



АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 2
апрель
2015

В номере:

*Определение технологических
параметров мобильных
раздатчиков кормов*

*Моделирование движения
грузов при паковании*

*Совершенствование оценки
эффективности и риска
инвестиций*

*Анализ энергоемкости производства
овощей защищенного грунта
(на материалах тепличных
предприятий Гомельской
области)*



МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВ ПРИ ПАКОВАНИИ

В.С. Гуць, докт. техн. наук, О.О. Губеня, канд. техн. наук, О.А. Коваль, канд. техн. наук
(Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина)

Аннотация

В статье предлагается усовершенствовать модели движения грузов по горизонтальным и наклонным поверхностям технологического оборудования под действием разных по своим характеристикам движущих сил с целью внедрения энергохранящих технологий, рационального выбора движущего механизма, сохранения целостности продукта. Математические модели движения груза получены на основании уравнений движения второго порядка и определяют перемещение, скорость груза, работу и мощность, затрачиваемые на перемещение в зависимости от времени перемещения, закона изменения движущей силы, угла наклона и свойств поверхности трения. Результаты целесообразно применять при проектировании упаковочного оборудования и точных линий производства пищевых продуктов, а также для внедрения энергохранящих технологий.

The article states that it is necessity to improve the models of load motion at the horizontal and sloping surfaces of the technological equipment at the action of different by descriptions motive forces with the purpose of introduction of the energy keeping technologies, rational choice of the motive mechanism and maintenance of the integrity of the product. The mathematical models of load motion are received on the basis of the equation of motion the second order and they determine the moving, the speed of the load, the work and the power of moving depending on time, law of change of the motive force, the angle of slope and the properties of the surface of friction. It is expedient to apply the results in design of packing equipment and tablets for production of food, and also for introduction of the energykeeping technologies.

Введение

При проектировании упаковочного оборудования и линий упаковки важным является понимание механизма движения грузов по горизонтальным и наклонным поверхностям технологического оборудования под действием разных по своим характеристикам движущих сил.

Перемещение груза может происходить под действием движущей силы, которая передается через рабочий орган грузу для придания ему движения с необходимой скоростью, на определенное, в зависимости от конструктивных особенностей упаковочной линии, расстояние. Например, груз необходимо перемещать таким образом, чтобы он остался невредимым, не деформировался, и попал в устройство захвата или фиксации рабочих органами упаковочной машины.

Необходимо получить ряд математических моделей, которые описывают движение груза, и определяют его перемещение, скорость и ускорение в различные моменты времени, с учетом траектории движения груза, свойств поверхности трения и других факторов.

Данные о законах перемещения и скорости груза позволяют определить работу, которая расходуется на выполнение операции перемещения груза и необходимую мощность процесса. Это, в свою очередь, позволяет выбрать рациональную мощность приводного механизма, обеспечить прочностные характери-

стики деталей и узлов оборудования, обеспечить его минимальную металлоемкость при соблюдении условий прочности и износостойкости.

Актуальность данной тематики подтверждается большим количеством статей в признанных научных изданиях [1-13].

В настоящее время вопросами моделирования движения грузов при паковании занимаются коллективы ученых под руководством А.И. Соколенко [1], А.Н. Гаввы [11, 12], В.С. Гуця [2], Young Teck Kim [4], S.J. James, J.A. Evans [3], J.S. Dai [4], Mahsa Parvini [6] и др.

Цель данных исследований – определить законы движения грузов при их перемещении по разным поверхностям под действием движущей силы, и на основании полученных законов определить работу и мощность на перемещение. Задачи исследования:

- математически описать движение груза по разным поверхностям в виде дифференциального уравнения движения второго порядка;

- определить изменение скорости и перемещения груза в различные моменты времени, при перемещении по горизонтальной и наклонной поверхности, при разных законах изменения приложенной движущей силы;

- определить работу и мощность, необходимую для перемещения грузов.

Объект исследований – движение груза в упаковочном оборудовании.

Основная часть

Рассмотрим движение груза под действием движущей силы по горизонтальной (рис. 1) и наклонной (рис. 2) поверхности.

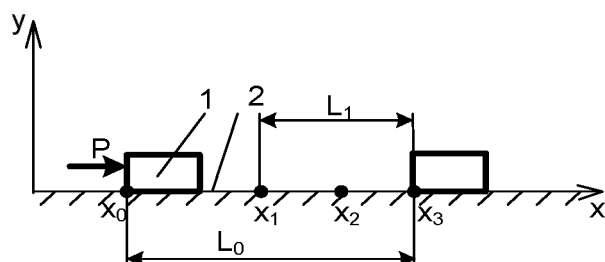


Рисунок 1. Перемещение груза по горизонтальной поверхности: P – движущая (толкающая) сила; α – угол наклона поверхности, по которой груз перемещается под действием движущей силы; β – угол наклона поверхности, по которой груз двигается самостоятельно; L_0 – расстояние, на которое перемещается груз; L_1 – расстояние, на которое груз перемещается самостоятельно без помощи движущей силы P ; S – путь перемещения (для горизонтальной поверхности $L=S$)

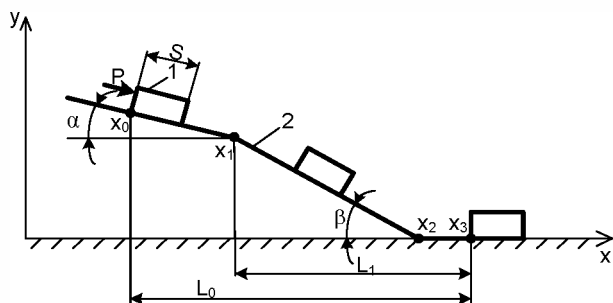


Рисунок 2. Перемещение груза по наклонной поверхности

В общем случае дифференциальное уравнение движущей силы для малых скоростей перемещения без учета сопротивления воздуха:

$$P(t) = fmg \cos \alpha - mg \sin \alpha + m \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (1)$$

С учетом сопротивления воздуха:

$$P(t) = fmg \cos \alpha - mg \sin \alpha + m \frac{d^2 s}{dt^2} + k_1 \frac{ds}{dt}, \quad (2)$$

где P – движущая сила, Н;

m – масса груза, кг;

f – коэффициент трения;

k_1 – коэффициент дополнительного сопротивления (воздуха, рабочих органов исполнительных механизмов транспортных систем и др. неучтенных факторов).

Движущая сила должна обеспечить перемещение груза на заданное конструктивными потребностями упаковочной линии расстояние L_0 или обеспечить движение груза с определенной скоростью. При этом энергетические расходы должны быть минимальные.

Движущая сила может быть постоянной $P = \text{const}$, изменяться по линейному $P = a - bt$ или нелинейному $P = a - b_1 t^2$ законам, в импульсном или других режимах.

Например, при использовании кулачкового механизма движущая сила будет зависеть от смещения геометрического параметра R кулачка, угловой скорости ω , текущего времени t , жесткости C пружины, через которую кулачок действует на толкающий механизм. В этом случае ее можно описать уравнением

$$P_k = CR(1 - \cos \omega t). \quad (3)$$

Рассмотрим наиболее распространенные случаи, когда движущая сила действует на груз постоянно или по линейному и нелинейному закону.

Для горизонтальной поверхности, приняв начальные условия: $t=0 \Rightarrow S(0)=0; V(0)=0$, получим решение уравнения (1).

При $P = \text{const}$, $\cos \alpha = 1$; $\sin \alpha = 0$:

$$S(t) = \frac{(P - fmg)t^2}{2m}; \quad (4)$$

при $P = a - bt$

$$S(t) = \frac{at^2}{2m} - \frac{t^2}{2} fg - \frac{bt^3}{6m}; \quad (5)$$

при $P = a - b_1 t^2$

$$S(t) = \frac{at^2}{2m} - \frac{t^2}{2} fg - \frac{bt^4}{12m} \quad (6)$$

Продифференцировав уравнения (4), (5), (6), найдем скорость движения груза:

$$V(t) = \frac{Pt}{m} - fgt; \quad (7)$$

$$V(t) = \frac{at}{m} - fgt - \frac{bt^2}{2}; \quad (8)$$

$$V(t) = \frac{at}{m} - fgt - \frac{bt^3}{3m} \quad (9)$$

(10)

Если движение происходит по наклонной поверхности, тогда $\cos \alpha \neq 1$; $\sin \alpha \neq 0$. При аналогичных начальных условиях $t=0 \Rightarrow S(0)=0; V(0)=0$ получим смещение $S(t)$ и соответствующую скорость движения

Для $P = \text{const}$:

$$S(t) = \frac{1}{2} \frac{(mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha + P)t^2}{m} \quad (11)$$

Для $P = a - bt$:

$$S(t) = \frac{1}{2} \frac{mg \sin \alpha t^2 - \frac{1}{2} fmg \cos \alpha t^2 + \frac{at^2}{2} - \frac{bt^3}{6}}{m} \quad (12)$$

Для $P = a - b_1 t^2$:

$$S(t) = \frac{1}{2} \frac{mg \sin \alpha t^2 - \frac{1}{2} fmg \cos \alpha t^2 + \frac{at^2}{2} - \frac{bt^4}{12}}{m} \quad (13)$$

Выполнив дифференцирование уравнений (11), (12) и (13), найдем скорость движения груза

$$V(t) = \frac{(mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha + P)t}{m}; \quad (14)$$

$$V(t) = \frac{(mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha + a - \frac{bt}{2})t}{m}; \quad (15)$$

$$V(t) = \frac{(mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha + a - \frac{bt^2}{3})t}{m} \quad (16)$$

В случае, когда известна начальная скорость V_1 , с которой груз попадает на поверхность в точку x_1 (рис. 1), и на него не действует движущая сила, уравнение движения без учета сопротивления воздуха:

$$fg \cos \beta - g \sin \beta + \frac{d^2 s}{dt^2} = 0 \quad (17)$$

При начальных условиях $t=0 \Rightarrow S(0)=0; V(0)=V_1$, получим его решение:

$$S(t) = \frac{t^2}{2} (g \sin \beta - fg \cos \beta) + V_1 t \quad (18)$$

Выполнив дифференцирование, найдем скорость движения:

$$V(t) = t(g \sin \beta - fg \cos \beta) + V_1 \quad (19)$$

Груз остановится, когда $V=0$. Тогда из уравнения (19) найдем необходимое для этого время t . Подставив его в уравнение (18), найдем перемещение S до остановки, как функцию от V_1, t, f, β .

Важным фактором проектирования технологических линий является минимизация энергозатрат для перемещения грузов.

Работу A , расходуемую для перемещения, можно рассчитывать, определив интеграл. Для $P = const$:

$$A_1 = \int_0^{t_1} P(t) ds(t) = \int_0^t Pt \left(\frac{P}{m} - fg \right) dt = \frac{Pt_1^2}{2} \left(\frac{P}{m} - fg \right); \quad (20)$$

для $P = a - bt$:

$$A_2 = \int_0^{t_2} P(t) ds(t) = \int_0^{t_2} (a - bt) \left(\frac{at}{m} - fg - \frac{bt^2}{2} \right) dt =$$

$$= \frac{1}{8} b^2 t_2^4 - \frac{ab}{3} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{m} \right) t_2^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{a^2}{m} + bfg \right) t_2^2 - afg t_2; \quad (21)$$

для $P = a - bt^2$:

$$A_3 = \int_0^{t_3} (a - bt^2) \left(\frac{at}{m} - fgt - \frac{bt^3}{3m} \right) dt = \frac{b^2 t_3^6}{18m} +$$

$$+ \frac{t_3^4}{4} \left[b \left(fg + \frac{a}{m} \right) - \frac{ba}{3m} \right] + \frac{at_3^2}{2} \left(\frac{a}{m} - fg \right). \quad (22)$$

Расходы энергии зависят от длительности действия движущей силы. Она зависит от конструкции

рабочих органов исполнительных механизмов транспортных систем.

Когда при выполнении инженерных расчетов необходимо определить расходы энергии на единицу времени – мощность, тогда нужно провести дифференцирование уравнений (20), (21) и (22).

В первом случае, когда $P = const$:

$$N_1 = \frac{dA_1}{dt_1} = P \left(\frac{P}{m} - fg \right) t_1; \quad (23)$$

во втором, когда $P(t) = a + bt$:

$$N_2 = \frac{dA_2}{dt_2} = \frac{1}{2} b^2 t_2^3 + \left(-\frac{ab}{2} - \frac{ba}{m} \right) t_2^2 +$$

$$+ \left(\frac{a^2}{m} + bfg \right) t_2 - afg; \quad (24)$$

в третьем, когда $P(t) = a + bt^2$:

$$N_3 = \frac{dA_3}{dt_3} = \frac{1}{3} \frac{b^2 t_3^5}{m} +$$

$$+ \left(-\frac{ab}{3m} - b \left(\frac{a}{m} - fg \right) \right) t_3^3 + a \left(\frac{a}{m} + fg \right) t_3 \quad (25)$$

Заключение

Разработанные математические модели позволяют рассчитать скорость движения, перемещение груза, энергетические расходы на перемещение в зависимости от типа и ориентации поверхности трения, времени движения, типа движущего механизма и закона изменения движущей силы.

Научная новизна заключается в получении ряда математических моделей движения груза на основании дифференциальных уравнений движения второго порядка. Работа и расход энергии на перемещение груза представлены как зависимости от характера и длительности действия движущей силы, что позволяет рассчитать их на любом этапе движения.

Полученные результаты целесообразно применять при проектировании транспортного оборудования и поточных линий производства пищевых продуктов, а также для внедрения энергосберегающих технологий.

В следующих исследованиях целесообразно установить изменение положения, скорости и ускорения, а также работы и мощности перемещения груза при более сложных законах изменения движущей силы. Например, если груз получает движение от кулачкового или кривошипно-шатунного механизма через пружину или через систему с более сложными упруго-вязкими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколенко, А. І. / А.І Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний. Моделювання процесів пакування // Нова книга. – Вінниця, 2004.

Технологии переработки продукции АПК

2. Гуць, В.С. Енергетика механічних процесів пакування / В.С. Гуць // Упаковка, 2001. – № 6. – С. 20-22.

3. James S.J., James C., Evans J.A. (2006), Modelling of food transportation systems – a review, International Journal of Refrigeration, 29(6), pp. 947-957.

4. Young Teck Kim, Byungjin Min, Kyung Won Kim (2014), General Characteristics of Packaging Materials for Food System, Innovations in Food Packaging (Second Edition), pp. 13-35.

5. Dai J.S. (2013), 17 – Robotics and automation for packaging in the confectionery industry, Robotics and Automation in the Food Industry, pp. 401-419.

6. Mahsa Parvini (2011), Packaging and Material Handling. Logistics Operations and Management, pp. 155-180.

7. Гуць, В.С. Перемещение груза рабочими органами технологического оборудования / В.С. Гуць, О.А. Коваль, А.А. Губеня // Упаковка, 2011. – № 3. – С. 39-40.

8. Gubenia O., Guts V. (2010), Modeling of cutting of food products, Journal of EcoAgriTourism, 6, pp. 67-71.

9. Viktor Guts, Oleksiy Gubenia, Stefan Stefanov,

Wilhelm Hadjiiski (2010), Modelling of food product cutting, 10th International conference “Research and development in mechanical industry–2010”, Donji Milanovac, Serbia, 2, pp. 1100-1105.

10. Viktor Guts, Oleksii Gubenia (2013), Estimation of competition and process equipment technological level, The second north and east european congress on food, p. 48

11. Гава, А. М. Исследование операций группового упаковывания с учетом структурно-механических характеристик упаковочных единиц / А.М. Гава, В.В. Халайджи, С.В. Токарчук // Научни трудове на УХТ, 2011. – № 58 (3). – С. 384–390.

12. Гава, А.М. Диференціація операцій групового пакування / А.М. Гава, В.В. Халайджи, А.І Волчко // Упаковка, 2009. – №. 6. – С. 35-40.

13. Guts V, Gubenia O. (2012), Cutting of multi-layered products in food industry, Journal of EcoAgriTourism, 8, pp. 158-161.

14. Goots V., Gubenia O., Lukianenko B. (2013), Modeling of cutting of multilayer materials, Journal of food and packaging Science, Technique and Technologies, 2(2), pp. 294-299.