н.А. Особенности получения НРК-удобрений методом окатывания / Н.А. Высоцкая, В.С. Францкевич // Горная механика и машиностроение. — 2020. — № 4. — С. 79–85.
3. Леонов, Ф.Н. Эффективность минеральных удобрений в зависимости от обеспеченности подвижными фосфатами дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Ф.Н. Леонов, Т.Г. Синевич // Почвоведение и агрохимия. — 2017. — № 1(58). — С. 109–116.
4. Кузьминых, К.Г. Формирование гранулометрического состава хлорида калия в результате температурно-циклонной обработки пылевидных фракций / К.Г. Кузьминых, В.З. Пойлов // Химическая промышленность сегодня. — 2015. — № 5. — С. 7–15.
5. Высоцкая, Н.А. Влияние влагосодержания шихты на качественные характеристики гранул комплексных удобрений / Н.А. Высоцкая, В.С. Францкевич // Химическая технология и техника: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-препод. состава, научн. сотрудников и аспирантов, Минск, 1–13 февр. 2021 г. / БГТУ. — Минск, 2021. — С. 70–72.
6. Высоцкая, Н.А. Влагосодержание шихты комплексных удобрений / Высоцкая Н.А., Францкевич В.С. // Горная механика и машиностроение. — 2021. — № 1. — С. 63–70.
7. Иванов, А.А. Физико-химические основы технологии электронных средств: учеб. пособие / А.А. Иванов, Ю.В. Ряполова. — Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2017. — С. 46.
8. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 2 / под ред. Г.М. Островского. — СПб.: Проффессионал, 2006. — 916 с.
9. Малинская, В.П. Коллоидная химия в вопросах и ответах: учеб. пособие / В.П. Малинская, Р.М. Атметханов. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. — 156 с.
10. Зуев, А.Л. Экспериментальное исследование особенностей концентрационно-капиллярной конвекции / А.Л. Зуев, К.Г. Костарев // Этюды о механике: сб. ст. / РИО УрО РАН: отв. ред. В.П. Матвеевко. — Екатеринбург, 2017. — С. 23–33.
11. Беспалова, Ж.И. Поверхностные явления: учеб. пособие / Ж.И. Беспалова, Н.В. Смирнова, И.А. Пятерко. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. — 83 с.
12. Замышляева, О.Г. Вопросы и задачи по курсу «Коллоидная химия»: электронное учеб. пособие / О.Г. Замышляева. — Нижний Новгород, 2010. — 47 с.
13. Броунштейн, Б.И. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах / Б.И. Броунштейн, В.В. Щеголев; под ред. Ю.К. Кузнецова. — Л.: Химия, 1988. — 336 с.

Vysotskaya N.A.

Influence of different factors on the characteristics of granules of complex fertilizers when granulating by rolling in a drum granulator

It is noted in the work that the lower the force of capillary cohesion in the volume of a moistened bulk material is, the larger the grains it consists of; the limiting size of the resulting lumps is directly proportional to the size of the drop and inversely proportional to the porosity of the material layer; the greater the surface tension of the liquid and the finer the particles are, the denser the agglomerate is. It was found that with a decrease in moisture content, the physical and mechanical properties of agglomerates improve. It has been analytically proven that with an increase in temperature during pelletizing, denser granules are formed, and a decrease in the moisture content in the charge leads to an increase in the productivity of the entire technological line. The curves of moisture absorption by granules of double superphosphate with a strength of 2–4 MPa and different humidity are illustrated and described.

Поступила в редакцию 04.08.2021.