

## К ВОПРОСУ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ РЫБНОЙ МУКИ В БАРАБАНЕ

Исаев Е.А., Чернецкая И.Е., Завальнюк О.П.

Характерными проявлениями режима гранулирования перекатом являются отрыв некоторой массы материала от всего объема и сползание этой массы навстречу поднимающейся новой порции сырья. В процессе сдвига происходят взаимные смещения гранулируемых частиц, которые становятся возможным тогда, когда касательные напряжения преодолевают удерживающие силы, действующие в точках контакта этих частиц. При этом материал, представляющий собой рыхлую трехфазную систему, в первоначальный период после сдвига уплотняется и характеризуется увеличением числа контактов частиц между собой. В дальнейшем, в процессе сдвига, силы сцепления и структурной прочности преодолеваются, и сопротивление сдвигу снижается до величины, обуславливаемой преимущественно сцеплением сдвигаемых взаимодействующих частиц. Материал при этом разрыхляется. Поэтому, по нашему мнению, сила трения  $F_{mp}$  в классическом понимании по отношению к сыпучим средам не применима.

Исходя из сказанного, процесс оползания захватывает некоторую зону, в которой в результате взаимного смещения и переориентирования расположения частиц изменяются такие физические параметры, как влажность, разрыхленность и т. д. Обычно при рассмотрении вопросов сдвига сыпучих сред, или грунтов в целях упрощения допускают, что сдвиг происходит по некоторой условной, т.н. поверхности скольжения [1].

При разделении сцепления на составляющие, уравнение сопротивления гранулируемого материала сдвигу записывается в виде:

$$\tau_w = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + C_w ; \quad (1)$$

$$C_w = C + F_w ,$$

где  $\tau_w$  — касательное напряжение сдвига для материала влажностью  $W$  ;

$P$  — нормальное давление на материал;

$\varphi_w$  — угол внутреннего трения для материала влажностью  $W$ ;

$C$  — структурное сцепление зерен материала;

$F_w$  — сцепление между частицами гранулируемого материала;

$C_w$  — суммарное сцепление в структурно-связанном теле, определяемое числом гибких связей между частицами.

Сцепление гранулируемого материала с ростом влажности большей НКВ (наименьшей капиллярной влагоемкости)  $C_w$  уменьшается в 1,3-1,5 раза и при этом представляет усилия, определяемые двойной кривизной жидкостной манжеты и реологическими свойствами гибких связей, действующих в точке контакта.

Как следует из кинограммы процесса, в переходном режиме гранулирования происходит отрыв и сползание некоторого объема материала, характеризующегося определенным углом отрыва  $\gamma_0$ ; в дальнейшем, по мере установления процесса, величина  $\gamma_0$  изменяется за счет изменения коэффициента  $C_w$  при движении, перестройки структуры объема материала и т. д. При этом происходит формирование двух разделенных в пространстве и направленных навстречу потоков: восходящий поток и ссыпавшийся объем

комкуемого материала. Линия раздела потоков в действительности представляет некоторую кривую, которая с достаточной для практики точностью может быть представлена ломаной  $VQW$  (рис.1). Другими словами ссыпавшийся объем может быть представлен в виде трехгранной призмы и ребром некоторой длины.

Наибольший интерес представляет установившийся процесс гранулирования, однако, в качестве первого приближения рассмотрим поведение ссыпавшегося материала, изображенного в виде указанной призмы.

В момент, предшествующий обрушению, по возникающей поверхности скольжения выделенная призма находится в состоянии предельного равновесия, стремясь сместиться под действием составляющей собственного веса  $Q$ . Препятствуют отрыву и смещению призмы силы  $F_w, F_y, C_w F$  (рис. 1).

Проекция всех сил, действующих на ось  $X$ , имеют вид:

$$\sum F_{KX} = F_w \cos \delta + F_y \sin \varepsilon - N \sin \eta_1 + (C_w F) \cos \eta_1 = 0, \quad (2)$$

откуда:

$$N = \frac{F_w \cos \delta + F_y \sin \varepsilon + C_w F \cos \eta_1}{\sin \eta_1} \quad (3)$$

где  $F_w$  — сцепление частиц по поверхности отрыва основанием  $VQ$ ;

$$F_y = m \omega^2 R;$$

$F$  — площадь зацепления;

$N$  — нормальная реакция тела;

$\eta_1$  — угол естественного откоса комкуемого материала влажностью  $W$ ;

$\varepsilon$  — согласно рис.1.

Равновесие сил в проекции на ось  $Y$  записывается:

$$\sum FY = -F_w \sin \delta - F_y \cos \varepsilon - Q + (C_w F) \sin \eta_1 + N \sin \eta_1 = 0, \quad (4)$$

Легко показать, что сила, удерживающая тело от сдвига  $F_w$  определяется по выражению:

$$F_w = F_{cy} \frac{K \cdot P \cdot H \cdot dU}{d_{cp}^2} \quad (5)$$

где  $F_{cy}$  — сила сцепления частицы, расположенной в отрываемом слое, с частицами оставшегося слоя;

$H$  — длина отрываемого участка тела;

$d_{cp}$  — средний диаметр частиц, слагающих отрываемое тело;

$dU$  — толщина отрываемого тела;

$P, K$  — гранулируемость и коэффициент заполнения площади отрыва материалом,  $K=0,632$  [1].

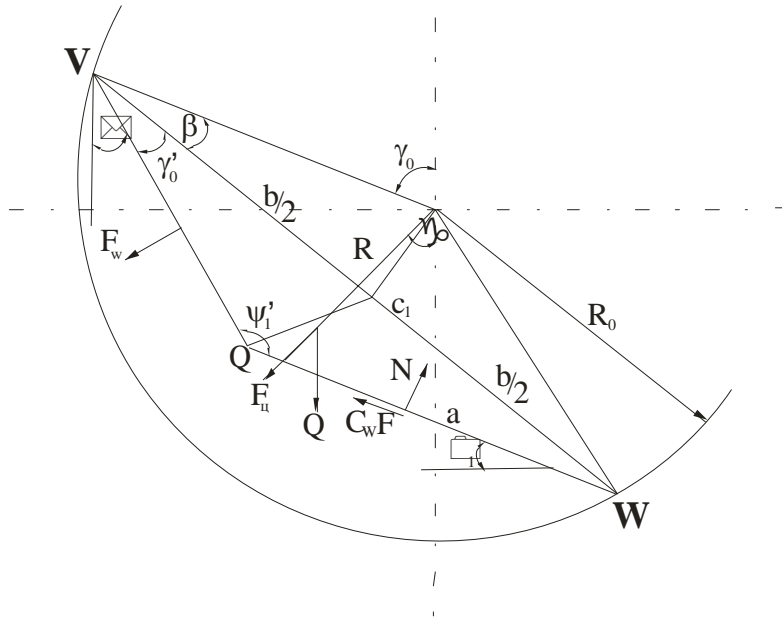


Рис. 1 Распределение сил взаимодействия потоков материала в барабане.

Аналогично:

$$F = a \cdot dU, \tag{6}$$

где  $a$ — длина линии QW(рис.1) и

$$Q = \frac{1}{2} \gamma \cdot H \cdot b \cdot \sin \gamma'_0 \cdot dU \tag{7}$$

Подставив (3), (5), (6) в (4) и поделив на (7), окончательно получим:

$$\varpi = \sqrt{\frac{g \left\{ \sin \eta_1 - \frac{2}{\gamma \cdot b \cdot \sin \gamma'_0} \left[ T \cdot \cos(\delta + \eta_1) + \frac{C_w \cdot a}{H} \right] \right\}}{R \cdot \sin(\xi - \eta_1)}} \tag{8}$$

где  $\gamma$  — удельный вес комкуемого материала;

$$T = \frac{F_{cu}}{d^2} P \cdot K;$$

$R, \varepsilon, \eta_1, \delta$  - согласно рис. 1.

Для решения уравнения (8) раскроем значения величин  $H, a, \delta, R, \varepsilon$ . Не загромождая вывод вспомогательных величин элементарными преобразованиями, запишем конечный результат:

$$H = \frac{b \cdot \sin(\gamma_0 + \frac{\xi}{2} + \eta_1)}{\cos(\delta + \eta_1)} \tag{9}$$

$$R = \frac{B \cdot \cos(\arcsin A)}{6 \cdot \sin \beta_1} \quad (10)$$

$$B = \sqrt{2(H^2 + a^2) - b^2} \quad (11)$$

$$A = \frac{2 \cdot H \cdot \sin \gamma_0'}{B} \quad (12)$$

$$\xi = \pi - \gamma_0 - \frac{\lambda}{2} + \beta_1 \quad (13)$$

$$a = \frac{b \cdot \sin \gamma_0'}{\cos(\delta + \eta)} \quad (14)$$

$$b = 2 \cdot R_0 \cdot \sin \frac{\lambda}{2} \quad (15)$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{B \cdot \cos(\arcsin A)}{A \cdot B + 6 \cdot R_0 \cdot \cos \frac{\lambda}{2}} \quad (16)$$

$$K = \frac{b^2}{R_0 \cdot (\lambda - \sin \lambda) [ctg \gamma_0' - ctg(\gamma_0 + \frac{\lambda}{2} + \eta)]} \quad (17)$$

$$\delta = \gamma_0 + \frac{\lambda}{2} - \frac{\pi}{2} - \gamma_0' \quad (18)$$

где  $R_0$  — радиус барабана;

$\lambda$  — центральный угол обхвата, рад;

$\gamma_0$  — угол отрыва материала;

$K$  — доля ссыпаемого материала, т.е. непосредственно гранулируемого.

Как показывает практика окомкования сыпучего материала в барабане и кинограмма процесса, а также расчеты с использованием (9 – 18), угол  $\lambda$  в статическом и динамическом (т.е. при работающем окомкователе) состояниях различаются не более чем на 15%. Поэтому, принимаем:  $\lambda_{СТ} \approx \lambda_{дин} = \lambda$ .

Таким образом, уравнение (8) в совокупности с уравнениями (9 – 18) устанавливает аналитическую связь между такими параметрами гранулирования, как влажность комкуемого материала, гранулометрический состав, физико-механические свойства: зацепление частиц и т. д. — с параметрами механического оборудования: диаметром окомкователя, его частотой вращения и производительностью по питанию.

Система представленных выше уравнений (9 – 18) решена с помощью приложений MATLAB 6.5 – Simulink. Результаты расчетов показывают, что имеется существенная связь между частотой вращения  $\omega$  с одной стороны и степенью заполнения барабана  $\gamma$ , и углом естественного откоса  $\eta_1$  с другой (рис.2).

Кроме того, достаточно значимое влияние на  $\omega$  оказывает структурное зацепление между частицами  $C_w$  и сила сцепления частиц  $F_{cп}$ , причем влияние первого параметра в 1,7 раза больше, чем второго.

Другими словами, чем тоньше гранулируемый материал и чем больше он увлажнен, тем меньшим диаметром должен использоваться окомкователь (гранулятор) при сниженной скорости вращения.

Кроме того, параметр  $T$ , отражающий физико-механические характеристики комкуемого сырья, оказывает существенное влияние и на угол  $\gamma_0$ , т.е. на начало ссыпания материала. При этом если материал переизмельчен и переувлажнен, может наступить момент, когда материал невозможно будет гранулировать. Для окомкования такого материала может быть применен режим повышенных динамических нагрузок (ПДН), который осуществляет принудительный отрыв массы от внутренней поверхности барабана. Наилучшими условиями гранулирования в режиме переката будут при  $K=0,5$ . Этот параметр может быть принят как один из основных при оптимизации процесса. Кроме того, для обеспечения максимальной длины скатывания рассчитанное значение соотношения  $H$  к  $a$  составляет 1 к 3. Соблюдая указанное условие, решается на ЭВМ система уравнений (8 - 18) для заданных значений влажности, физико-механических параметров комкуемого материала и отыскивается необходимая частота вращения барабана  $\omega$  для заданной производительности по исходному материалу.

Расчеты также показывают, что в динамике процесса после нарушения положения равновесия, величина  $\eta_1$  изменяется и для сохранения профиля сечения комкуемого материала значение  $\omega$  должно быть увеличено.

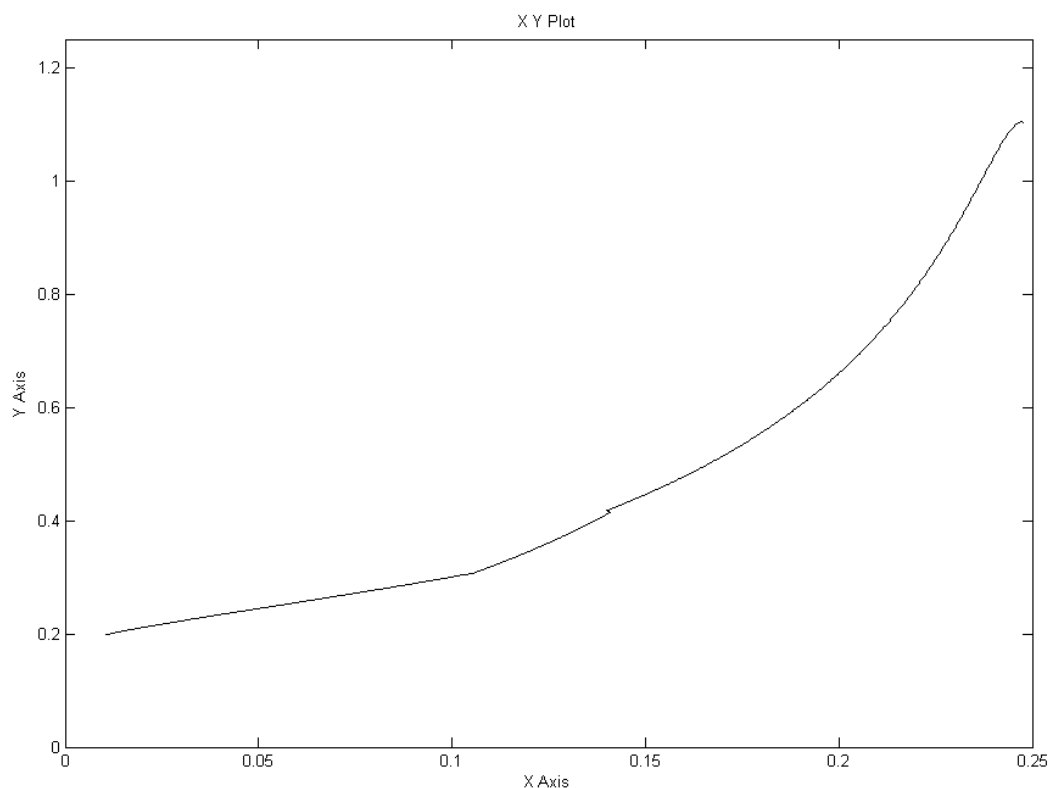


Рис. 3 Зависимость расчетных значений конструктивных параметров гранулирования ( $\omega, \gamma$ ) от свойств сырья  $\eta_1$ .

Таким образом, с ростом размеров гранул (т.е. с увеличением среднего диаметра частиц материала  $d_{cp}$ ) и уменьшением их сцепления  $F_{сц}$ , согласно, вышеприведенным формулам, целесообразно либо увеличивать частоту вращения ( $\omega$ ), либо увеличивать размер барабана.

В заключении отметим, что полученные результаты расчетов дают возможность принять определенные решения при оптимизации процесса гранулирования рыбной муки в барабане.

The questions decision making are considered at optimization of the process by granulating by studies of the mode by granulating clap. It is researched behaviour sacking material in the manner of trihedral prism. The founded relationship between frequency of the rotation of granulator and prism. It is installed that, than fine granulated material and than more he is moistened, that smaller diameter must be used granulator under reduced velocities of the rotation.

1. Е.А.Исаев, И.Е.Чернецкая, Л.Н.Крафт. Современная теория окомкования сыпучих материалов. Монография - Старый Оскол: Издательство "Тонкие наукоемкие технологии", 2001-244 с.