

DOI 10.25741/2413-287X-2020-02-2-093

УДК 361.363

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАТРИЧНОГО ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРА

**Н. ЯНУКОВ**, канд. техн. наук, **А. ВОЛКОВ**, канд. с.-х. наук, **Д. ЛУКИНА**, канд. техн. наук,  
**Л. ПРОХОРОВА**, канд. с.-х. наук, **В. БРЫГИН**, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»  
 E-mail: alex-volkov@bk.ru

*Совершенствование пресс-гранулятора путем придания тороидальной формы каналу кольцевой матрицы позволяет снизить крошимость гранул кормовых смесей до 5,7%, увеличить производительность оборудования в 1,3–1,5 раза и уменьшить энергоемкость линии в 1,7–2,0 раза.*

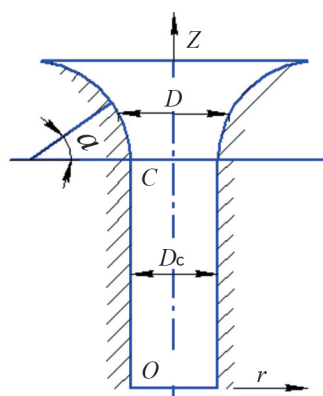
Ключевые слова: совершенствование, матричный пресс-гранулятор, производительность, эффективность.

*Improving the granulator by giving the annular matrix channel a toroidal shape reduces the granularity of the feed mixture granules to 5.7%, increases the productivity of the equipment 1.3–1.5 times and reduces the energy consumption of the line 1.7–2.0 times.*

Keywords: improvement, matrix granulator, productivity, efficiency.

В настоящее время все большую популярность приобретают ресурсо- и энергосберегающие методы хранения и переработки сельскохозяйственного сырья [1–4]. Одним из них является гранулирование кормов и кормовых смесей. Гранулы представляют собой спрессованные в пресс-грануляторах предварительно измельченные кормовые компоненты до плотности 800–1300 кг/м<sup>3</sup> цилиндрической формы диаметром до 25 мм. Качество гранул определяется их плотностью, прочностью и крошимостью, которые зависят от влажности материала, гранулометрического или фракционного состава, температуры и давления прессования [5–6].

На базе ООО «Сернурский опытно-производственный завод» в Республике Марий Эл были проведены исследования по общепринятым методикам [5–6] по изучению опытного образца пресс-гранулятора ОГМ-0,8 с усовершенствованной конструкцией кольцевой матрицы. Входной части каналов матрицы придали тороидальную форму, близкую к той, которая образуется при износе во время длительной эксплуатации (см. рисунок). Это позволило увеличить износостойкость матрицы.



Канал тороидальной формы

Осевое напряжение  $\sigma_z$  (Па) в полости, ограниченной тороидальной поверхностью, при граничных условиях (координата сечения цилиндрической части  $Z$  соответствует координате сечения тороидальной части  $Z_0$ ) равно осевому напряжению

в тороидальной части канала  $\sigma_{z_c}$ , а в прочих случаях осевое напряжение определяется выражением:

$$\sigma_z = -(1/\beta) \ln[\exp(-\beta \sigma_{z_c}) - 4\beta \tau_{то} \lambda], \quad (1)$$

где  $\beta$  — постоянная, зависящая от состава комбикорма;  
 $\tau_{то}$  — предел текучести сдвига корма при атмосферном давлении;

$\lambda$  — относительная длина приведенного цилиндрического канала, м.

$$\lambda = (Z - Z_c)_{пр} / D_c, \quad (2)$$

где  $(Z - Z_c)_{пр}$  — приведенная длина цилиндрического канала, равного по сопротивлению входной тороидальной полости, м;

$D_c$  — диаметр цилиндрического канала, м.

Из формулы (1) видно, что тороидальная форма канала позволяет уменьшить осевое напряжение  $\sigma_z$ , которое снижает коэффициент трения в канале в 1,15–1,22 раза.

Производительность гранулятора  $Q$  (т/ч) рассчитывается по формуле:

$$Q = 3,6 k_1 \rho_r z_p \frac{\pi d_o^2}{4} n_o v_r, \quad (3)$$

где  $k_1$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние перемычек между отверстиями матрицы ( $k_1 = 0,06–0,07$ );

$\rho_r$  — насыпная плотность гранул, кг/м<sup>3</sup>;

$z_p$  — число прессующих роликов ( $z_p = 2$ );

$d_o$  — диаметр отверстий в матрице, м;

$n_o$  — число отверстий в матрице, шт.;

$v_r$  — средняя скорость передвижения гранулы в отверстии матрицы, м/с.



$$v_r = \frac{\omega_m R (R - r) \sin \frac{\omega_m}{r}}{\beta \sqrt{(R - r)^2 + r^2 + 2r(R - r) \cos \frac{\omega_m R t}{r}}}, \quad (4)$$

где  $\omega_m$  — угловая скорость матрицы, рад/с;

$R$  — радиус матрицы, м;

$r$  — радиус слоя кормовой смеси в матрице до уплотнения, м;

$\beta$  — показатель прессования слоя  $H$ ;

$t$  — время деформации слоя  $h$  (разовой прокатки ролика), с.

$$\begin{aligned} t &= \alpha_1 / 6n_m; \\ \alpha &= \omega_m t; \\ \alpha &= \alpha_1 (R/2); \\ \beta &= H/h = \rho_0 / \rho_r, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\alpha, \alpha_1$  — угол, который образуется между цилиндрической и тороидальной формой канала (находится путем измерения), град;

$n_m$  — число матриц, шт.;

$\rho_0$  — плотность исходного рассыпного материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  — плотность прессованного материала, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  — толщина слоя материала до прессования ( $H = R - r$ ), м;

$h$  — толщина слоя материала после прессования, м.

Тороидальная форма канала дает возможность для более качественного протекания процесса гранулирования кормовых смесей с оптимальными значениями влажности и температуры — 15–16% и 60–70°C. При этом достигаются минимальные значения коэффициентов трения, которые снижаются при увеличении давления. В данном случае при придании отверстиям матрицы гранулятора тороидальной формы увеличивается пластическая деформация частиц, а выделенная из них влага играет роль смазки.

При кондиционировании под действием пара влажность кормовой смеси увеличилась с 12–14% до 15–17%, частицы измельченного зерна приобрели дополнительную вязкость и пластичность. В процессе прессования масса нагревалась до 75–90°C, и происходила частичная декстринизация крахмала зерна.

Производительность пресс-гранулятора зависела от степени размола компонентов. Гранулирование более мелких компонентов протекало максимально эффективно, так как коэффициенты трения были значительно меньше, чем при использовании смеси с более крупными частицами. Так, при прессовании компонентов комбикорма среднего размола (остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм составляет 5–10%, на сите 5 мм — отсутствует) производительность была на 10–15% выше, чем при гранулировании более крупных частиц (на сите 5 мм — 10–15%, 10 мм — отсутствует).

Для получения прочных гранул необходимо равномерно сжимать кормовую массу в фильерах. Крошимость гранул зависит от способа кондиционирования сырья, от количества срезов, времени охлаждения готовых гранул и их размера — получить прочные гранулы диаметром более 20 мм затруднительно.

Для придания гранулам из плохо прессуемых компонентов (овса, ячменя, кукурузы) необходимой прочности в их состав добавляли жир или другие связующие вещества (например, бентониты, фосфат и каолин) в количестве до 20–24 кг/т. Благодаря этому стало возможным получение прочных гранул малой плотности (500–600 кг/м<sup>3</sup>) и снижение энергоемкости рабочего процесса на 12–16%. Использование в качестве связующих веществ органических углеводосодержащих компонентов, таких как меласса и крахмал, позволило уменьшить крошимость гранул на 20–40%, одновременно увеличив их кормовую ценность. Потребление электроэнергии при этом снизилось в 1,15–1,22 раза. Дальнейшее повышение плотности гранул приводило к увеличению энергоемкости процесса.

Для повышения эффективности работы оборудования и снижения энергоемкости процесса были определены оптимальные технологические параметры (влажность и температура) работы гранулятора и подобраны соответствующие связующие вещества. Так, при гранулировании сухого жома с вводом мелассы и карбамида (в количестве 5%) добились увеличения производительности опытного образца пресс-гранулятора в 1,3–1,5 раза и уменьшения общей энергоемкости линии в 1,7–2,0 раза.

По результатам опытов, выполненных в ООО «Сернурский опытно-производственный завод» и направленных на оптимизацию процесса прессования кормов, на грануляторе ОГМ-0,8 был рассчитан полином для определения крошимости гранул:

$$k_p = (29,85 - 4,43t + 7,18\omega t + 20,2t^2)^{0,5}, \quad (6)$$

где  $\omega$  — влажность кормовой смеси, %;

$t$  — температура кормовой смеси, °С.

Минимальная крошимость гранул (5,7%) была получена при следующих параметрах процесса гранулирования: влажность кормовой смеси — 16%, температура кормовой смеси — 70°C, удельная теплоемкость — 17,1 кВтч/т. Позже эти технологические параметры были подтверждены при эксплуатации опытного образца ОГМ-0,8 в производственных условиях.

Таким образом, одним из способов повышения эффективности работы гранулятора является применение тороидальной формы канала кольцевой матрицы. Такая его форма способствует созданию наиболее оптимальных условий прессования, уменьшению коэффициента трения и необходимых усилий проталкивания материала, а следовательно, уменьшению рабочей мощности оборудования. Это в свою очередь повышает производительность опытного пресс-гранулятора, снижает его энергоемкость и металлоемкость.

#### Литература

1. Албин, Д. Экструдирование кукурузы и использование ее в рационах молочных коров / Д. Албин, К. Майо, Д. Бузман // Комбикорма. — 2019. — № 7–8. — С. 27–28.
2. Беленькая, Л. Зерно надо не только вырастить, но и сохранить / Л. Беленькая // Комбикорма. — 2019. — № 1. — С. 36–38.
3. Волков, А. И. Энергосберегающие технологии в растениеводстве / А. И. Волков, Н. А. Кириллов. — Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2016. — 195 с.
4. Волков, А. И. Подготовка кукурузного зерна к механизированной уборке / А. И. Волков, Л. Н. Прохорова, Х. Б. Ахмадуллин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. — 2019. — № 21. — С. 524–527.
5. Лобовиков, Д. В. Получение композиционных гранулированных материалов в планетарном грануляторе / Д. В. Лобовиков, Е. В. Матыгуллина. — Пермь: Пермский государственный технический университет, 2008. — 153 с.
6. Кукта, Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. — М.: Агропромиздат, 1987. — 303 с.
7. Кириленко, А. С. Структурное совершенствование вальцово-матричных пресс-грануляторов с кольцевой матрицей / А. С. Кириленко, И. Т. Ковриков // Наука и техника в современном мире. — Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. — Часть II. — С. 73–78. ■