

**Федоренчик А.С., Гайдукевич Д.М.**  
(БГТУ, г. Минск, РБ) [fedor@bstu.unibel.by](mailto:fedor@bstu.unibel.by)  
(БГАТУ, Г. Минск, РБ) [Haidukevich@tut.by](mailto:Haidukevich@tut.by)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ DETERMINATION OF THE EQUIPMENT PARAMETERS FOR PELLET PRODUCTION

В настоящее время во всем мире в связи с истощением запасов ископаемых видов топлива ведутся активные исследования по использованию биотоплива. Для отопительных целей одним из перспективных направлений является использование гранулированного биотоплива (пеллет) из отходов деревообрабатывающих и сельскохозяйственных производств, как это происходит в странах Западной Европы, где ежегодно производится и продается до 5 миллионов тонн этого вида топлива.

Поскольку в общем объеме затрат на производство топливных гранул энергозатраты составляют до 20%, а также с целью выбора оптимальных параметров механизмов, узлов и деталей базового технологического оборудования, нами проведены исследования физико-механических характеристик процесса пеллетообразования.

Пеллеты образуются посредством прессования под давлением сотни атмосфер, предварительно измельченных отходов растительного происхождения в многочисленные отверстия (фильеры) в корпусе матрицы, где собственно и происходит процесс агрегатирования. Поэтому в первую очередь при разработке оборудования необходимо учесть условия, обеспечивающие процесс образования пеллет, определить параметры процесса, а затем обеспечить эти параметры с помощью соответствующего оборудования. Для достижения этой цели используются результаты экспериментов по прессованию сыпучего материала в недеформируемой цилиндрической капсуле. В результате определяется уравнение состояния деформируемой среды, выражающее собой зависимость давления прессования  $P_{пр}$  от степени сжатия  $\lambda$ , характеризующей изменения первоначального объема недеформированной среды. Предельные значения  $\lambda_{пр}$  изменяются в широких пределах от  $\lambda_{пр} = 1,3$  для торфа до  $\lambda_{пр} = 7$  для древесных опилок.

Уравнение состояния деформируемой среды используются далее для расчета энергии формообразования единицы объема исходного материала, необходимой для последующего энергетического анализа и расчета параметров прессового оборудования. Для оценки верхнего значения энергии формообразования  $E(\lambda)$  связь между давлением и степенью сжатия аппроксимировалась линейной зависимостью, тогда

$$E(\lambda) = \frac{P_{г\delta}}{\lambda_{г\delta}} \ln \lambda \quad (1)$$

Для определения вклада в (1) энергии, соответствующей работе сил трения о стенки цилиндрического отверстия фильеры, принималось, что сила давления передающаяся на боковую поверхность, пропорциональна величине давления в продольном направлении, с коэффициентом пропорциональности  $\mu$  ( $\mu$ -аналог коэффициента Пуассона). В указанном приближении приходим к расчетной формуле, характеризующей эффективность прессования через коэффициент полезного действия

$$\eta = 1 - \frac{4\sigma(\lambda_{г\delta} - 1)\mu f}{\lambda_{г\delta} \ln \lambda_{г\delta}}, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$\sigma = L / D$  – соответствующий параметр формы отверстия фильеры (рис. 1).

Для определения распределения давления по глубине  $x$  в самой фильере, рассматривалось равновесие элементарного слоя между двумя текущими сечениями  $x$  и  $x+dx$ , на которые действуют нормальные давления  $P(x)$  и  $P(x+dx)$ , а равновесие дости-

гается за счет сил трения, возникающего на боковой поверхности площадки  $\Pi D dx$ . В результате из уравнения баланса приходим к распределению

$$P(x) = P_{i\delta} l x P\left(\frac{4f\mu}{D} x\right), \quad (3)$$

и критерию отсутствия заклинивания при выполнении которого спрессованный материал будет выдавливаться из фильеры. А именно, это условие имеет вид:

$$\sigma > \frac{4f\mu}{\ln P'_{i\delta}}, \quad (4)$$

где  $P'_{i\delta}$  – отношение предельного давления к атмосферному.

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. 2) также должны удовлетворять условию

$$\operatorname{tg}\beta \cong \frac{P_{i\delta} \cdot \mu}{2E}, \quad \alpha > \beta \quad (5)$$

где  $\mu$  и  $E$  модули Пуассона и Юнга для спрессованного материала пеллеты;  $\rho$  – аналог угла трения [1].

Условие (5) обеспечивают исключение разрушения (растрескивания) спрессованной пеллеты при выходе из фильеры и самоторможение сыпучей среды в приемном гнезде, параметр  $I$  в котором определяют соответствие объема приемной (конической) и цилиндрической частей фильеры.

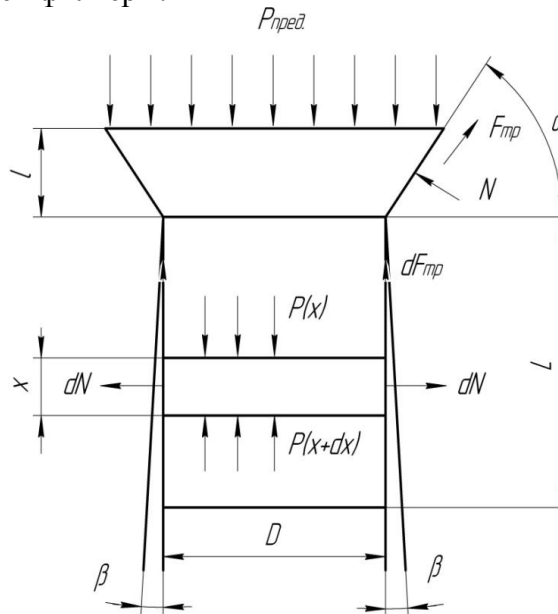


Рис. 1. Основные параметры и схема действия сил в фильере

Формулы (1) – (5) используются для определения параметров фильерной платформы (матрицы) на которой осуществляется прессование с помощью катка, вращающегося со скоростью  $\omega$  и имеющего скорость центра  $V_c$  (рис. 2).

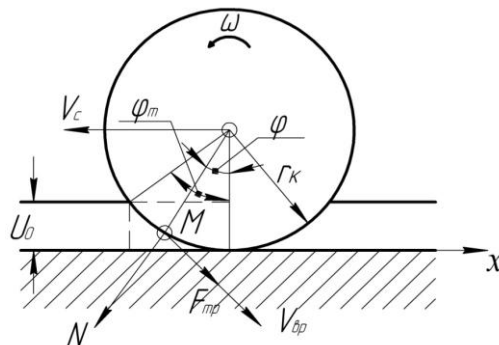


Рис. 2. Расчетная схема для определения параметров фильерной матрицы

В первую очередь параметры должны удовлетворять требованию захвата материала в зону прессования, т.е. в область контакта катка и матрицы. Для выполнения этого требования необходимо чтобы суммарная сила, действующая на частицу измельченного сырья, контактирующую с катком, была направлена в зону прессования. Рассматривая предложенный случай  $\varphi = \varphi_m$  (рис.2) с учетом  $F_{тр} = fN$  приходим к условию:

$$u_0 < r_k \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + f^2}} \right) \quad (6)$$

где  $u_0$  – высота слоя сыпучего материала, расположенного на матрице, которому должны удовлетворять параметры  $u_0$  и  $r_k$  для осуществления процесса захвата материала в зону прессования. Последнее требование можно усилить кинематическим соотношением:

$$\omega(r_k - u_0) \geq V_c, \quad (7)$$

обеспечивающим режим ускоренной подачи материала в зону прессования, и увеличивающим производительность процесса.

Для определения параметров проектируемого процесса и в первую очередь требуемой мощности, необходимо определить силу и мощности производственных сопротивлений приложенных к его исполнительному органу. Для определения последних использовалась расчетная схема, представленная на рис. 3.

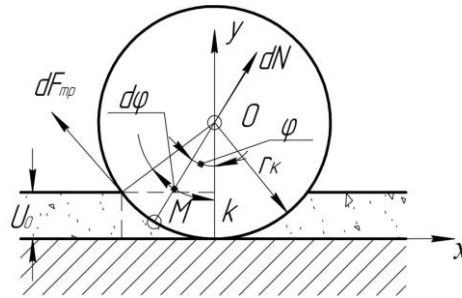


Рис. 3. Расчетная схема для определения силы и мощности, затрачиваемых на процесс прессования

Силу давления  $dN$ , действующую на элемент площади поверхности катка, расположенный под углом  $\varphi$  и опирающийся на угол  $d\varphi$  определим по величине давления возникающего в избранной зоне.

В свою очередь величину давления находим по степени сжатия в окрестности выделенного элемента

$$\lambda = \frac{u}{u_0 + \Delta}, \quad \Delta = \frac{u_0}{\lambda_{i\delta}} \quad (8)$$

Определив по значению  $dN$  величину  $dF_{тр} = fN$  находим итоговое выражение для момента  $M_{сопр}$  сил трения, относительно центра катка

$$M_{\bar{m}i\delta} = \frac{f \cdot P_{i\delta} \cdot u_0 \cdot r_k}{\lambda_{i\delta}} \cdot I, \quad (9)$$

$$\text{где } I = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{1 + \delta - \cos \varphi}; \quad \varphi_0 = \arccos \frac{r_k - u_0}{r_k}; \quad \delta = \frac{\Delta}{r_k} \quad (10)$$

Суммируя силы  $dF_{тр}$  и  $dN$  находим выражения для проекций равнодействующей на координатные оси  $x$  и  $y$ .

$$R_x = \frac{P_{i\delta} \cdot \beta \cdot u_0}{\lambda_{i\delta}} \left[ I - f \ln(1 - \cos \varphi_0) \right], \quad (11)$$

$$R_y = \frac{P_{i\delta} \cdot \beta \cdot u_o}{\lambda_{i\delta}} [\ln(1 - \cos \varphi_\delta) - f \cdot I]. \quad (12)$$

По найденным характеристикам  $M_{\text{сопр}}$ ,  $R_x$  и  $R_y$  в соответствии со стандартной методикой расчета фрикционных передач можно определить остальные параметры пресового оборудования по которым осуществляется подбор и модернизация узлов и деталей для производства гранул.

#### Литература

1. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов. – М: Высшая школа, 1991г. – 383 с.