

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОМЕНТОВ И СИЛ ТРЕНИЯ ПРИ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ ПО ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Для механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских (ПРТС) операций с тарно-штучными грузами в пищевой промышленности применяются транспортирующие, погрузочно-разгрузочные, пакетоформирующие и штабелирующие машины. В местах соприкосновения грузов с направляющими элементами и грузонесущими органами этих машин возникают силы трения, которые существенно влияют на характер движения грузов по внутримашинным трассам.

Изучение основных закономерностей движения по шероховатой поверхности различных тел составляет предмет исследования раздела механики — математической теории трения [1, 3].

Однако основные положения математической теории трения пока не нашли применения при расчетах машин, механизмирующих ПРТС операции в пищевой промышленности. В значительной степени это объясняется сложностью и громоздкостью формул, описывающих моменты и силы трения даже в простейших случаях движения грузов по шероховатой поверхности.

Целью настоящей работы является разработка на базе основных положений математической теории трения упрощенных методов расчета величин моментов и результирующих сил трения при плоскопараллельном движении штучных грузов по шероховатой поверхности.

Штучные грузы в пищевой промышленности чаще всего имеют опорную поверхность в виде прямоугольника, кольца или круга. Рассмотрим методику определения главного момента трения M , главного вектора F сил трения и его смещения l от геометрического центра на примере плоскопараллельного движения груза, имеющего опорную поверхность прямоугольной формы. При решении задачи принимались следующие допущения: центр кривизны траектории движения геометрического центра опорной поверхности груза совпадал с мгновенным центром скоростей; удельное давление q груза на несущую плоскость было постоянно по всей площади контакта; коэффициент трения f принимался величиной постоянной [2].

Для случая расположения опорной поверхности груза, как показано на рис. 1, имеем

$$M = \int_{-a/2}^{a/2} dx \int_{p-b/2}^{p+b/2} f q \sqrt{x^2 + y^2} dy; \quad (1)$$

$$F_x = \int_{-a/2}^{a/2} dx \int_{\rho-b/2}^{\rho+b/2} f q \frac{y}{\sqrt{y^2 + x^2}} dy; \quad (2)$$

$$F_y = - \int_{-a/2}^{a/2} dx \int_{\rho-b/2}^{\rho+b/2} f q \frac{x}{\sqrt{y^2 + x^2}} dy; \quad (3)$$

$$l = \frac{M}{F} - \rho, \quad (4)$$

где a и b — соответственно длина и ширина опорной поверхности груза; ρ — расстояние от центра вращения до геометрического центра опорной поверхности; F_x и F_y — проекции главного вектора F сил трения.

Для представленного на рис. 1 расположения опорной поверхности груза справедливы равенства $F_x = F$ и $F_y = 0$. При $\rho = 0$ главный вектор сил трения равен нулю, а главный момент сил трения имеет минимальное значение; при $\rho = \infty$ наблюдается прямолинейное поступательное движение, которое характеризуется обычно только главным вектором сил трения, достигающим в этом случае своего максимального значения.

Во всех остальных случаях, когда выполняется неравенство $0 < \rho < \infty$, силы трения могут быть представлены и главным вектором и главным моментом.

Конечные формулы для M , F_x и F_y , полученные интегрированием выражений (1) — (3), имеют громоздкий и неудобный для практических расчетов вид. Поэтому подсчет значений M , F_x и F_y проводился на ЭВМ «Напри» при различных значениях a , b и ρ . Затем строились графики зависимости $M(\rho)$, $F(\rho)$.

Аналогичные вычисления проводились для случаев произвольной ориентации опорной поверхности груза по отношению к осям координат. Анализ полученных графических зависимостей показал, что для тары стандартных значений F_y при оценке сил трения можно пренебречь, так как для исследованных случаев величина F_y не превышает 5% от величины F_x .

Для получения более простых и удобных для инженерных расчетов формул проводилась аппроксимация зависимостей $M(\rho)$ и $F(\rho)$ функциями вида

$$M = M_0 e^{-n\rho} + fN\rho; \quad (5)$$

$$F = fN \operatorname{th}(k\rho); \quad (6)$$

$$l = \frac{M_0 e^{-n\rho} + fN\rho}{fN \operatorname{th}(k\rho)} - \rho, \quad (7)$$

где M_0 — значение главного момента трения при $\rho = 0$; n и k — постоянные коэффициенты, которые подбираются в зависимости от размеров опорной

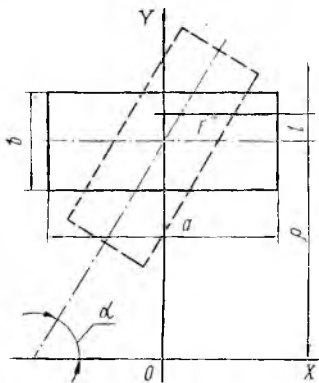


Рис. 1. Расчетная схема расположения опорной поверхности груза.

поверхности груза. Численные значения коэффициентов n и k для различных сочетаний размеров a и b опорной поверхности груза приведены в таблице.

На установке, созданной в лаборатории ПРТС операций кафедры деталей машин КТИПП, проводилась экспериментальная проверка полученных аппроксимационных зависимостей. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в соответствии с ГОСТ 8.207—76. На рис. 2 приведены экспери-

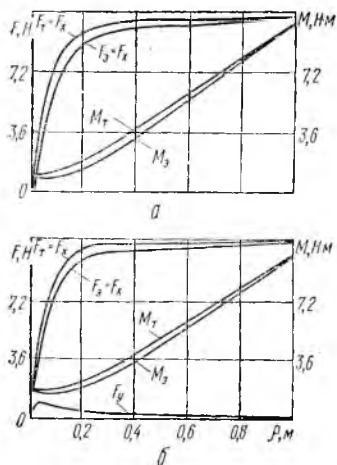


Рис. 2. График зависимости момента трения и равнодействующей сил трения штучного груза, расположенного длинной стороной параллельно оси абсцисс (а) и под углом 45° (б) от величины расстояния ρ от центра вращения до геометрического центра опорной поверхности.

ментальные значения M_3 и F_3 для штучного груза с опорной поверхностью площадью $0,250 \times 0,175$ м и массой 3 кг. Там же представлены теоретические значения величин момента трения M_T и силы трения F_T для указанного груза.

Эксперименты показали удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных величин M и F . Аналогичные исследования проводились для грузов, имеющих кольцеобразную и круглую форму опорной поверхности.

$a \times b$	n	k
0,1 × 0,1	21,85	18,69
0,2 × 0,1	13,38	13,15
0,2 × 0,2	14,12	10,72
0,1 × 0,2	22,78	14,00
0,4 × 0,2	8,05	7,73
0,4 × 0,4	7,14	4,63
0,2 × 0,4	10,24	5,18
0,8 × 0,4	4,24	3,71
0,8 × 0,8	3,43	2,49
0,4 × 0,8	4,63	2,91
1 × 1	2,72	1,92

Список литературы

1. Жуковский Н. Е. Условие равновесия твердого тела, опирающегося на неподвижную плоскость некоторой площадкой и могущего перемещаться вдоль этой плоскости с трением.— Собр. соч., т. 1. М.—Л., 1948.
2. Коренько А. С. Теория механизмов и машин. Киев, Вища школа, 1976.
3. Опейко Ф. А. Математическая теория трения. Минск, Наука и техника, 1971.

Поступила в редколлегию 14.03.78.