

А.М.Попов, Л.Н.Берязева, А.Л.Майтаков

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГРАНУЛООБРАЗОВАНИЯ В ТАРЕЛЬЧАТЫХ ГРАНУЛЯТОРАХ

Предложен метод оптимизации процесса гранулообразования за счет введения в рабочую зону тарельчатого гранулятора устройства специальной конфигурации – «активатора». Введение активатора позволило сделать процесс образования гранул управляемым по производительности и качеству готового продукта при сокращении энергетических затрат.

Оптимизация, гранулятор, гранулообразование, активатор, качество продукта

Анализ процессов получения гранулированных продуктов питания показывает, что скорость гранулирования сдерживается явлениями агрегации частиц – источников зародышеобразования. Это случайный процесс, зависящий от влажности дисперсной смеси, физико-химических свойств жидкой и твердой фаз, режимно - конструктивных параметров гранулятора и др. В то же время имеются работы, показывающие, что процесс зародышеобразования можно интенсифицировать, например, за счет вибраций.

Анализ физико-химических процессов агрегирования, а также исследование явлений коалесценции и влагопереноса поровой жидкости из более плотной сердцевины в менее плотные периферийные участки гранулы показал необходимость интенсификации процесса за счёт введения дополнительных устройств, обеспечивающих механическое воздействие, например, циклических ударов вращающихся лопастей.

Логично, при этом предположение о том, что, воздействуя аналогичным образом на гранулы в различных зонах на тарели гранулятора, можно управлять процессом коагуляционного структурирования гранулы на всех этапах. Изучение методов стабилизации гранулообразования показало, что для этих целей для влажных гранул подходит механическое воздействие. Подбирая различные формы лопастей, угловые скорости, диаметр описанной окружности можно регулировать скорость и силу удара. Учитывая, что прочность структуры гранулы неоднородна и к периферии уменьшается, за счет изменения силы удара геометрические размеры гранул и их плотность можно регулировать, стабилизируя этим весь процесс структурирования. При этом отколовшиеся мелкие частицы – осколки смещаются к центру тарели и вновь вовлекаются в движение, что способствует интенсификации процесса за счет возрастания количества агрегированных зародышей.

Учитывая изложенное, нами была произведена доработка тарельчатого гранулятора путем введения дополнительного устройства, представляющего вал с лопастями специальной конфигурации. Устройство получило условное название «активатор» (рис.1).

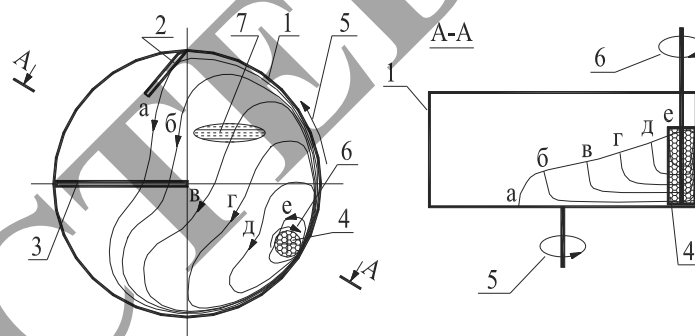


Рис.1. Схема тарельчатого гранулятора с активатором с указанием условных траекторий движения гранул и зоной захвата активатора: 1 – тарель; 2 – отбойный нож; 3 – донный нож; 4 – зона захвата активатора; 5 – направление вращения тарели; 6 – направление вращения активатора гранул по мере их роста; 7 – зона распыления жидкости: а – траектория (условная) движения исходного материала; б, в, г, д – траектории движения гранул по мере их роста; е – траектория движения самых крупных гранул

Как известно, тарельчатый гранулятор имеет характерную особенность – сегрегацию гранулята по крупности на вращающейся тарели. Поэтому, активатор был размещен в зоне, где сосредотачиваются наиболее крупные гранулы и слипшиеся агрегаты. Ударное воздействие лопастей активатора, с одной стороны, приводит к разрушению крупных гранул и агломератов, а с другой стороны, инициирует гранулообразование в исходном материале. Нами были спланированы и проведены исследования по определению размера рабочего органа активатора. При этом предполагалось, что оптимальное отношение диаметра активатора к диаметру тарели опытного образца находилось в диапазоне 1:8–1:18 (в зависимости от свойств исходного материала), так как:

- при таком отношении не происходит нарушения режима переката материала и связанного с этим процесса сегрегации гранул;
- увеличение диаметра рабочего органа приводит к значительному возрастанию потребления мощности приводом активатора;
- при ином соотношении возникают определенные трудности, связанные с конструкцией лопастей активатора.

Привод активатора регулировался как по частоте, так и по направлению вращения, что позволило активно влиять на процесс гранулирования. На рис. 1 схематично приведены вид сверху и в сечении А–А тарельчатого гранулятора с активатором с указанием условных траекторий движения гранул и зоной захвата активатора.

Активатор установлен на расстоянии 5–10 мм относительно дна и борта тарели 1 и в зоне между 3–5 часами при условном вращении тарели против часовой стрелки. На рисунке 4.4 отмечены также траектории: а – траектория (условная) движения дисперсной смеси; д – траектории движения гранул по мере их роста; е – траектория движения самых крупных гранул, ж – зона захвата активатора. В результате действия на гранулы, находящиеся на наклонной вращающейся тарели 1, силы тяжести, центробежной силы и силы трения, они получают сложное движение (линии а, б, в, г, д) вокруг зоны движения самых крупных гранул, расположенной внутри условной зоны ограниченной линией е.

Активно перекатывающиеся за счет естественного соскальзывания гранулы подвергаются напылению жидкой фазой, через форсунки гранулятора. Кроме того, прилипшие к дну и боковым поверхностям тарели гранулы счищаются донным ножом 3 и пристенным ножом 2, скользящими, соответственно, по дну и боковой поверхности тарели навстречу ее движению. По мере роста крупные гранулы попадают в зону захвата активатора, где подвергаются воздействию активатора, который вращается с частотой n . Проведенные исследования показали следующие преимущества данной конструкции:

1. Активное воздействие на материал приводит к повышению однородности гранулята как по размеру, так и по составу гранул (для полидисперсных смесей);
2. Время гранулирования в тарельчатом грануляторе при наличии активатора снижается в 3–5 раз, при прочих равных условиях;
3. Выход гранул класса 2–3 мм возрастает до (85...90)%;
4. Удаётся осуществить гранулирование ряда смесей и материалов, гранулирование которых ранее не представлялось возможным.

Перемешивающее воздействие активатора было исследовано при помощи введения в гранулируемые смеси индикаторных веществ – веществ, имеющих дисперсность соизмеримую с дисперсностью остальных компонентов и легко подвергаемых обнаружению и идентификации в гранулах. В качестве индикаторных веществ, в частности, применялась сажа газовая.

Однородность состава готовых гранул позволяет говорить о высоком смесительном эффекте при гранулировании с применением активатора. В ряде случаев это позволит совместить процессы перемешивания и гранулирования в одном аппарате. Исследуемый аппарат можно даже характеризовать как смеситель – гранулятор. Наибольшая значимость смесительного эффекта состоит в том, что он осуществляется именно на том этапе, когда происходит фиксация состава смеси. В случае, когда

процессы приготовления смеси и процессы гранулирования разнесены по различным аппаратам, обязателен этап транспортирования готовой смеси от смесителя к гранулятору, а в случае периодического ведения процесса добавляется и этап промежуточного складирования. Складирование, а особенно транспортирование могут привести к сегрегации компонентов смеси, что особенно имеет место в сложных смесях, состоящих из компонентов, существенно отличающихся по плотности или смазываемостью поверхностей.

Снижение времени гранулирования особенно заметно для гранулируемых смесей и веществ, имеющих низкий насыпной вес и (или) состоящих из компонентов, имеющих низкое сродство (такие смеси, как правило, склонны к сегрегации). Вероятнее всего, это объясняется тем, что дополнительное динамическое воздействие активатора способствует более быстрому и активному контакту дисперсных частиц друг с другом. Как известно из теории и практики гранулирования, в начальный момент окатывания гранулируемый материал склонен образовывать большие бесформенные или близкие к сферической форме агломераты, которые имеют рыхлую структуру и в зависимости от динамических нагрузок, действующих на них в грануляторе, либо уплотняются, либо разрушаются. Так, в сывороткосодержащих смесях исследуемых завтраков из-за большого содержания клейких веществ преобладает механизм быстрого образования больших комков, которые за короткое время приобретают прочность, достаточную для того, чтобы выдерживать любые динамические воздействия. Наличие активатора вносит дополнительные ударно-динамические нагрузки. Кроме того, эти нагрузки действуют на комок достаточно острой кромкой лопасти активатора (рис. 2).

Рассматривая воздействие активатора на гранулу необходимо сделать ряд упрощающих допущений:

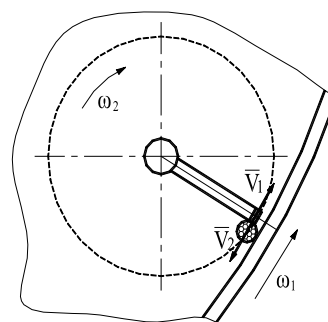


Рис. 2 Схема к расчету воздействия активатора на гранулу

1. Удар активатора и гранулы – абсолютно упругий.
2. Удар встречно – лобовой.
3. Скорость удара для данной гранулы является критической, т.е. такой, которая вызывает разрушение гранулы.
4. Гранула разрушается на два одинаковых по размеру и массе куска.

5. Скорость движения гранулы до удара и скорость движения кусков расколовшейся гранулы равна скорости движения основной массы материала в тарели.

Работа, совершаемая при встрече активатора с гранулой, в общем случае описывается уравнением [1]:

$$A = \frac{mV^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} + A_{разр.}, \quad (1)$$

где m – масса гранулы, кг; $V=V_1+V_2$ – критическая скорость удара гранулы о лопасть активатора, м/с; $A_{разр.}$ – работа разрушения, Дж. $V_1=\pi Dn_1$ – линейная скорость движения гранулы в тарели, м/с; $V_2=\pi dn_2$ – линейная скорость лопасти активатора в месте встречи с гранулой, м/с; D – диаметр тарели, м; n_1 – частота вращения тарели, с⁻¹; d – диаметр описываемый лопастями активатора, м; n_2 – частота вращения активатора, с⁻¹.

В результате исследований установлено, что оптимальное соотношение диаметра активатора и диаметра тарели лабораторного гранулятора составляет 1:10, т.е. $d/D = 0,1$.

Проведя необходимые подстановки и решив уравнение (1) относительно работы разрушения, получим выражение:

$$A_{разр.} = \frac{m\pi^2}{2} \cdot \frac{D^2}{10} \cdot \left(\frac{n_2^2}{10} + 2n_1n_2 \right) \quad (2)$$

Поскольку диаметр и плотность гранулы – величины постоянные, то работа разрушения гранулы, таким образом, зависит в первую очередь от скоростей вращения тарели и активатора. Так как скорость вращения тарели, определяющая движение гранулируемой массы, изменяется лишь в определенном интервале, то основным параметром, определяющим величину работы разрушения, является частота вращения активатора.

Опуская промежуточные расчёты, нами было установлено, что работа разрушения активатора примерно в 500 раз превосходит возможную работу разрушения в тарельчатом грануляторе без актива-

тора.

На самом деле, вероятность соблюдения принятых при выводе зависимостей допущений 2 и 4 на практике невысока. Такая вероятность прямо пропорциональна размеру гранул. Существенно на разрушение гранул влияет площадь контакта лопасти активатора и гранулы.

Таким образом, наличие активатора и развиваемых им ударно-динамических нагрузок оказывается вполне достаточным, чтобы вызвать разрушение агломератов и препятствовать их дальнейшему образованию. Этим объясняется аномально большой для тарельчатых грануляторов выход гранул мелких размеров (менее 3 мм), а так же нехарактерный гранулометрический состав содержимого гранулятора.

Быстро вращающийся (до 2000 об./мин) активатор вызывает разбрасывание находящегося в тарели материала (рис. 3), что приводит к ряду очень интересных для эффективности гранулирования последствий.

В тарели появляется новый поток движения материала (рис. 3 - а), причем направление потока, инициированного активатором, является встречно-боковым к основному потоку материала, что приводит к «касательно-лобовым» соударениям гранул и к их дополнительному уплотнению. Общая траектория скатывания с верхней части тарели материала как бы растягивается вдоль дна тарели (рис. 3 - а), то есть, увеличивается коэффициент использования дна тарели, и как следствие становится возможным увеличить загрузку гранулятора. Становится возможным также увеличить скорость вращения тарели до величин, являющихся за пределами для данного материала и гранулятора с данным диаметром тарели, а так же увеличить угол наклона тарели без нарушения режима переката. Увеличение скорости вращения и угла наклона приводит к дополнительным динамическим нагрузкам и способствует образованию мелких и плотных гранул.

В ряде случаев можно снизить разрушающее воздействие активатора, реверсировав вращение активатора, т.е. организовав вращение активатора в

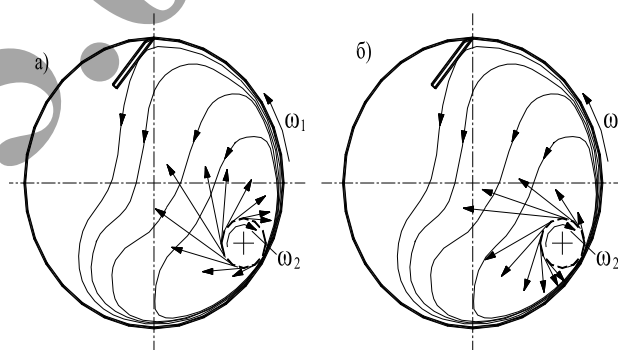


Рис. 3 Траектория движения материала:

а – при встречных вращениях тарели и активатора;

б – при попутных вращениях тарели и активатора нехарактерный гранулометрический состав содержимого гранулятора

том же направлении, что и тарель (рис. 3 - б). Эффект разбрасывания и его положительные стороны при этом сохраняются, кроме создания встречного потока материала. Данный режим условно можно назвать «щадящим».

Производственные испытания позволили установить, что обобщенный показатель качества быст-

рорастворимых гранулированных завтраков в 4 – 4,5 раза выше, чем при работе без активатора. Это значит, что созданный процесс в меньшей степени реагирует на колебания входных параметров, чем его прототип, т.е. он более устойчив к колебаниям внешних факторов.

Список литературы

1. Попов А.М. Физико-химические основы технологий полидисперсных гранулированных продуктов питания. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2002. – 324 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

SUMMARY

A.M.Popov, L.N.Beryazeva, A.L.Maytakov

Optimization of the process of granule formation in the dish granulator

The intensification method of the process of granule formation by means of introducing “the activator”, a device of special configuration, into the working area of the dish granulator is suggested here. The activator introduction allows to make the process of granule formation controlled in productivity and quality of the finished product when reducing power consumption.

Key words: optimization, granulator, granule formation, activator, quality of the product

РЕТРА
15.03.2022