

Элементы взаимодействия зерна с лопаткой барабана метателя

С.Н. Шуханов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО ИрННТУ

Развитие агропромышленного комплекса на современном этапе предполагает создание машин нового поколения, работающих на инновационных принципах. Не составляют в этом плане

исключения машины и аппараты для послеуборочной обработки зерна, в частности метатели зерна [1].

Анализ показывает, что наиболее эффективные с точки зрения качества работы это барабанные (порционные) метатели зерна [2, 3].

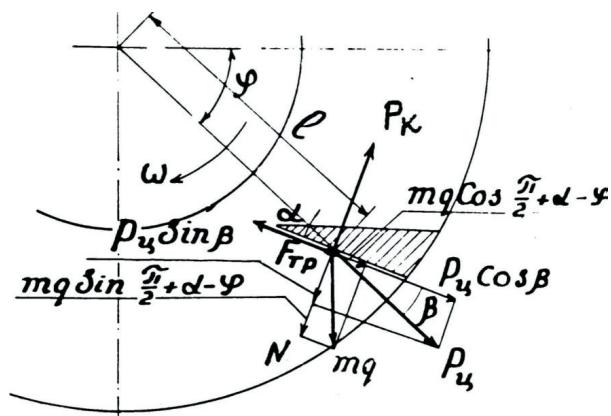


Рис. – Схема действия сил

Для разработки таких машин возникла необходимость аналитического исследования движения зерна в лопастном барабане. На рисунке приведена схема действия сил.

При проведении аналитических исследований использовали методы математического анализа.

Дифференциальное уравнение движения зерна по лопатке барабана метателя имеет вид:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = P_u \cos \beta - F_{mp} + G \cos\left(\frac{\pi}{2} + a - L\right), \quad (1)$$

где $P_u = ml\dot{\omega}^2$ – центробежная сила (здесь $\dot{\omega}$ – угловая скорость лопасти, рад/с);

$G = mg$ – сила массы;

$F_{mp} = fN$ – сила трения (здесь N – нормальная составляющая силы давления зерновки на лопатку, H ; f – коэффициент трения зерновки по лопасти);

m – масса зерновки, кг;

l – расстояние от центра зерновки до центра вращения лопатки, м.

Условие равновесия зерновки на лопатке имеет следующий вид:

$$N + P_u \sin \beta + G \sin\left(\frac{\pi}{2} + a - L\right) - P_k = 0, \quad (2)$$

где $P_k = 2m\dot{\omega} \frac{dl}{dt}$ – сила Кориолиса.

Обозначив угол поворота лопатки в рассматриваемое время до момента начала движения зерновки L , угол наклона лопатки к оси a и учитывая, что $\dot{\omega} \frac{dl}{dt}$ или $dt \frac{dl}{\dot{\omega}}$ и $N = P_k - P_u \sin \beta - G \sin\left(\frac{\pi}{2} + a - L\right)$, получим дифференциальное уравнение движения зерновки вида:

$$\frac{d^2 l}{dL^2} + 2f \frac{dl}{dL} - l(\cos \beta + f \sin \beta) = \frac{g}{\dot{\omega}^2} \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} + a - L\right) + f \sin\left(\frac{\pi}{2} + a - L\right) \right]. \quad (3)$$

Данное уравнение является линейным неоднородным второго порядка с постоянными коэффициентами. Общим решением такого

уравнения является сумма частного решения и полного решения соответствующего однородного уравнения.

Определим полное решение однородного уравнения:

$$\frac{d^2 l}{dL^2} + 2f \frac{dl}{dL} - l(\cos \beta + f \sin \beta) = 0. \quad (4)$$

Характеристическое уравнение его имеет вид:

$$h^2 + 2fh - (\cos \beta + f \sin \beta) = 0, \quad (5)$$

а его корни

$$h_1 = -f + \sqrt{f^2 + (\cos \beta + f \sin \beta)}, \quad (6)$$

$$h_2 = -f - \sqrt{f^2 + (\cos \beta + f \sin \beta)}.$$

Анализ выражения (6) показывает, что при значениях $f = 0,2-0,5$ и $\beta = 0-90^\circ$ (угол наклона центробежной силы к поверхности лопатки) подкоренное выражение есть величина положительная, следовательно, корни характеристического уравнения (5) действительны и различны. Поэтому общее решение однородного уравнения имеет вид:

$$l = C_1 e^{h_1 L} + C_2 e^{h_2 L}. \quad (7)$$

Правую часть равенства (3) можно привести к виду:

$$F_{(L)} = e^{mL} [P_{(L)} \cos^n L + Q_{(L)} \sin^n L]. \quad (8)$$

Тогда согласно уравнению (8) при $m=0, n=1$ получим:

$$P_{(L)} = \frac{g}{\dot{\omega}^2} (\cos \gamma + f \sin \gamma),$$

$$Q_{(L)} = \frac{g}{\dot{\omega}^2} (\sin \gamma - f \cos \gamma),$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + a.$$

В связи с тем что число $m + ni = 0 + 1i$ не является корнем характеристического уравнения (5), частное решение неоднородного уравнения вытекает из формулы:

$$l = A \cos L + B \sin L. \quad (9)$$

Далее:

$$l = C_1 e^{h_1 L} + C_2 e^{h_2 L} + A \cos L + B \sin L. \quad (10)$$

Значение коэффициентов C_1 и C_2 находим из начальных условий. Продифференцировав уравнение (10), получим выражение переносной скорости:

$$U_1 = C_1 e^{h_1 L} + C_2 e^{h_2 L} - A \sin L + B \cos L. \quad (11)$$

При $L=L_0, l=l_0, U=U_0$ получим:

$$l_0 = C_1 e^{h_1 L_0} + C_2 e^{h_2 L_0} - A \sin L_0 + B \cos L_0, \quad (12)$$

$$U_0 = \dot{\omega} (C_1 h_1 e^{h_1 L_0} + C_2 h_2 e^{h_2 L_0} - A \sin L_0 + B \cos L_0). \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) находим C_1 и C_2 .

Вывод. В ходе проведённых аналитических исследований удалось математически описать процесс движения зерна в лопастном барабане. Полученные результаты будут использованы при проектировании метателя зерна барабанного типа.

Литература

1. Шуханов С.Н. Устройство порционного типа для метания зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 6. С. 9–10.
2. Шуханов С.Н., Рыков И.Г. Совершенствование технических средств для метания зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 4. С. 17–19.
3. Шуханов С.Н., Токмакова А.Л. Обзор конструкций зернометательных машин // Вестник ИрГСХА. 2013. № 59. С. 111–115.