

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

УДК 662.6/9
© 2016

В.А. АЛЕКСЕЕНКО,
кандидат технічних наук

А.А. ЧЕРВОТКИНА,
асистент

*Таврический государственный
агротехнологический университет,
Украина
E-mail: saha0710@yandex.ru
г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницького 18*

**ОБОСНОВАНИЕ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
И КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ
ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРА**

Стверджується, що в Україні недостатньо повно використовуються вторинні сировинні ресурси плодоовочевої галузі промисловості; перспективним і актуальним напрямом є переробка вторинної сировини сокового виробництва (вичавки, пюре-відходи), яка не втратила харчової цінності. Представлено результати дослідження умов, за яких можна формувати гранули, встановлювати параметри та основні показники технологічних операцій, створювати досконалі технічні засоби.

Ключові слова: гранулювання, матриця, гранулятор, відходи сокового виробництва, зубчастий валець, канал пресування, фільтри матриці, стиснення матеріалу.

Постановка проблеми. Процес гранулювання заключається з кількох послідовних етапів: сжатия, выдержки под давлением, снятия давления, релаксации напряжений, выдержки без давления, выпрессовки и упругого расширения гранулы после извлечения из камеры. Эффективность процесса зависит от степени совершенства осуществления каждого этапа. Оценка состояния исходной смеси по каждому этапу в отдельности с обобщением результатов по всему процессу является наиболее полной. Однако основные затраты энергии приходятся на первый этап – операцию сжатия порции сырья до необходимой плотности.

На выход продуктов гранулирования влияют многие факторы, в том числе и конструкция внутренних устройств гранулятора. Предлагаемая конструкция пресс-гранулятора позволяет увеличить выход основной продукции. Гранулированные продукты имеют ряд существенных преимуществ перед рассыпными: изменяется структура продукта,

повышается усвояемость, снижается бактериальная загрязненность, улучшаются условия хранения, уменьшается объем и т.д.

Анализ последних исследований. На процесс сжатия оказывают существенное влияние упругие, вязкие и фрикционные свойства материала, который подвергается гранулированию. Поэтому эффективность процесса гранулирования преимущественно зависит от физико-механических свойств прессуемого материала [7]. К ним в первую очередь относятся модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициенты вязкости и трения [3]. Большое значение имеют порозность, соотношение компонентов в смеси, доля фазовых составляющих (твердое вещество, жидкость и газовая фаза). Процесс релаксации напряжений и упругое расширение гранулы характеризуются периодом релаксации и коэффициентом упругого расширения [5]. Кроме того, многими исследователями учитывались такие свойства, как точка адсорбции воды на поверхности частиц, кри-

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

Обоснование производительности
и конструктивных параметров пресс-гранулятора

тическая плотность и др. Некоторые специфические свойства материалов связаны с режимом их прессования (вибрационное, ударное и другое приложение нагрузки) [2]. Заметим, что физико-механические свойства материала непостоянны во времени и пространстве. Они неодинаково проявляют себя и зависят от параметров состояния сырья: температуры, гранулометрического состава, влажности и др. Поэтому учет всех физико-механических свойств в аналитических зависимостях затруднен не только из-за множественности, но и из-за непостоянства их значений во времени и пространстве.

В то же время большинство физико-механических свойств, особо важных в процессе прессования, прямо обусловлены влажностью, температурой и гранулометрическим составом. Они в подавляющей степени определяют поведение материала в процессе сжатия, выдержки порции под давлением, при релаксации напряжений и в условиях упругого расширения гранул после их извлечения из камеры.

По причине невозможности учета всех физико-механических свойств, влияющих на процесс гранулирования, необходимо найти такое состояние массы, при котором с наименьшими затратами энергии можно получить гранулы, удовлетворяющие качественным показателям.

Оптимизацию состояния исходного сырья осуществляли по ее основным параметрам. Исследователям процесса гранулирования приходилось учитывать влажность и температуру. Эти параметры в значительной мере определяют состояние исходной смеси. Очевидно, существует такое их сочетание, при котором могут быть минимальными энергоёмкость прессования и крошимость полученных гранул.

Цель нашего исследования – разработать технологический процесс безотходной переработки отходов сокового производства (жмыха) в гранулы и обосновать параметры пресса для их изготовления.

Результаты исследования и их обсуждение. Критерием качественной оценки гранул должна быть только крошимость [1], являющаяся основной стандартизованной прочностной характеристикой, причем непо-

средственно зависящей от исходного состояния материала и затрат энергии на приготовление гранул.

Задача оптимизации является экстремальной и компромиссной. При этом учитывались две функциональные зависимости:

$$W_{yo} = F(i, T); \quad (1)$$

$$K = f(i, T), \quad (2)$$

где W_{yo} – удельная работа сжатия, Дж/кг;

i – влажность материала, %;

T – температура, °K;

K – крошимость гранул, %.

Обобщенным показателем эффективности работы гранулятора является энергоёмкость пресса (Ξ), которую принято определять по зависимости,

$$\Xi = N/Q, \quad (3)$$

где N – мощность привода, необходимая для осуществления процесса гранулообразования, кВт;

Q – производительность гранулятора, кг/ч.

Производительность гранулятора непосредственно определяется количеством материала, направленного в зону сжатия (подачей). Считая насыпную массу материала равномерно распределенной по объему, подачу материала можно рассчитать как сумму двух слагаемых:

$$Q = q_1 + q_2, \quad (4)$$

где q_1 – подача массы за счет сил трения материала о поверхность выступов вальца, кг/с;

q_2 – подача массы в фильеры матрицы, кг/с.

Подача массы за счет сил трения равна

$$q_1 = (A - r_a \cos \phi) B V_y \rho_0, \quad (5)$$

где A – межцентровое расстояние, м;

r_a – радиус головки вальца, м;

B – ширина вальца, м;

V_y – вертикальная составляющая линейной скорости точки на поверхности головки зуба, м/с;

ρ_0 – плотность материала, кг/м³;

ϕ – угол трения материала о цилиндрическую поверхность головок зуба вальца.

Из анализа выражения (5) следует, что подача за счет сил трения может быть увеличена путем увеличения межцентрового расстояния, ширины вальца и скорости.

Подача массы межзубовыми пространствами двух прессующих валцов в каналы матрицы, кг/с

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

Обоснование производительности
и конструктивных параметров пресс-гранулятора

$$q_2 = \frac{S_0 \cdot L \cdot \rho \cdot Z_0 \cdot \beta}{t_{обр}} \cdot n, \quad (6)$$

где S_0 – площадь поперечного сечения одного канала прессования, м²;

L – длина канала прессования, м;

ρ – плотность монолита в канале прессования, кг/м³;

Z_0 – число каналов прессования;

β – коэффициент заполнения каналов прессования, учитывающий использование живого сечения;

$t_{обр}$ – время сырья в канале прессования, с.

n – частота вращения вальца.

Из формулы (6) видно, что производительность пресса прямо пропорциональна площади поперечного сечения и числу каналов прессования в матрице, плотности получаемых гранул и обратно пропорциональна времени пребывания сжатой порции сырья в канале прессования.

Размеры поперечного сечения и плотность гранул задаются стандартами качества. Число отверстий в матрице лимитируется условиями прочности и технологией ее изготовления. Минимально необходимое время пребывания сжатого сырья в канале прессования определяется свойствами вида сырья, а также технологией кондиционирования сырья перед прессованием. Длина канала прессования непосредственно на производительность не влияет. Ее следует рассматривать в связи с необходимостью создания определенного противодействия.

Площадь поперечного сечения всех каналов прессования определяет пропускную способность матрицы. Однако площадь сечения канала прессования участвует и в определении сопротивления канала прессования при расчете его длины [4]:

$$L = \frac{P_{max} \cdot S_0}{f_n \cdot \xi \cdot P_{yn} \cdot \Pi_k}, \quad (7)$$

где P_{max} и P_{yn} – максимальное осевое давление соответственно на входе и выходе канала, Па;

f_{cn} – коэффициент статического трения сырья о поверхность канала прессования;

ξ – коэффициент бокового давления, учитывающий в том числе и остаточную упругую деформацию;

Π_k – периметр поперечного сечения канала прессования, м.

Принято считать, что число каналов прессования лимитируется условиями прочности и технологией изготовления матрицы. Это положение справедливо для сложившейся ситуации в машиностроении при производстве пресс-грануляторов с плоской матрицей. Выпускаемые в настоящее время прессы создают давление по всей поверхности матрицы. Поэтому прокатывающее воздействие на материал передается на матрицу и создает разрывное усилие. Давление на перемычках между отверстиями более чем в 2 раза превышает то давление, которое необходимо для уплотнения сырья до плотности 1000–1100 кг/м³ в канале прессования.

Следовательно, сам принцип прокатывающего воздействия создает чрезмерное напряженное состояние для матриц. Отсюда и условие ограничения числа просверленных отверстий в матрице.

Применив вместо прокатывания материала по всей поверхности матрицы способ порционного сжатия в замкнутом объеме под зубом прессующего вальца, можно большую часть поверхности матрицы отвести под каналы прессования.

Коэффициент полноты использования площади фильер учитывает совершенство процесса подачи материала в зону сжатия и степень заполнения объема межзубового пространства кормом. Его значение должно стремиться к единице.

Длина фильеры и длительность выдержки материала под давлением взаимосвязаны между собой и определяют условия течения релаксации напряжений в сжатом материале.

Собственно длина фильеры должна обеспечивать достаточное противодействие для последующего сжатия порции материала до необходимой плотности и времени релаксации. Длина канала должна обеспечить противодействие и определиться по формуле

$$L_k = \frac{P_{max}}{P_{min}} \cdot \frac{S}{\pi \cdot f \cdot \delta}, \quad (8)$$

где P_{max} – давление на входе в канал прессования, МПа;

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

Обоснование производительности
и конструктивных параметров пресс-гранулятора

P_{min} – давление на выходе из канала прессования, МПа;

S – площадь поперечного сечения канала прессования, м²;

Π – периметр поперечного сечения канала прессования, м;

f – коэффициент трения сжатого сырья по поверхности канала прессования;

δ – коэффициент бокового давления, учитывающий долю осевого давления, передаваемого на боковые стенки и остаточное давление (напряжение) от ранее сжатого материала.

Процесс релаксации напряжений в материале характеризуется многими исследователями довольно долгим, а нередко бесконечным (в бетоне он длится много лет). В исследуемом прессе длительная выдержка материала в канале прессования неприемлема, так как может ограничить его производительность. По этой причине, принимая во внимание упругое расширение гранулы после извлечения ее из ка-

меры, обычно предусматривается повышение давления сжатия в фильере на какую-то часть.

Длина фильеры ограничена по скорости распространения в упруговязкой среде напряжений. Так, В.И. Щербина установил, что осевое давление при предельной длине гранулы не должно передаваться на упор при следующих условиях:

$$h_{max} = \frac{2 \cdot c \cdot d}{f \cdot \xi \cdot (c+d)}; \quad h = \frac{2 \cdot S}{f \cdot \xi \cdot \pi}, \quad (9)$$

в связи с чем длина фильеры практически варьирует в ограниченном диапазоне.

Коэффициент использования площади каналов прессования учитывает, насколько совершенен процесс подачи сырья в зону сжатия и насколько полно заполняется объем фильер. При достаточно совершенном и стабильном в технологическом плане процессе подачи материала в пресс данный коэффициент должен равняться единице.

Выводы

Известны пресс-грануляторы, у которых функция передачи крутящего момента снята с прессующих колес и передана на рядом расположенную пару приводных колес. Следовательно, для прессующих колес становится необязательным коэффициент перекрытия зацепления, и даже сам профиль боковой поверхности зуба в виде эвольвенты.

Технологический процесс переработки морковных отходов в гранулы разработан на основе реально осуществленных технологических операций. Существующие технические средства в состоянии обеспечить выполнение техно-

логических требований почти в полном объеме.

Анализ рабочего процесса исследуемого пресс-гранулятора, состоящего из горизонтально расположенной матрицы и размещенного сверху нее вращающегося прессующего вальца с зубчатым венцом обечайки, свидетельствует о высокой производительности таких конструктивно-технологических схем при невысокой материалоемкости. Своеобразный способ фрезерования зубчатого венца матрицы и прессующего вальца увеличивает долю площади каналов прессования до 66,7 % теоретически.

Библиография

1. Вишенский И.И. Исследование работы шестеренных насосов / И.И. Вишенский // Пневматика и гидравлика. – М., 1973. – Вып. 1. – С. 35–38

2. Жданович Г.М. Некоторые вопросы теории процесса прессования металлических порошков и их смесей / Г.М. Жданович. – Минск: Белорусск. политех. ин-т, 1960. – 98 с.

3. Иванов М.И. Детали машин: учебн. для студентов вузов / М.И. Иванов. – [6-е изд., перераб.]. – М.: Высшая школа, 1998. – 383 с.

4. Матвейкина Ж.В. Гранулы из отходов подсолнечника / Ж.В. Матвейкина // Сельский механизатор. – 2003. – № 4. – С. 26.

5. Орешкина М.В. Обоснование и исследование гидротермического способа кондиционирования полнорационного комбикорма для кроликов в процессе гранулирования: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук / М.В. Орешкина. – Рязань, 1976. – 23 с.

6. Подколызин Ю.В. Анализ работы двухматричного пресс-гранулятора травяной муки / Ю.В. Подколызин // Записки Ленингр. с.-х. ин-та. – 1972. – Т. 174, вып. 2, ч. 2. – С. 30–35.

7. Щербина В.И. Деформация корма в процессе гранулирования / В.И. Щербина. – Ростов-на-Дону: ООО “Тера”; НПК “Гефест”, 2002 – 104 с.

Рецензенты – доктора технических наук, профессора С.С. Тищенко, Ю.А. Чурсинов