

## THE PARAMETERS OF ROLL PRESS WITH RING-SHAPED DIE TO GRANULATION OF FEEDS AND FERTILIZERS

### Summary

The methodical assumption at choosing of basic parameters of roll granulator was presented. The properties and ratios of granulated mixtures (mineral and organic) as well as criterion of maximum process efficiency and quality of material were showed.

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РОЛИКОВЫХ ПРЕССОВ С КОЛЬЦЕВОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ И УДОБРЕНИЙ

### Резюме

В статье приведены методические положения выбора основных параметров роликовых грануляторов с учетом свойств и состава гранулируемой органико-минеральной смеси по комплексному критерию достижения максимальной производительности и требуемого качества гранул

### 1. Введение

Длительный опыт создания роликовых прессов с кольцевой матрицей для брикетирования и гранулирования различных материалов и их смесей, благодаря относительной простоте таких устройств, привел к появлению большого числа конструктивных решений и разработке методик расчетного выбора их основных параметров [1 - 3]. К таким параметрам относят конструктивные и режимные параметры: диаметры матрицы, ролика, длину и диаметр отверстий в матрице, частоту вращения матрицы или ролика, количество и параметры формы отверстий матрицы, количество роликов. На производительность грануляторов и качество получаемых гранул, кроме перечисленных параметров, влияют также характеристики перерабатываемого материала и другие факторы [2, 3]. В известных методиках выбор рациональных параметров грануляторов производят по различным критериям, преследуя такие цели, как достижение максимальной производительности, обеспечение требуемого времени выдержки гранулы в канале матрицы, минимум удельных энергозатрат и др. [1, 2].

Однако до настоящего времени в достаточной степени не решены задачи целесообразного выбора параметров матрицы и отверстий, при заданной по агротехническим или животноводческим требованиям рецептуре органоминерального гранулированного удобрения или корма для животных, размерах и прочности гранул, с учетом процесса сцепления частиц материала в отверстиях матрицы при образовании гранулы в зависимости от гранулометрического состава смеси.

В связи с вышеизложенным, представляет практический интерес получение обобщенных аналитических выражений для выходных показателей роликовых грануляторов с кольцевым типом матрицы, в которых в явном виде присутствуют характеристики

перерабатываемой смеси исходных материалов, что отсутствует в известных работах.

Расчетная схема роликового гранулятора с кольцевой матрицей представлена на рис. 1 и 2. Количество сжимаемого и проталкиваемого материала за один оборот водила или траверсы одним роликом в отверстия матрицы для гранулятора с кольцевой

матрицей равен 
$$V_n = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_1^2) \cdot b,$$

где  $D$  - внутренний диаметр кольцевой матрицы,

$D_1$  - внутренний диаметр ролика,  $b$  - толщина матрицы (рис. 1),

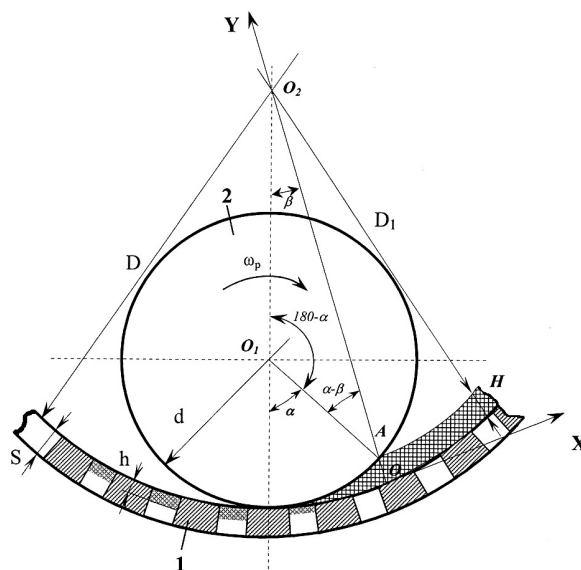


Рис. 1. Расчетная схема гранулятора с кольцевой матрицей 1 – матрица, 2 – ролик

Fig. 1. Scheme of calculating the granulator with roll die: 1 – die, 2 – roll

$H$  - высота слоя материала,  
 где  $d$  - диаметр ролика,  
 $\alpha$  - угол захвата материала,

$$D_1 = \sqrt{D^2 - 2 \cdot d \cdot (D - d) \cdot (1 - \cos \alpha)},$$

$$V_n = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot (D - d) \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot b.$$

Введем коэффициент  $K_k = \frac{D}{d}$ , тогда для гранулятора с кольцевой матрицей после преобразований получим

$$V_n = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot (K_k \cdot d - d) \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot b = \frac{\pi}{2} \cdot d^2 \cdot (K_k - 1) \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot b.$$

При плотности исходного материала  $\rho_n$  в т/м<sup>3</sup>, частоте вращения водила или траверсы  $n$  в об/мин и количестве прессующих роликов  $m$ , производительность гранулятора с кольцевой матрицей равна:

$$Q_n = 60 \cdot n \cdot m \cdot \rho_n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot b \cdot d^2 \cdot (K_k - 1) \cdot (1 - \cos \alpha), \text{ т/ч.}$$

Для втягивания материала в зазор между роликом и матрицей без проявления эффекта волочения материала перед роликом необходимо за счет сил трения исключить проскальзывание материала по поверхности ролика и матрицы в направлении перемещения оси ролика. Рассмотрим силовые факторы в контакте ролика с материалом (рис. 2).

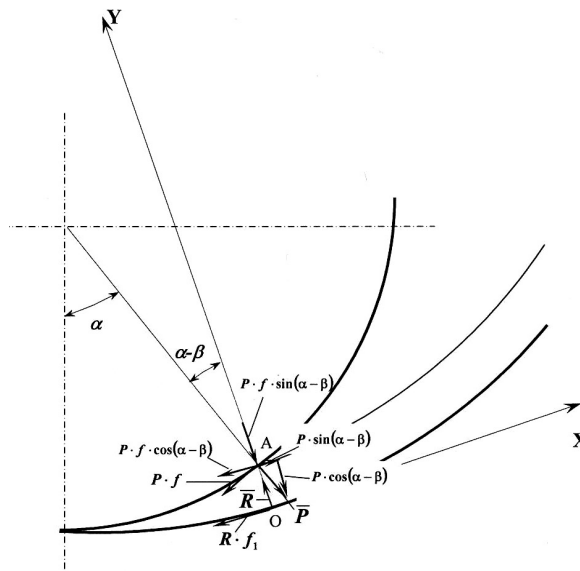


Рис. 2. Схема сил, действующих на материал в грануляторе с кольцевой матрицей  
 Fig. 2. Forces system effecting material in granulator with roll die

Выбор угла  $\alpha$ , а, соответственно, и толщины слоя перед роликом должен обеспечить как минимум, равенство сдвигающих сил и сил трения, противодействующих сдвигу:

$$P \cdot \sin(\alpha - \beta) \leq f \cdot P \cdot \cos(\alpha - \beta) + f_1 \cdot R, \tag{1}$$

где реакция  $R$  определяется из условия равновесия сил, действующих вдоль оси OY  
 $R = f \cdot P \cdot \sin(\alpha - \beta) + P \cdot \cos(\alpha - \beta).$

Известно, что коэффициенты трения равны тангенсу соответствующих углов трения  
 $f = \text{tg } \varphi$ ,  $f_1 = \text{tg } \varphi_1$ , тогда (1) запишем в виде

$$P \cdot \sin(\alpha - \beta) \leq \text{tg } \varphi \cdot P \cdot \cos(\alpha - \beta) + \text{tg } \varphi_1 \cdot [\text{tg } \varphi \cdot P \cdot \sin(\alpha - \beta) + P \cdot \cos(\alpha - \beta)] \tag{2}$$

Сократив выражение (2) на  $P$  и преобразовав, получаем  
 $\sin(\alpha - \beta) \leq \text{tg } \varphi \cdot \cos(\alpha - \beta) + \text{tg } \varphi_1 \cdot \text{tg } \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) + \text{tg } \varphi_1 \cdot \cos(\alpha - \beta),$   
 $\sin(\alpha - \beta) \cdot (1 - \text{tg } \varphi_1 \cdot \text{tg } \varphi) \leq \cos(\alpha - \beta) \cdot (\text{tg } \varphi + \text{tg } \varphi_1),$

откуда

$$\text{tg}(\alpha - \beta) \leq \frac{\text{tg } \varphi + \text{tg } \varphi_1}{1 - \text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \varphi_1}, \text{ или}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha - \beta) \leq \frac{f + f_1}{1 - f \cdot f_1}$$

Угол  $\beta$  зависит от диаметра кольцевой матрицы и диаметра ролика при заданной высоте слоя перед роликом  $H$  (см.  $\Delta O_1 O_2 A$  на рис. 1). По формуле тангенса разности двух углов  $\alpha$  и  $\beta$  получим

$$\operatorname{tg}(\alpha - \beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta}$$

Обозначим  $\frac{f + f_1}{1 - f \cdot f_1} = A$ , тогда

$\operatorname{tg}(\alpha - \beta) = A + A \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta$ , после преобразований получим

$$\alpha \leq \operatorname{arctg} \frac{A + \operatorname{tg}\beta}{1 - A \cdot \operatorname{tg}\beta} \quad (3)$$

По теореме синусов из  $\Delta O_1 O_2 A$

$$\frac{\frac{D}{2} - d}{f + f_1} = \frac{d}{\sin\beta}$$

или с учетом коэффициента  $K_\kappa$

$$\frac{\frac{K_\kappa - 1}{2}}{f + f_1} = \frac{1}{\sin\beta}, \text{ откуда } \beta = \arcsin \frac{f + f_1}{\frac{K_\kappa - 1}{2}} \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получим

$$\alpha \leq \operatorname{arctg} \frac{\frac{f + f_1}{1 - f \cdot f_1} + \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{f + f_1}{\frac{K_\kappa - 1}{2}} \right)}{1 - \frac{f + f_1}{1 - f \cdot f_1} \cdot \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{f + f_1}{\frac{K_\kappa - 1}{2}} \right)} \quad (5)$$

при равенстве  $f = f_1$  с учетом малости их произведения приближенно  $\alpha \leq 2 \cdot \varphi$ , что и принимается при выборе параметров грануляторов.

Предельная высота слоя  $H$  гранулируемого материала, как следует из полученных выражений, определяется параметрами конструкции гранулятора и свойствами рецептуры материала. Следовательно, для определения параметров проектируемого гранулятора необходимы экспериментальные данные по величинам  $f$  и  $f_1$  для различных по составу, гранулометрическому распределению частиц и влажности гранулируемой смеси.

## 2. Выбор параметров грануляторов

При заданных параметрах материала может ставиться задача выбора рациональных типов конструктивных параметров гранулятора, из которых затем определяется оптимальный вариант сочетания проектируемых конструктивных и режимных параметров роликового гранулятора по критериям качества получаемых гранул.

По теореме синусов можем записать

$$\frac{\frac{D}{2} - H}{2} = \frac{\frac{D}{2} - d}{f + f_1},$$

тогда

$$\frac{K_\kappa \cdot d}{2} - H = \frac{d \cdot \left( \frac{K_\kappa}{2} - 1 \right) \cdot \sin(180 - \alpha)}{f - f_1},$$

откуда получим для гранулятора с кольцевой матрицей

$$H \leq d \cdot \left[ \frac{K_\kappa}{2} - \frac{\sin(180 - \alpha)}{f + f_1} \cdot \left( \frac{K_\kappa}{2} - 1 \right) \right].$$

Приняв числовые значения, получим зависимости угла захвата  $\alpha$  от  $K_\kappa$  для кольцевой матрицы при разных значениях  $(f + f_1)$ , характерных для разных составов гранулируемой смеси.

Подставив  $d$  в формулы производительности, можно заметить, что для гранулятора с кольцевой матрицей имеется максимум производительности  $Q$ , для нахождения которого необходимо построить графики при  $m = 2$  и  $m = 3$ , разных значениях  $K_\kappa$  (от 2 до 6-ти) и различных суммах  $(f + f_1)$ , которые соответствуют разным составам гранулируемой смеси (рис. 3). Далее по семейству кривых строятся графики  $K_{\kappa, \text{opt}} = F(f + f_1)$  и  $Q_{\text{max}} = F(f + f_1)$ .

Практически реально создать гранулятор со сменными наборами роликов, с целью конструктивной настройки его на достижение максимальной производительности  $Q_{\text{max}}$  в зависимости от свойств материала. Привод такого гранулятора должен иметь регулирование угловой скорости водила или траверсы для обеспечения качественных показателей гранул. Закон изменения частоты вращения водила или траверсы и параметры матрицы: толщина  $S_0$ , количество отверстий  $n_0$  и другие параметры выбираются из анализа времени выдержки гранул в каналах матрицы, которое обеспечивает требуемое качество гранул конкретного назначения.

Рецептура смеси характеризуется долей  $\lambda_i$ , например по массе, сухого вещества, плотностью  $\rho_i$  и влажностью  $w_i$   $i$ -го ингредиента в составе смеси.

Средняя скорость прохождения гранулируемого материала вдоль канала отверстия матрицы равна  $v = m \cdot h \cdot n$ .

Пусть по условиям прочности гранулы определено экспериментально время  $T_g$  выдержки ее внутри канала матрицы, необходимое для релаксации внутренних напряжений, возникающих при гранулировании. При толщине матрицы  $S_0$  средняя необходимая скорость определится из соотношения

$$v = m \cdot h \cdot n_n \leq \frac{S_0}{T_g}, \text{ м/с,}$$

тогда необходимая частота вращения

$$n_n \leq \frac{S_0}{m \cdot h}, \text{ c}^{-1}.$$

Так как соблюдается равенство массы материала перед началом гранулирования и после попадания его в отверстие матрицы, то можно записать

$$h = H \cdot \frac{\rho_{cm}}{\rho_{cp}}, \quad (6)$$

$$\text{где } \rho_{cm} = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot \rho_i,$$

$$\text{а так как } \rho_{cm} = F(w_i) = F_{wi},$$

$$\text{то } h = \frac{H \cdot \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot F_{wi}}{U \cdot \rho_{cp}}$$

При наложении требований на прочность гранулы и с учетом зависимости прочности от плотности

$$\rho_{cp} = \Theta \left( \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot \sigma_{Hi} \right),$$

где  $U$  - количество компонентов смеси, можно записать

$$h = \frac{H \cdot \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot F_{wi}}{U \cdot \Theta \left( \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot \sigma_{Hi} \right)}$$

С другой стороны, из рис. 1 следует, что

$$H = AO = OO_2 - AO_2,$$

$$\text{где } OO_2 = 0,5 \cdot D.$$

Из  $\Delta O_1AO_2$  на основании теоремы синусов

$$AO_2 = \frac{0,5 \cdot d \cdot \sin(\pi - \alpha)}{\sin \beta} = 0,5 \cdot d \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

и

$$H = 0,5 \cdot \left( D - d \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right) = 0,5 \cdot D \left( 1 - \frac{\sin \alpha}{K_k \cdot \sin \beta} \right).$$

Подставим полученное выражение в формулу (6) и получим

$$h = 0,5 \cdot D \left( 1 - \frac{\sin \alpha}{K_k \cdot \sin \beta} \right) \frac{\sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot F_{wi}}{U \cdot \Theta \left( \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot \sigma_{Hi} \right)}$$

С учетом этого получим выражение для необходимой частоты вращения

$$n_n \leq \frac{2 \cdot S}{m \cdot D} \cdot \frac{U \cdot \Theta \left( \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot \sigma_{Hi} \right)}{\left( 1 - \frac{\sin \alpha}{K_k \cdot \sin \beta} \right) \cdot \sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot F_{wi}}$$

Выражение для производительности кольцевого гранулятора запишется в виде:

$$Q_k = 60 \cdot n \cdot m \cdot \frac{\sum_{i=1}^U \lambda_i \cdot F_{wi}}{U} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot b \cdot d^2 \cdot (K_k - 1) \cdot (1 - \cos \alpha), \text{ T}^3/\text{ч}$$

На рис. 3 показаны зависимости  $\angle \alpha = f(K_k)$ .

С учетом ограничений на угол  $\alpha$  и максимальную частоту вращения роликов гранулятора  $n_n$  полученные выражения позволяют определить рациональные значения основных параметров роликовых грануляторов для получения гранул из смеси заданного состава и свойств и с заданными качествами.

Так как на графиках рисунка 3 имеются экстремумы, то они соответствуют и наибольшей производительности гранулятора. С учетом значений этих максимумов на рисунке 4 представлена зависимость  $K_k$  как функция свойств гранулируемого материала -  $(f + f_1)$ .

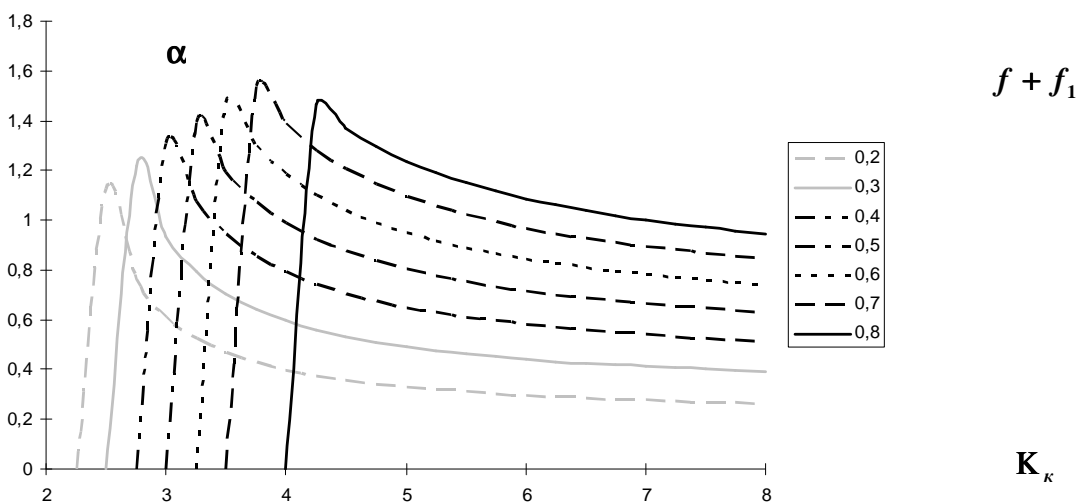


Рис. 3. Зависимости  $\alpha(K_k)$  при разных значениях  $f + f_1$

Fig. 3. Dependences  $\alpha(K_k)$  at different values  $f + f_1$

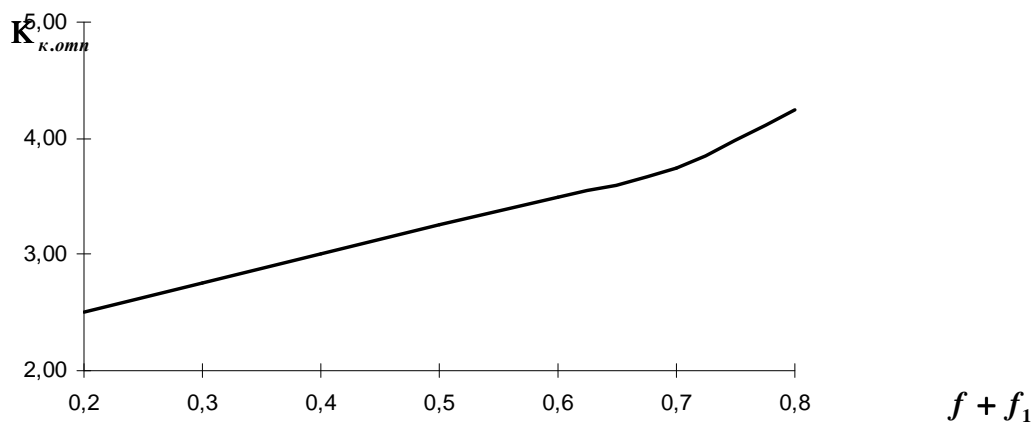


Рис. 4. Зависимость  $K_{k.opt}(f + f_1)$

Fig. 4. Dependence  $\alpha(K_{k.opt})$  at different values  $f + f_1$

### 3. Заключение

Таким образом, полученные выражения реализуют методические положения выбора основных параметров роликовых грануляторов с учетом свойств и состава гранулируемой органоминеральной смеси (состава гранулированных кормов или гранулированных удобрений) по комплексному критерию достижения максимальной производительности и требуемого качества гранул.

### 4. References

- [1] Классен П.В., Гришаев И.Г.: Гранулирование. – М.: Химия 1991.
- [2] Мурадов Г.С., Шомин И.П.: Получение гранулированных удобрений прессованием. – М.: Химия 1985.
- [3] Grochowicz J., Andrejko D., Mazur J.: Wpływ wilgotności i stopnia rozdrobnienia na energie zagęszczania i wytrzymałość brykietów łubinowych. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Polish Academy of Sciences - Branch in Lublin. V. 6. Lublin 2004.