

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

У С С Р

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 621.86.016

В.М.Любимов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТАРНО-ШТУЧНОГО
ГРУЗА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СОСТАВНОМУ ГРАВИТАЦИОННОМУ
СПУСКУ



Киев - 1983

39897-289

В конвейерных линиях пищевых предприятий при продольной передаче тарно-штучных грузов с подающего конвейера на отводящий, расположенные на разных уровнях (например, из упаковочного или расфасовочного отделения на втором этаже в складское помещение на первом этаже), с целью устранения этапа свободного падения груза под действием силы тяжести применяют гравитационные транспортирующие устройства — гравитационные спуски (склизы). Применение гравитационных спусков целесообразно вследствие следующих преимуществ:

- поштучное движение грузов осуществляется под действием силы тяжести и не требуется использования специальных механизмов и дополнительных затрат энергии;
- надежность и простота конструкции;
- дешевизна изготовления, монтажа и эксплуатации.

Выполняются гравитационные спуски, как правило, из тонколистовой стали со специальными покрытиями или без них. Возможно также использование для изготовления спусков дерева, пластмасс. Наиболее просты по конструкции прямолинейные спуски, но они обладают существенным недостатком. Установка спуска под большим углом β к горизонту влечет за собой повышение конечной скорости груза на выходе и, соответственно, величины ударного импульса в момент контакта груза с несущей поверхностью отводящего конвейера, что приводит к повреждению тары и снижению качества затаренного пищевого продукта, опрокидыванию груза, падению его на пол помещения. Для уменьшения конечной скорости груза в условиях

геометрических ограничений спуски выполняют составными, состоящими из двух наиболее прямолинейных участков (рисунок). При этом целесообразно выполнение неравенства

$$\beta_1 > \beta_2 > \dots \beta_n ,$$

где β_1 - угол наклона к горизонту первого участка;

β_2 - угол наклона к горизонту второго участка;

β_n - угол наклона к горизонту n -го участка.

На участках, где $\beta < \arctan f$, происходит торможение груза, вследствие чего достигается уменьшение скорости груза на выходе. Дополнительного эффекта торможения можно добиться применяя поверхности с различными коэффициентами трения скольжения, увеличивая этим сопротивление движению на последних участках спуска. Методика расчета и выбора геометрических параметров прямолинейных наклонных гравитационных спусков приводится в работах /1,2 и др./, однако расчет кинематических параметров груза на стыке двух прямолинейных участков с учетом его габаритов в научно-технической литературе отсутствует. Это не позволяет точно определить скорость груза на выходе и величину ударного импульса, полное время его движения по составному спуску и рассчитать минимально допустимый линейный интервал их следования на подходе к спуску, при котором еще будет обеспечиваться зазор между грузами в процессе их движения по составному спуску.

Исследуем плоское движение груза на стыке двух прямолинейных участков составного гравитационного спуска. Воспользуемся системой координат x_1, y_1 (рисунок) и составим дифференциальные уравнения плоского движения груза:

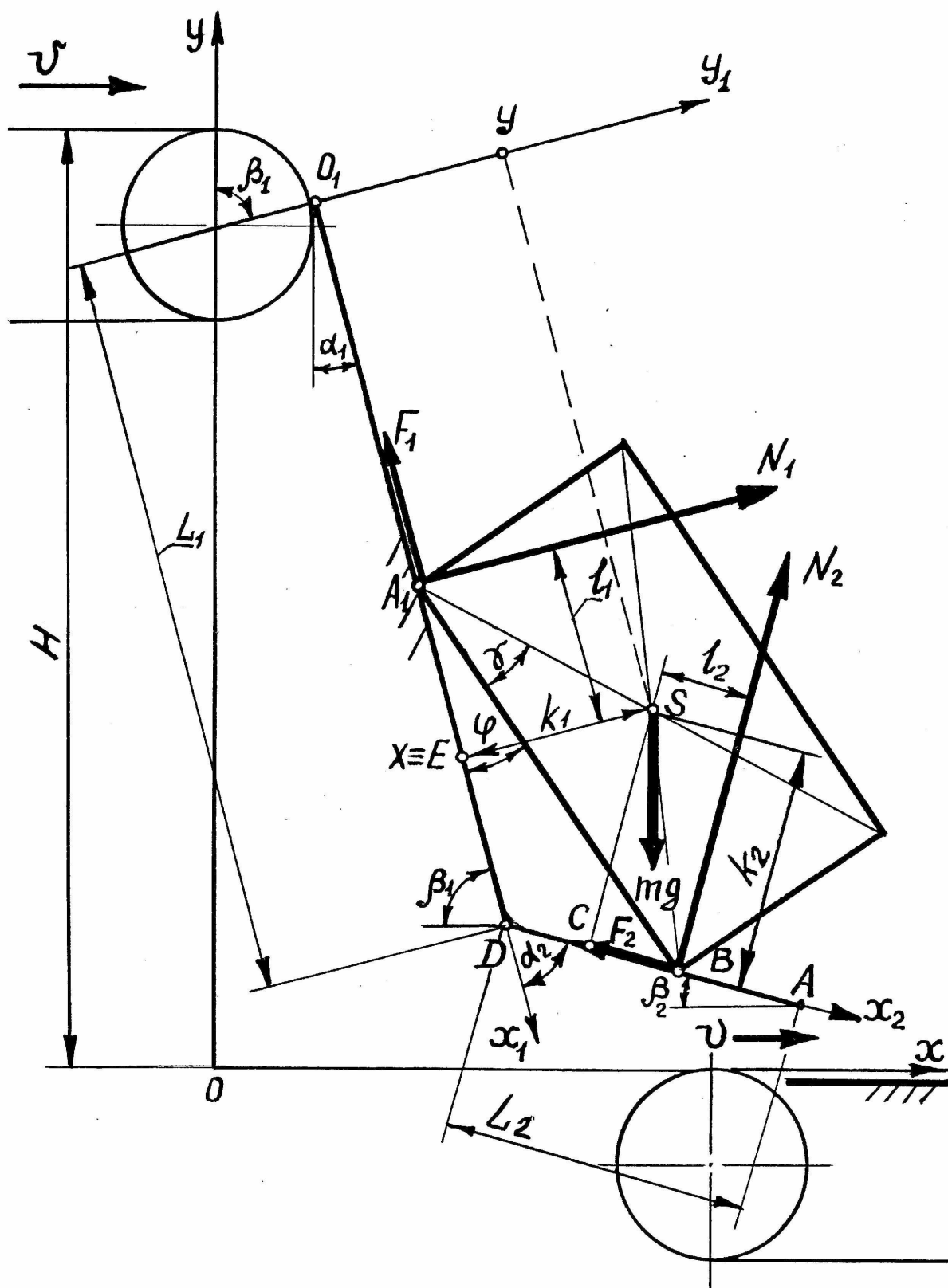


Схема взаимодействия сил при движении груза по составному гравитационному спуску

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_1 &= mg\cos\alpha_1 - F_1 - F_2\cos\alpha_2 - N_2\sin\alpha_2, \\ m\ddot{y}_1 &= N_1 + N_2\cos\alpha_2 - mg\sin\alpha_1 - F_2\sin\alpha_2, \\ J\ddot{\varphi} &= N_2\ell_2 - F_2k_2 - N_1\ell_1 - F_1k_1, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где N_1 и N_2 - реакции поверхностей первого и второго участков спуска на груз;

$F_1 = f_1 N_1$ - сила трения скольжения на первом участке составного спуска;

$F_2 = f_2 N_2$ - сила трения скольжения на втором участке составного спуска;

f_1 и f_2 - коэффициенты трения скольжения на первом и втором участке составного спуска;

ℓ_1 и ℓ_2 - плечи приложения реакций N_1 и N_2 ;

k_1 и k_2 - плечи приложения сил трения F_1 и F_2 .

Из прямоугольного $\triangle ASE$ находим

$$\ell_1 = 0,5 c \cos(\varphi + \gamma), \quad (2)$$

$$k_1 = 0,5 c \sin(\varphi + \gamma), \quad (3)$$

где c - длина диагонали боковой поверхности груза.

Из прямоугольного $\triangle BSC$ находим

$$\ell_2 = 0,5 c \cos(\gamma + \alpha_2 - \varphi), \quad (4)$$

$$k_2 = 0,5 c \sin(\gamma + \alpha_2 - \varphi), \quad (5)$$

где $\angle SBC = \gamma + \angle A_1BD = \gamma + \pi - (\pi - \alpha_2) - \varphi = \gamma + \alpha_2 - \varphi$.

Преобразуем систему уравнений (1) с учетом (2)-(5) и получим

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_1 &= mg\cos\alpha_1 - f_1 N_1 - N_2(\sin\alpha_2 + f_2\cos\alpha_2), \\ m\ddot{y}_1 &= N_1 + N_2(\cos\alpha_2 - f_2\sin\alpha_2) - mg\sin\alpha_1, \\ \frac{mc}{6}\ddot{\varphi} &= N_2(\cos(\gamma + \alpha_2 - \varphi) - f_2\sin(\gamma + \alpha_2 - \varphi)) - \\ &\quad - N_1(\cos(\gamma + \varphi) + f_1\sin(\gamma + \varphi)). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} a_1 &= (\cos \alpha_2 - f_2 \sin \alpha_2); & a_2 &= (\sin \alpha_2 + f_2 \cos \alpha_2); \\ b_1 &= \cos(\gamma + \varphi) + f_1 \sin(\gamma + \varphi), & b_2 &= \cos(\alpha_2 + \gamma - \varphi) - f_2 \sin(\alpha_2 + \gamma - \varphi). \end{aligned}$$

С учетом введенных обозначений система уравнений (6) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} m \ddot{x}_1 &= mg \cos \alpha_1 - f_1 N_1 - N_2 a_2, \\ m \ddot{y}_1 &= N_1 + N_2 a_1 - mg \sin \alpha_1, \\ \frac{mc}{6} \ddot{\varphi} &= N_2 b_2 - N_1 b_1. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

С целью решения системы уравнений (7) находим дополнительные уравнения геометрических связей:

$$x_1 = L_1 - \overline{A_1 D} + \overline{A_1 E} = L_1 - \overline{A_1 D} + 0,5c \cos(\gamma + \varphi), \quad (8)$$

$$y_1 = k_1 = 0,5c \sin(\gamma + \varphi), \quad (9)$$

где x_1 и y_1 — проекции центра масс S груза на оси координат.

По теореме синусов из $\Delta A_1 B D$ находим отношение:

$$\frac{\overline{A_1 B}}{\sin(\pi - \alpha_2)} = \frac{\overline{A_1 D}}{\sin(\alpha_2 - \varphi)},$$

тогда

$$\overline{A_1 D} = \overline{A_1 B} \frac{\sin(\alpha_2 - \varphi)}{\sin(\pi - \alpha_2)} = c \frac{\cos \gamma \sin(\alpha_2 - \varphi)}{\sin \alpha_2}, \quad (10)$$

где $\overline{A_1 B} = c \cos \gamma$ — длина груза.

Преобразуем уравнение (8) с учетом (10) и получим

$$\begin{aligned} x_1 &= L_1 - \frac{c \cos \gamma \sin(\alpha_2 - \varphi)}{\sin \alpha_2} + 0,5c \cos(\varphi + \gamma) = L_1 - 0,5c \cos \gamma \cos \varphi + \\ &\quad + c \sin \gamma (\operatorname{ctg} \gamma \operatorname{ctg} \alpha_2 - 0,5) \sin \varphi, \end{aligned}$$

или

$$x_1 = L_1 - 0,5c (\cos \gamma \cos \varphi - a_3 \sin \varphi), \quad (11)$$

где $a_3 = (2 \cos \gamma \operatorname{ctg} \alpha_2 - \sin \gamma) \dot{\varphi}$.

Продифференцируем дважды уравнения (9) и (11) и получим

$$\dot{x}_1 = 0,5 c (\cos \gamma \sin \varphi + a_3 \cos \varphi) \dot{\varphi}, \quad (12)$$

$$\dot{y}_1 = 0,5 c \cos(\gamma + \varphi) \dot{\varphi}, \quad (13)$$

$$\ddot{x}_1 = \ddot{\varphi} \cdot 0,5 c (\cos \gamma \sin \varphi + a_3 \cos \varphi) + \dot{\varphi}^2 0,5 c (\cos \gamma \cos \varphi - a_3 \sin \varphi), \quad (14)$$

$$\ddot{y}_1 = \ddot{\varphi} 0,5 c \cos(\gamma + \varphi) - \dot{\varphi}^2 0,5 c (\cos \gamma \cos \varphi - a_3 \sin \varphi). \quad (15)$$

Введем обозначения: $b_3 = \cos(\gamma + \varphi)$, $b_4 = \sin(\gamma + \varphi)$,

$$b_5 = (\cos \gamma \sin \varphi + a_3 \cos \varphi), \quad b_6 = (\cos \gamma \cos \varphi - a_3 \sin \varphi).$$

Перепишем уравнения (14) и (15) с учетом введенных обозначений и получим

$$\ddot{x}_1 = \ddot{\varphi} 0,5 c b_5 + \dot{\varphi}^2 0,5 c b_6, \quad (16)$$

$$\ddot{y}_1 = \ddot{\varphi} 0,5 c b_3 - \dot{\varphi}^2 0,5 c b_4. \quad (17)$$

Решая совместно первые два уравнения системы (7) и, введя обозначения, находим

$$N_1 = m \ddot{y} \left(-\frac{a_2}{a_4} \right) - m \ddot{x} \frac{a_1}{a_4} + m g \frac{a_5}{a_4}, \quad (18)$$

$$N_2 = m \ddot{y} \frac{f_1}{a_4} + m \ddot{x} \frac{1}{a_4} + m g \frac{a_6}{a_4}, \quad (19)$$

где $a_4 = (a_1 f_1 - a_2)$, $a_5 = (a_1 \cos \alpha_1 - a_2 \sin \alpha_1)$,

$$a_6 = (f_1 \sin \alpha_1 - \cos \alpha_1).$$

Преобразуем уравнения (18) и (19) с учетом (16) и (17) и, приведя подобные члены, находим

$$N_1 = 0,5 m c \frac{(-a_2 b_3 - a_1 b_5)}{a_4} \ddot{\varphi} + 0,5 m c \frac{(a_2 b_4 - a_1 b_6)}{a_4} \dot{\varphi}^2 + m g \frac{a_5}{a_4}, \quad (20)$$

$$N_2 = 0,5 m c \frac{(f_1 b_3 + b_5)}{a_4} \ddot{\varphi} + 0,5 m c \frac{(b_6 - f_1 b_4)}{a_4} \dot{\varphi}^2 + m g \frac{a_6}{a_4}. \quad (21)$$

Решая третье уравнение системы (7) с учетом (20) и (21), находим

$$\ddot{\varphi} = \frac{\dot{\varphi}^2 (b_2 b_6 - f_1 b_2 b_4 - a_2 b_1 b_4 + a_1 b_1 b_5) + \frac{2g}{c} (b_2 a_6 - b_2 a_5)}{\frac{a_4}{3} - f_1 b_2 b_3 + b_2 b_5 + a_2 b_1 b_3 + a_1 b_1 b_5}. \quad (22)$$

Дифференциальное уравнение (22) нелинейно и аналитически не решается. Решая его численно на ЭВМ при начальных условиях

$$\varphi_0 = 0, \quad \dot{\varphi}_0 = 0 \text{ при } t = 0, \quad (23)$$

находим кинематические параметры груза $t, \varphi, \dot{\varphi}$ и $\ddot{\varphi}$. Подставляя полученные значения в уравнения (8), (11), (12)-(15), находим $x_1, y_1, \dot{x}_1, \dot{y}_1, \ddot{x}_1$ и $\ddot{y}_1$. Силовые параметры находим из уравнений (20) и (21). Груз полностью перейдет на второй прямолинейный участок гравитационного спуска в момент нарушения условия

$$\varphi \geq \alpha_2 \quad (24)$$

В дальнейшем груз продолжит движение по второму прямолинейному участку составного спуска, наклоненному под углом α_2 к первому участку составного спуска. Взяв за начальные условия кинематические параметры груза в момент полного перехода его на второй участок, находим скорость $\dot{x}_2$ и ускорение $\ddot{x}_2$ груза на выходе из спуска по приведенным в работе /1/ формулам, предварительно направив ось x_2 вдоль спуска (см. рисунок). В момент пересечения центром масс S вертикальной линии, проходящей через точку A , заканчивается этап движения груза по второму прямолинейному участку составного гравитационного спуска.

Полное время T движения груза по составному спуску определится по формуле:

$$T = t_1 + t_2 + t_3,$$

где t_1 - время движения груза на первом прямолинейном участке;

t_2 - время движения груза на стыке прямолинейных участков;

t_3 - время движения груза на втором прямолинейном участке.

С учетом полученных аналитических зависимостей предста-

вляется возможным более точно определять кинематические параметры груза на выходе со спуска и полное время его движения. Особенно в тех случаях, когда длина груза соизмерима с длинами прямолинейных участков.

Проведенные исследования позволяют с достаточным научно-техническим обоснованием разработать рекомендации по выбору геометрических параметров составного гравитационного спуска.

Список использованной литературы

1. Пакетоформирующие машины /А.П.Кривопляс, А.А.Кукибный, А.П.Беспалько и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 239 с.
2. Механизация работ в хлебохранилищах и экспедициях хлебозаводов /Э.А.Бронштейн, Ю.В.Бурляй, Ш.П.Сасс, Л.А.Сухой. - М.: Пищевая промышленность, 1973. - 303 с.

Печатается в соответствии с решением ученого
совета факультета машин и аппаратов пищевых
производств Киевского ордена Трудового Красного
Знамени технологического института пищевой
промышленности от 23 декабря 1983 года,
протокол № 4