

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Г. Г. МУСАЕЛЯНЦ, А. С. АРИСТАКЕСЯН

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ВОДИЛА ГОРИЗОНТАЛЬНО
 РАСПОЛОЖЕННОГО КОЛЬЦЕВОГО
 БРИКЕТНОГО ПРЕССА

Известно, что кольцевые брикетные прессы, применяемые для получения весьма плотных и небольших формы (брикетов) из сена и других видов кормов, обладают сравнительно высокой производительностью. Однако, серьезным недостатком данных прессов является их высокая энергоемкость [1, 2].

Большие затраты энергии такими прессами вызываются сравнительно высокими усилиями и вращающим моментом водила, требуемыми на осуществление процесса брикетирования, и отсутствием точной методики выбора основных параметров пресса, обеспечивающих минимально возможный вращающий момент водила.

В данной работе приводятся теоретические исследования, позволяющие вывести закономерность изменения вращающего момента водила кольцевого брикетного пресса от его основных геометрических параметров, физико-механических свойств брикетируемого материала и параметров технологического процесса.

Так как горизонтально расположенный брикетный пресс является головноной механической системой, то для определения вращающего момента водила M воспользуемся дифференциальными уравнениями механической системы в обобщенных координатах, т. е. уравнениями Лагранжа второго рода.

Как видно из рис. 1, кольцевой брикетный пресс представляет собой систему с одной степенью свободы, т. е. ее положение определяется только углом ψ поворота водила OO_1 , который и принимается за обобщенную координату. Тогда для этой системы уравнения Лагранжа второго рода будут представлены следующим уравнением

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_{\psi}, \quad (1)$$

где $\dot{\psi} = \omega$ — угловая скорость водила; Q — обобщенная сила; T — кинетическая энергия системы:

$$T = T_1 + T_2, \quad (2)$$

T_1, T_2 — кинетические энергии прессующего ролика и водила.

Определив значения T_1 и T_2 по известным формулам теоретической механики, получим

$$T = \frac{1}{48} (D - d)^2 (9m_1 + 2m_2) \dot{\varphi}^2, \quad (3)$$

где D — внутренний диаметр матричного кольца; d — диаметр пресующего ролика; m_1, m_2 — массы пресующего ролика и водила.

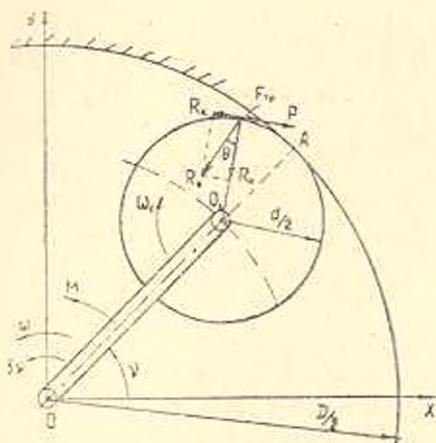


Рис. 1. Расчетная схема к определению вращающего момента в силе.

Из выражения (3) имеем

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{1}{24} (D - d)^2 (9m_1 + 2m_2) \dot{\varphi}. \quad (5)$$

Для определения обобщенной силы Q_1 дадим водилу OO_1 возможное угловое перемещение $\delta\varphi$ как это показано на рис. 1. Так как брикетный пресс расположен горизонтально, в плоскости вращения водила на систему действует только вращающий момент M . Тогда на возможном перемещении $\delta\varphi$ элементарная работа пары этого момента равна

$$\delta A = M \delta\varphi, \quad (6)$$

которая определяется также по выражению

$$\delta A = Q_1 \delta\varphi. \quad (7)$$

Из (6) и (7) имеем

$$Q_1 = M. \quad (8)$$

Подставив (4), (5) и (8) в (1), получаем

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{1}{24} (D - d)^2 (9m_1 + 2m_2) \dot{\varphi} \right] = M. \quad (9)$$

откуда определяем угловое ускорение водила

$$\varepsilon = \ddot{\varphi} = \frac{24M}{(D-d)^2(9m_1 + 2m_2)} \quad (10)$$

Для определения окружного усилия P , приводящего во вращение прессующий ролик, воспользуемся теоремой об изменении кинетического момента в относительном движении ролика по отношению к оси O_1 . Зная взаимосвязь между угловыми ускорениями прессующего ролика и водила, на основании этой теоремы получим

$$P = \frac{1}{4} m_1 (D-d) \ddot{\varphi} \quad (11)$$

Подставив (10) в (11) и приняв $\mu = \frac{D}{d}$, после преобразований найдем выражение для определения вращающего момента водила

$$M = \frac{P(9m_1 + 2m_2)D(\mu - 1)}{6\pi m_1} \quad (12)$$

Выразив массы ролика m_1 и водила m_2 через их размеры, с учетом того, что матричное кольцо обкатывается числом роликов, равным k , получаем:

$$M = \frac{kP[9\pi Db + 4ac\mu(\mu - 1)](\mu - 1)}{6\pi\mu b} \quad (13)$$

где b — высота ролика; a c — ширина и толщина водила.

Величина окружного усилия P определяется как алгебраическая сумма касательной составляющей R_x реакции R_0 сжимаемого материала на ролик и силы трения $F_{тр}$ качения ролика (рис. 1):

$$P = R_x - F_{тр} \quad (14)$$

а

$$F_{тр} = \frac{2f_{кат}}{d} R_n \quad (15)$$

где $f_{кат}$ — коэффициент трения качения; R_n — нормальная составляющая реакции R_0 , действующей на ролик диаметром d .

Подставив (15) и значения $R_x = R_0 \sin \theta$, $R_n = R_0 \cos \theta$ в (14), получаем

$$P = R_0 \left(\sin \theta - \frac{2f_{кат}}{d} \cos \theta \right) \quad (16)$$

где θ — угол между направлением реакции R_0 материала на прессующий ролик и радиусом, проведенным через точку приложения R_0 .

Совместно решая (16) и (13), получим

$$M = \frac{kR_0 \left(\sin \theta - \frac{2f_{кат}}{d} \cos \theta \right) (\mu - 1) [9\pi Db + 4ac\mu(\mu - 1)]}{6\pi\mu b} \quad (17)$$

Согласно ранее проведенным авторами исследованиям получено

$$R_0 = \frac{1}{2} \gamma_0 D b \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha_0}{\mu - 1 + \cos \alpha_0} \right) \right] \frac{\cos \beta_0'}{\cos(\beta_0' - \beta_0)} \quad (18)$$

где α_{0p} — давление, необходимое для проталкивания спрессованного материала вдоль прессовальных каналов брикетного пресса; α_0 — угол, характеризующий зону приложения нагрузки на прессующем ролике; β_0' — угол, характеризующий направление нормальной относительно матричного кольца реакции R сжатого материала; β_0 — угол между направлениями реакций R и R_0 .

Значения углов определяются по формулам:

$$\beta_0' = \frac{1}{2} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha_0}{\mu - 1 + \cos \alpha_0} \right) \right]; \quad (19)$$

$$\beta_0 = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{A}{B} \right\}; \quad (20)$$

где

$$A = \delta \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{\mu - 1}{\mu^2} (1 - \cos \alpha_0)} \right] \cos \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha_0}{\mu - 1 + \cos \alpha_0} \right);$$

$$B = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha_0}{\mu - 1 + \cos \alpha_0} \right) - \delta \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{\mu - 1}{\mu^2} (1 - \cos \alpha_0)} \right] \times \\ \times \sin \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \alpha_0}{\mu - 1 + \cos \alpha_0} \right);$$

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{-(\mu - 1) \lg^2 \beta_0' + 1 + \sqrt{1 - (\mu - 1)^2 \lg^2 \beta_0'}}{1 + \lg^2 \beta_0'} \right\} - \beta_0' - \beta_0; \quad (21)$$

$$\alpha_0 = \arccos \left\{ 1 - \frac{\mu^2}{2(\mu - 1)} \left[1 - \left\{ 1 - \frac{\gamma_0}{\gamma} \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{\mu - 1}{\mu^2} (1 - \cos \left[\varphi + \varphi_1 + \arcsin \frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\mu - 1} \right]) \right] \right\} \right] \right\}; \quad (22)$$

где δ — коэффициент бокового давления спрессованного материала на стенки прессовальных камер; γ, γ_0 — объемные массы исходного и спрессованного материала, находящегося в прессовальных каналах; φ и φ_1 — углы внешнего и внутреннего трения материала.

Решив совместно выражения (17) (21) и (22), получаем зависимость вращающего момента валика от основных геометрических параметров пресса, параметров технологического процесса брикетирования и физико-механических свойств материала.

С целью определения численных значений M проведено решение выражения (17) на ЭВЦМ «Напри-2» при следующих постоянных параметрах: $b = 0,035$ м; $a = 0,06$ м; $c = 0,12$ м; $f_{\text{вн}} = 0,0005$ м; $k = 1$; $\delta = 0,4$; $\gamma_{\text{вн}} = 40$ кг/м²; $\gamma = 1200$ кг/м²; $\sigma = 4,0 \cdot 10^7$ н/м². На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов.

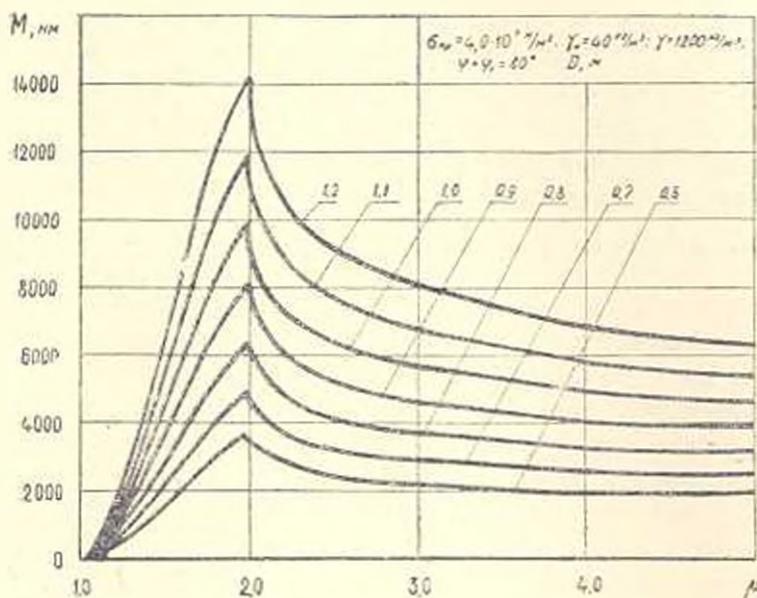


Рис. 2. Зависимости изменения вращающего момента водила от соотношения μ .

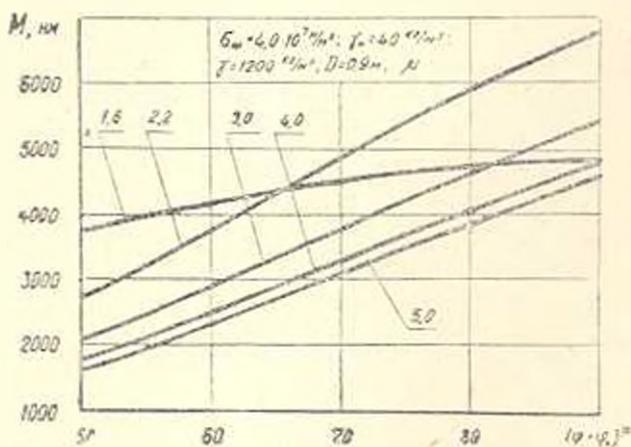


Рис. 3. Зависимости изменения вращающего момента водила от суммы углов $(\varphi + \psi)$ внешнего и внутреннего трения материала.

Из рис. 2 видно, что с увеличением μ величина M изменяется по двум закономерностям, разграниченным значением $\mu = 1 + \sin(\varphi + \psi_1)$.

По первой закономерности, т. е. в пределе увеличения μ от 1,0 до $1 + \sin(\varphi + \varphi_1)$, вращающий момент увеличивается от нуля до максимума. По второй закономерности, при увеличении μ от $1 + \sin(\varphi + \varphi_1)$, величина M уменьшается от максимума сперва резко, а затем с затухающей интенсивностью. Такое изменение величины M , в основном, объясняется характером изменения функции $R_k = f(\mu)$.

С увеличением суммы углов внешнего и внутреннего трения материала $(\varphi + \varphi_1)$ вращающий момент водила увеличивается (рис. 3). Причем, в первой закономерности функция $M = f(\varphi + \varphi_1)$ увеличивается менее интенсивно, чем во второй, что объясняется постоянством и равенством 90° величины $\arcsin \frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\mu - 1}$.

Вышесказанное позволяет заключить, что с целью обеспечения меньшего вращающего момента водила при проектировании кольцевых брикетных прессов необходимо придерживаться значений μ , больших или меньших величины $1 + \sin(\varphi + \varphi_1)$ (в данном случае $\mu \approx 2$), а также меньших значений количества k прессующих роликов. Окончательный выбор μ зависит, кроме того, от комплексного анализа влияния данной величины на производительность и потребляемую мощность пресса.

Арм ИИИМЭСХ

Поступило 20.XII.1978.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Додгов И. А., Васильев Г. К. Математические методы в земледельческой механике. М., «Колос» 1965.
- 2 Миркарян С. Е., Мисаелянц Г. Г., Коваленко А. И. Основные параметры кольцевых брикетных прессов. «Механизация и электрификация сов. сельск. хоз.», 1977, № 4.