

Перемещение груза рабочими органами технологического оборудования

В.С. Гуць, д.т.н., А.А. Губеня, к.т.н., НУПТ, О.А. Коваль, к.т.н., КНТЭУ, г. Киев

При разработке конструкций упаковочного, резального, формующего и других видов оборудования необходимо учитывать деформацию продукта. Продукты деформируются рабочими органами технологического оборудования под действием движущей силы и сил сопротивления. Величина деформации зависит от структурно-механических свойств продукта и приводит к изменению усилий сопротивления смещению, резания, формования. Как следствие, ухудшается качество готовой продукции.

Характерным примером технологического и упаковочного оборудования, в котором предмет (продукт, упаковка) движется и деформируется под действием внешних сил, может быть перегрузочное устройство.

На рис. 1 показана схема транспортирования картонных ящиков ленточным транспортером с их дальнейшей перегрузкой. На транспортере 1 установлен упор 2, в который упираются ящики 3, постепенно накапливаясь. После этого пневмоцилиндр 4 сталкивает их с транспортера.

На ящик действуют движущая сила, от сцепления с транспортерной лентой сила трения и сила сопротивления движению от упора или другого ящика. При сталкивании с упором или другим ящиком или от усилия действия пневмоцилиндра ящики сложно деформируются в зависимости от ха-

рактера действующих сил. Это негативно влияет на внешний вид упаковки, приводит к ее смятию.

Для устранения данных недостатков проведено моделирование деформации упаковки (продукта) как функции приложенных сил.

Моделирование раскрывает связь между режимами движения груза и его структурно-механическими свойствами.

Рассмотрим случай, когда груз массой m движется под действием движущей силы рабочего органа.

Схематически такой случай показан на рис. 2.

Дифференциальное уравнение движения груза массой m в направлении x :

$$F_p = m \frac{d^2x}{dt^2} + F_{on} + F_{tr}, \quad (1)$$

где F_p — движущая сила;
 F_{on} — сила сопротивления;
 F_{tr} — сила трения;

$m \frac{d^2x}{dt^2}$ — сила инерции.

При условии, что все силы постоянные и движение начинается, когда $F_p > F_{on} + F_{tr}$, решим уравнение (1), приняв начальные условия $t = 0 \Rightarrow x(0) = 0$;

$\frac{dx}{dt} = 0$:

$$x(t) = \frac{1}{2} \frac{(F_p - F_{on} - F_{tr})t^2}{m} + x_0. \quad (2)$$

Дифференцируя уравнение (2), получаем выражение для определения скорости движения:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{(F_p - F_{on} - F_{tr})t}{m}. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) общеизвестны. Они позволяют определить расстояние, на которое будет перемещаться груз, и его скорость в любой момент времени. Зная последнюю, можно рассчитать мгновенную мощность приводного рабочего органа в любой момент времени t :

$$N = F_p \frac{dx(t)}{dt}. \quad (4)$$

Известно, что максимальная энергия необходима в начале движения, когда груз приходится сдвигать с места.

Когда груз находится в движении, перемещаясь со скоростью V_0 , тогда затраты энергии на его движение меньше.

В этом случае уравнение (4) запишем:

$$N = F_p \left(\frac{dx(t)}{dt} - V_0 \right). \quad (5)$$

Для расчета конструктивных параметров технологического оборудования необходимо получить давление, с каким груз массой m действует на упор или другую преграду (рис. 3). В этом случае сила сопротивления не постоянная, а зависит от реологических свойств преграды. Уравнение (1) запишем:

$$Q = \frac{1}{S} (F_p - F_{on} - F_{tr}), \quad (6)$$

где S — площадь контакта тела с упором, m^2 .

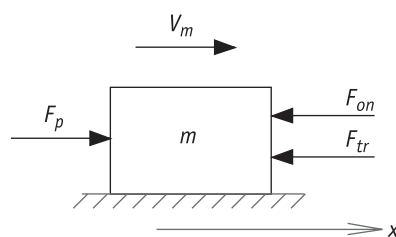
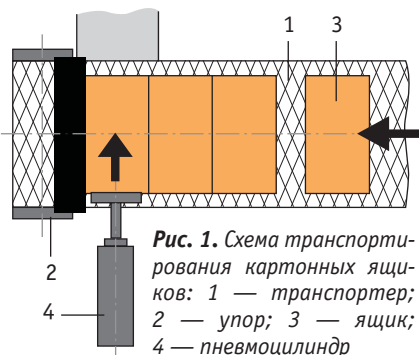


Рис. 2. Схема действия сил на груз массой m

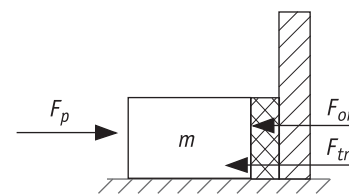
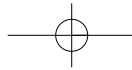


Рис. 3. Схема действия сил, когда груз упирается в преграду



Эта площадь может зависеть от перемещения x , например, для шара радиусом R , деформированого на величину x :

$$S = \pi \sqrt{2Rx - x^2}.$$

Для прямоугольного тела со сторонами a и b площадь сечения равна: $S = ab$.

Подставив в зависимость (6) выражение из уравнения (2), получим связь между давлением, смещением x груза и временем t . Аналогично, если использовать уравнение (3), получим связь между давлением, скоростью перемещения dx/dt и временем t .

Следует заметить, что для продуктов с вязкоупругопластичными свойствами необходимо учитывать их реологические характеристики.

Для относительно мягких, легко деформируемых упоров в месте контакта характерной является кинетическая кривая деформации γ , представленная на рис. 4.

При больших скоростях движения груза изменение размера упора (в направлении движения) происходит в виде волны с последующей остаточной деформацией γ_0 (рис. 5).

Определим связь между характером движения груза и реологическими характеристиками упора.

Рассмотрим различные случаи перемещения груза массой m при его контакте с деформируемой преградой (упором).

Случай 1. Упором является упругое тело, например пружина или резина, и груз в момент контакта двигается со скоростью V_0 (рис. 6).

Дифференциальное уравнение движения будет:

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + F_{on} + F_{tr} = 0. \quad (7)$$

Исходя из классического понимания реологии, когда рассматривается относительная деформация γ и напряжение F_{on}/S , запишем относительное смещение ΔL (рис. 7) при одностороннем деформировании в направлении x .

Деформацию упругого элемента запишем:

$$\gamma = \frac{L_H - L_T}{L_H} = \frac{\Delta L}{L_H} = \frac{x}{L_H} \Rightarrow x = \gamma \cdot L_H. \quad (8)$$

Силу сопротивления F_{on} найдем как сопротивление пружины деформированию:

$$F_{on} = c\gamma S. \quad (9)$$

где c — реологическая упругая составляющая, Па;

γ — относительная деформация;

S — площадь контакта, м².

Учитывая, что $\gamma = \frac{x(t)}{L_H}$, перепишем уравнение (7):

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{cx(t)S}{L_H} + F_{tr} = 0. \quad (10)$$

Найдем решение уравнения (10) при $F_{tr} = const$ и начальных условиях $t=0 \Rightarrow x(0)=0; V=V_0$:

$$x(t) = \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot V_0 \cdot \sqrt{L_H \cdot m}}{\sqrt{c \cdot S}} + \frac{\cos\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot F_{tr} \cdot L_H}{c \cdot S} - \frac{F_{tr} \cdot L_K}{c \cdot S}. \quad (11)$$

После дифференцирования уравнения (11) получаем выражение для определения скорости перемещения груза:

$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \cos\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot V_0 -$$

$$- \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot \sqrt{L_H} \cdot F_{tr}}{\sqrt{m \cdot c \cdot S}}. \quad (12)$$

Случай 2. В момент, когда пружина (упор) касается груза, на него дополнительно действует внешняя постоянная сжимающая сила F_p (рис. 8).

Дифференциальное уравнение движения в этом случае:

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{cx(t)S}{L_H} + F_{tr} - F_p = 0. \quad (13)$$

Решение уравнения (13) при начальных условиях $t=0 \Rightarrow x(0)=0; V=V_0$:

$$x(t) = \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot V_0 \cdot \sqrt{L_H \cdot m}}{\sqrt{c \cdot S}} + \frac{\cos\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot L_H \cdot (F_{tr} - F_p)}{c \cdot S} - \frac{L_H \cdot (F_p - F_{tr})}{c \cdot S}. \quad (14)$$

После дифференцирования уравнения (14) получаем выражение для определения скорости перемещения груза:

$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \cos\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot V_0 - \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot L_H \cdot (F_{tr} - F_p)}{\sqrt{m \cdot c \cdot S}}. \quad (15)$$

Случай 3. Движение начинается, когда груз соприкасается с упором под действием внешней сжимающей силы $F_p = const$ (рис. 9).

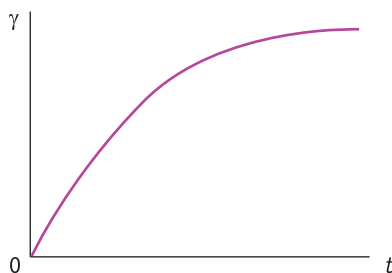


Рис. 4. Общий вид кинетической кривой деформации вязкоупругой системы

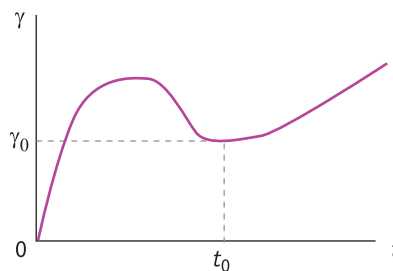


Рис. 5. Общий вид кинетической кривой деформации при импульсной (ударной) нагрузке при наличии силы F_p

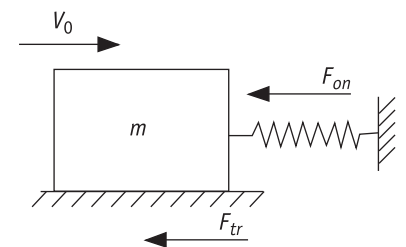
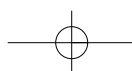


Рис. 6. Перемещение груза при контакте с упругим телом





100.000 посетителей в месяц!!!

БИЗНЕС

быстрый и удобный поиск партнеров
 Каталог предприятий - 7 000 компаний;
 Рубрикатор - 1 000 видов упаковок, оборудования и материалов;
 Торговая площадка - 5 000 коммерческих объявлений;
 Аналитическая база - более 100 маркетинговых обзоров;
 Банк вакансий и резюме;
 Удобный поиск всех данных по ключевым словам!

ИНФОРМАЦИЯ

владейте всей информацией о рынке
 Российские и международные новости;
 Интервью и аналитика;
 Пресс-релизы ведущих производителей;
 Дайджест газет и журналов;
 Анонсы выставок и отраслевых мероприятий;
 Форум: задай вопрос специалисту!

РЕКЛАМА

расскажите клиентам о себе
 Размещение информации в Каталоге предприятий;
 Размещение объявлений на Торговой площадке;
 Почтовая рассылка - более 17 000 подписчиков;
 Баннерная реклама;
 Опубликование пресс-релизов;
 Организация тендеров;
 Проведение промо-акций.

упаковка + этикетка + оборудование
 * сырье и материалы *
 переработка отходов + логистика



Дифференциальное уравнение движения:

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \frac{cx(t)S}{L_H} + F_{tr} - F_p = 0 \quad (16)$$

Решение уравнения (16) при $F_p = const$:

$$x(t) = \frac{\cos\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot L_H \cdot (F_{tr} - F_p)}{c \cdot S} + \frac{L_H \cdot (F_p - F_{tr})}{c \cdot S} \quad (17)$$

Выполнив дифференцирование, получаем выражение для определения скорости перемещения груза:

$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt} = -\frac{\sin\left(\sqrt{\frac{c \cdot S}{L_H \cdot m}} \cdot t\right) \cdot \sqrt{L_H} \cdot (F_{tr} - F_p)}{\sqrt{m \cdot c \cdot S}} \quad (18)$$

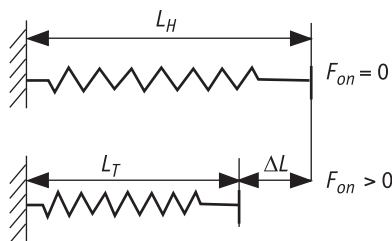


Рис. 7. Сжатие продукта на величину ΔL

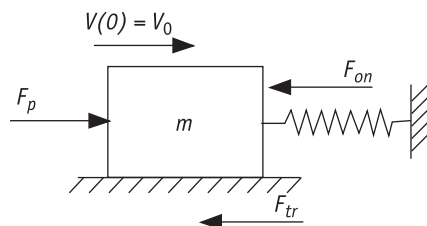


Рис. 8. Перемещение груза при $F_p = const$ и $V(0) = V_0$

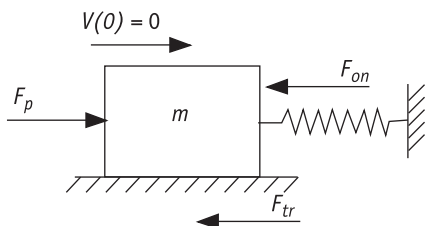


Рис. 9. Перемещение груза при $F_p = const$ и $V(0) = 0$

Выводы

Проведено математическое моделирование движения груза по шероховатой поверхности под действием движущей силы, сил сопротивления и трения. Полученные модели необходимы для определения характера перемещения груза при одновременном его деформировании.

Применение результатов при проектировании и выборе режимных параметров упаковочного, резального, формовального оборудования позволяет учитывать деформацию продукта, тем самым влияя на качество готовой продукции.

Литература

1. Коваль О.А., Гуць В.С. Распределение упругих волн деформирования в мясе // Известия ВУЗов. — Пищевая технология, 1990. — № 2–3. — С. 76–78.
2. Guts V. Gubenia O. Modeling of cutting of food products // EcoAgroTourism. — 2010. — N 1. — P. 67–71 [Romania].
3. Губеня А., Гуць В. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами // Хранительна наука, техника и технология 2010: Научна конференция с международно участие, Пловдив, 15-16 октомври 2010: Научни трудове: Том LVII, Свистък 2. — С. 411–416 [Bulgaria].

Перемещение вантажу рабочими органами технологического оборудования

В.С. Гуць, д.т.н., О.О. Губеня, к.т.н., О.А. Коваль, к.т.н.
 У статті представлено математичне моделювання руху тіла по шорсткій поверхні під дією рушійної сили, сили опору і тертя. Отримані рівняння дають можливість розглядати деформації тіл під час імпульсного навантаження для визначення фактичної швидкості руху тіла по шорсткій поверхні.
 Ключові слова: математичне моделювання; рух тіла; рушійна сила; сила тертя; швидкість; деформація; рівняння руху.

Moving goods by working bodies of technological equipment

V.S. Guts, Dr., A.A. Hubenya, Ph.D., O.A. Koval, Ph.D.
 Mathematical modelling a body movement on a rough surface under action of motive power, forces of resistance and friction is lead. The received equations allow to consider deformation bodies at a pulse load, to define actual speed of a body movement on a rough surface.
 Key words: mathematical modelling; body movement; motive power; friction power; speed; deformation; equation of movement.