МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УССР

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 664.97.05:681.1

А.И.Волчко, А.П.Кривопляс
В.М.Любимов

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРАВНИВАНИЯ ПОТОКА ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ НЕПОДВИЖНЫМ УПОРОМ

Деп. в УкрНИИНТИ 18.02.87

Киев - 1987

При механизированной укладке штучных грузов в транспортную тару для более полного использования технических возможностей укладочного устройства целесообразно потоки грузов от двух фасовочных автоматов объединять на ленте магистрального конвейера в один грузопоток. При объединении двух потоков, которые движутся по одной оси навстречу друг другу, возможно наложение грузов друг на друга (рис.Iа). Для устранения этого явления (выравнивания потока грузов по высоте) над магистральным конвейером устанавливается неподвижный Г-образный упор, который сбрасывает верхний груз на ленту магистрального конвейера. При сбрасывании горизонтальная плоскость упора не позволяет грузу повернуться вокруг ребра А (рис.Iв) на большой угол и предохраняет его от опрокидывания силой трения, возникающей в момент касания грузом ленты конвейера. При выравнивании потока можно выделить шесть основных этапов:

I-й этап - скольжение грузов относительно друг друга (рис.Iа);

2-й этап - разворот верхнего груза при одновременном контакте его с ребром нижнего груза и ребром упора (рис.Iб);

3-й этап - разворот верхнего груза при одновременном контакте его с ребром нижнего груза, ребром упора и горизонтальной плоскостью упора (рис.Iв);

4-й этап - разворот верхнего груза при одновременном контакте его с ребром нижнего груза, ребром упора и лентой конвейера (рис.Iг);

5-й этап - разворот верхнего груза при одновременном контакте его с ребром упора и лентой конвейера (рис.Iд);

6-й этап - падение груза на ленту конвейера (рис.Iе).

Максимальная производительность магистрального конвейера определяется минимально допустимым шагом размещения грузов на ленте конвейера, при котором сбрасываемый груз помещается в интервале между нижним грузом и следом за ним идущим. Величина допустимого шага зависит от времени протекания рассматриваемых выше шести этапов и выбранной скорости ленты магистрального конвейера. Наибольшие затруднения здесь возникают при расчете времени протекания пятого этапа.

Сложное плоское движение груза на 5-м этапе (рис.2) описывается системой уравнений вида

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{x} &= N_1\cos\varphi + f_1 N_1 \sin\varphi - f_2 N_2 , \\ m\ddot{y} &= N_2 - mg - N_1\sin\varphi + f_1 N_1\cos\varphi , \\ J\ddot{\varphi} &= N_2\cdot\frac{c}{2}\cos(\gamma+\varphi) - f_2 N_2\frac{c}{2}\sin(\gamma+\varphi) - f_1 N_1\frac{c}{2}\cos\gamma + N_1 l_1 , \end{aligned}\right\} \quad (I)$$

где x , y – координаты центра масс груза;

φ – угол поворота груза вокруг оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости xOy;

f_1 и f_2 – коэффициенты трения между грузом и, соответственно, ребром упора и поверхностью ленты;

N_1 и N_2 – нормальные составляющие реакций со стороны упора и ленты на груз;

J – момент инерции груза относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости xOy, и равный $mC^2/12$;

m – масса груза;

l_1 – расстояние от линии действия реакции N_1 до центра масс груза;

c – длина диагонали боковой грани груза;

γ – угол между длинной стороной груза и его диагональю.

На данном этапе движения справедливы геометрические связи вида

$$x = \frac{c}{2}\cos(\gamma+\varphi)+h\sin\varphi+a\cdot tg\varphi\cdot\sin\varphi-\ell\cdot tg\varphi, \tag{2}$$

$$y = \frac{c}{2}\sin(\gamma+\varphi), \tag{3}$$

$$\ell_1 = \frac{h}{2}-\frac{\ell}{\cos\varphi}+a\cdot tg\varphi, \tag{4}$$

где h – высота груза;

ℓ – расстояние от ленты конвейера до ребра упора.

Из первых двух уравнений системы (I) находим

$$N_1 = \frac{m(\ddot{x}+f_2\ddot{y}+f_2 g)}{(f_1-f_2)\sin\varphi+(1+f_1f_2)\cdot\cos\varphi}, \tag{5}$$

$$N_2 = \frac{m[(\ddot{y}+g)(f_1\sin\varphi+\cos\varphi)+\ddot{x}(\sin\varphi-f_1\cos\varphi)]}{(f_1-f_2)\cdot\sin\varphi+(1+f_1f_2)\cos\varphi}. \tag{6}$$

Продифференцировав дважды по соотношения (2) и (3), получим

$$\dot{x} = -\frac{c}{2}\sin(\gamma+\varphi)\cdot\dot{\varphi}+h\cos\varphi\cdot\dot{\varphi}+a\left(\frac{tg\varphi}{\cos\varphi}\cdot\dot{\varphi}+\dot{\varphi}\sin\varphi\right)-\ell\frac{\dot{\varphi}}{\cos^2\varphi}, \tag{7}$$

$$\ddot{x} = \ddot{\varphi}\left[h\cos\varphi-\frac{c}{2}\sin(\gamma+\varphi)+a\frac{tg\varphi}{\cos\varphi}+a\sin\varphi-\ell\frac{1}{\cos^2\varphi}\right]+$$

$$+\dot{\varphi}^2\left[a\cos\varphi-\frac{c}{2}\cos(\gamma+\varphi)-h\sin\varphi+\frac{a}{\cos^3\varphi}+a\frac{tg\varphi}{\cos\varphi}-2\ell\frac{tg\varphi}{\cos^2\varphi}\right], \tag{8}$$

$$\dot{y} = \frac{c}{2}\cdot\dot{\varphi}\cdot\cos(\gamma+\varphi), \tag{9}$$

$$\ddot{y}=\frac{c}{2}\left[\ddot{\varphi}\cos(\gamma+\varphi)-\dot{\varphi}^2\sin(\gamma+\varphi)\right]. \qquad (10)$$

Введем обозначения:

$$A\varphi=(f_1-f_2)\sin\varphi+(1+f_1f_2)\cos\varphi,\ B\varphi=f_1\sin\varphi+\cos\varphi,$$
$$C\varphi=\sin\varphi-f_1\cos\varphi,\ D\varphi=\frac{c}{2}\sin(\gamma-\varphi),\ E\varphi=\frac{c}{2}\cos(\gamma-\varphi),$$
$$F\varphi=h\cos\varphi-\frac{c}{2}\sin(\gamma+\varphi)-a\frac{tg\varphi}{\cos\varphi}+a\sin\varphi-\frac{l}{\cos^2\varphi},$$
$$H\varphi=a\cos\varphi-\frac{c}{2}\cos(\gamma+\varphi)-h\sin\varphi+\frac{a}{\cos^3\varphi}+\frac{atg\varphi}{\cos\varphi}-2l\frac{tg\varphi}{\cos^2\varphi}.$$

Подставив выражения (4), (5), (6), (8) и (10) с учетом введенных обозначений в третье уравнение системы (I), после преобразований получим

$$\ddot{\varphi}=\frac{\dot{\varphi}^2\left[(D\varphi B\varphi-H\varphi C\varphi)(E\varphi-f_2D\varphi)+(D\varphi f_2-H\varphi)(l_1+f_1E\varphi)\right]+\ldots\rightarrow}{\frac{c^2}{12}A\varphi-\left[(E\varphi B\varphi-C\varphi F\varphi)(E\varphi-f_2D\varphi)+\right.}$$
$$\leftarrow\ldots\frac{+g\left[B\varphi(E\varphi-f_2D\varphi)+f_2(l_1-f_1E\varphi)\right]}{\left.+(f_2-F\varphi(l_1-f_1E\varphi))\right]} \qquad (11)$$

Нелинейное дифференциальное уравнение (II) подлежит решению на ЭВМ при начальных условиях: $\varphi_н=arc\sin\frac{h}{a}$, $\dot{\varphi}_н=0$ при $t=0$. Закончить вычисления необходимо при выполнении условия: $\varphi_к=(arc\sin\frac{l}{c}-\gamma)$.

Как видно из рис.3 максимальная производительность одного фасовочного устройства

$$П\leqslant\frac{v_л\cdot 60}{a+b}\ (\text{шт/мин}), \qquad (12)$$

где $b=m+d+k+s_5$.

Отрезки, соответственно, равны:

$$\left.\begin{aligned} m &= h\sin\varphi_к, \\ d &= c\cdot\cos(\gamma+\varphi_к), \\ k &= (\ell-h)\cdot tg\,\varphi_н, \\ S_5 &= v_л\cdot t_5, \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

где S_5 – расстояние между грузами в момент окончания пятого этапа;

t_5 – время протекания пятого этапа;

$v_л$ – скорость ленты конвейера.

Подставив выражение (13) в уравнение (12), получим

$$П \le h\sin\varphi_к + c\cdot\cos(\gamma+\varphi_к) + (\ell-h)tg\varphi_н + v_л\cdot t_5. \qquad (14)$$

Из уравнения (12) определяется необходимая скорость ленты магистрального конвейера, если задана величина производительности $П$:

$$v_л \ge \frac{2П(a+b)}{60}$$

или

$$v_л \ge \frac{2П[a+h\sin\varphi_к + c\cdot\cos(\gamma+\varphi_к)+(\ell-h)tg\varphi_н]}{60-2П\cdot t_5}. \qquad (15)$$

Полученные выше аналитические зависимости могут быть использованы при проектировании поточных линий, механизирующих укладку штучных грузов в транспортную тару.

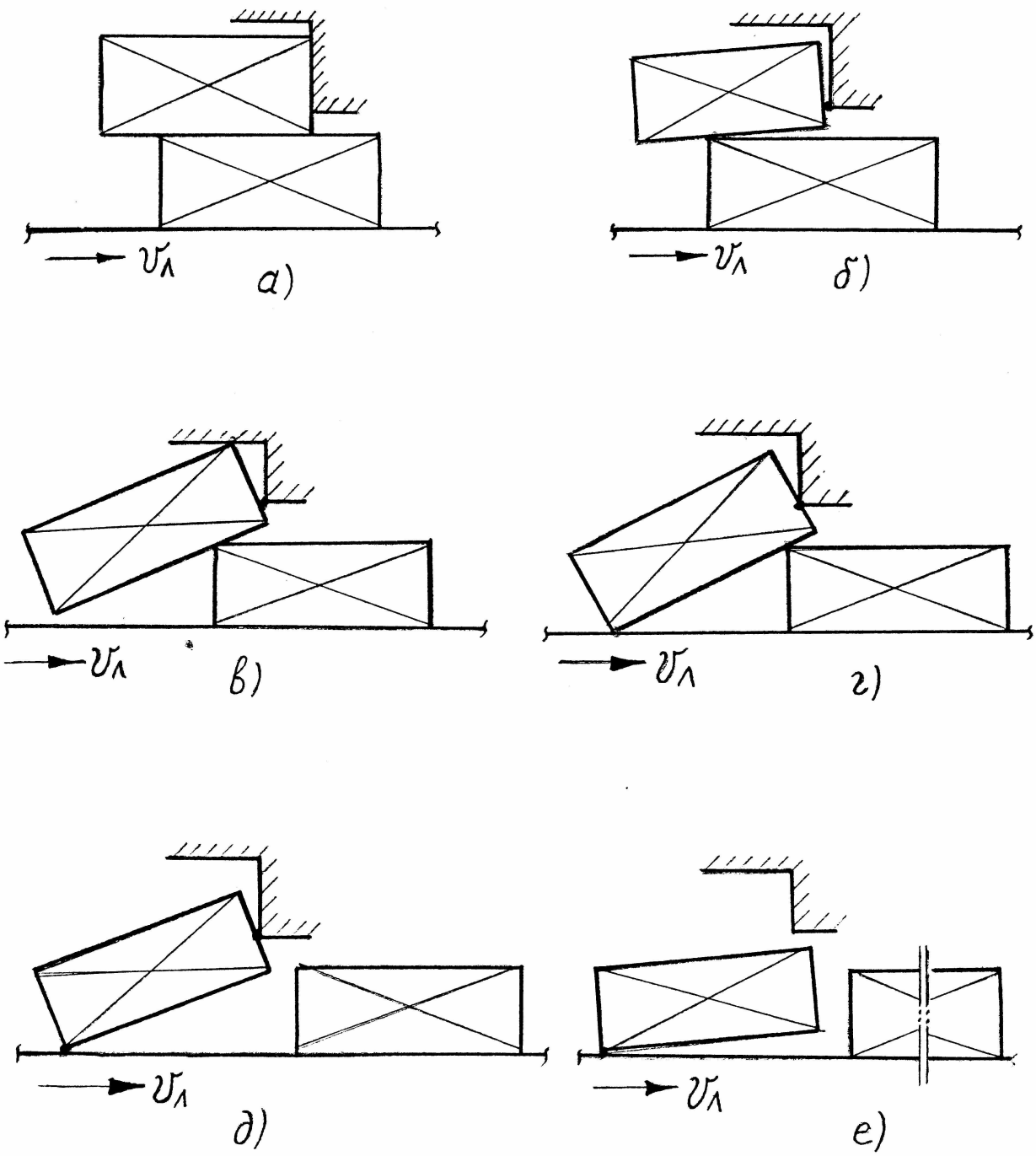

Рис.I. Схемы этапов движения груза.

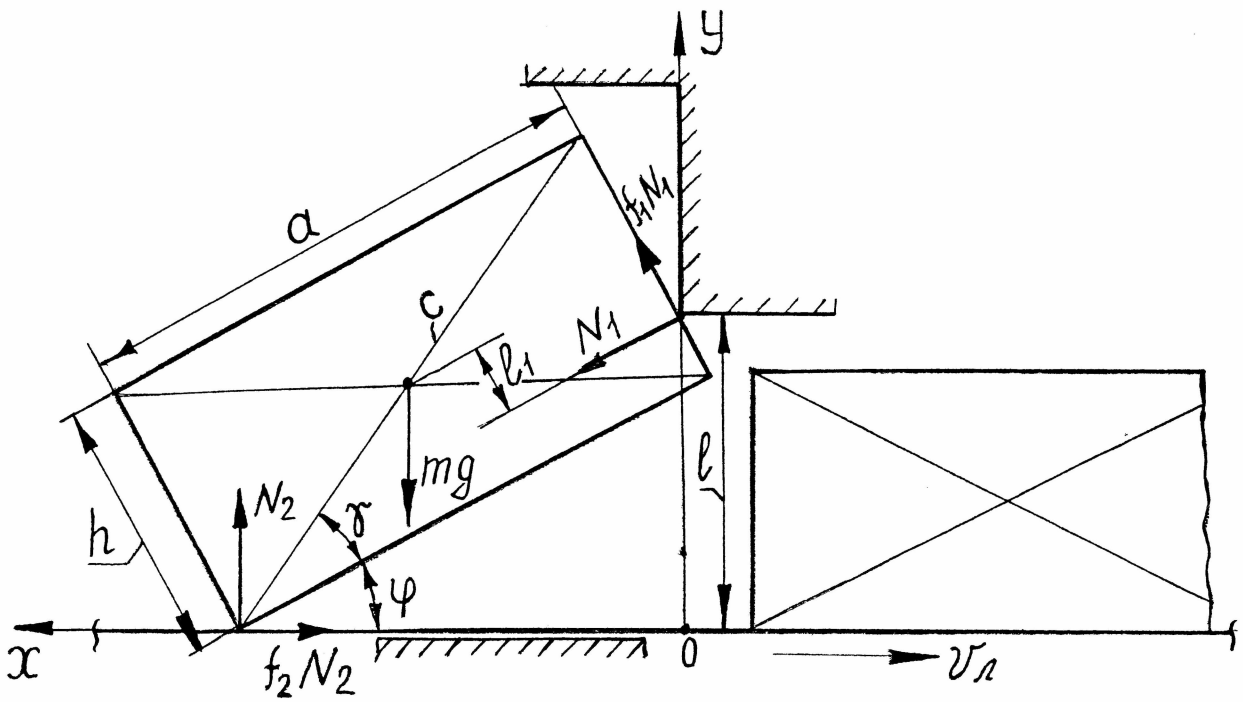

Рис.2. Взаимодействие сил на пятом этапе движения.

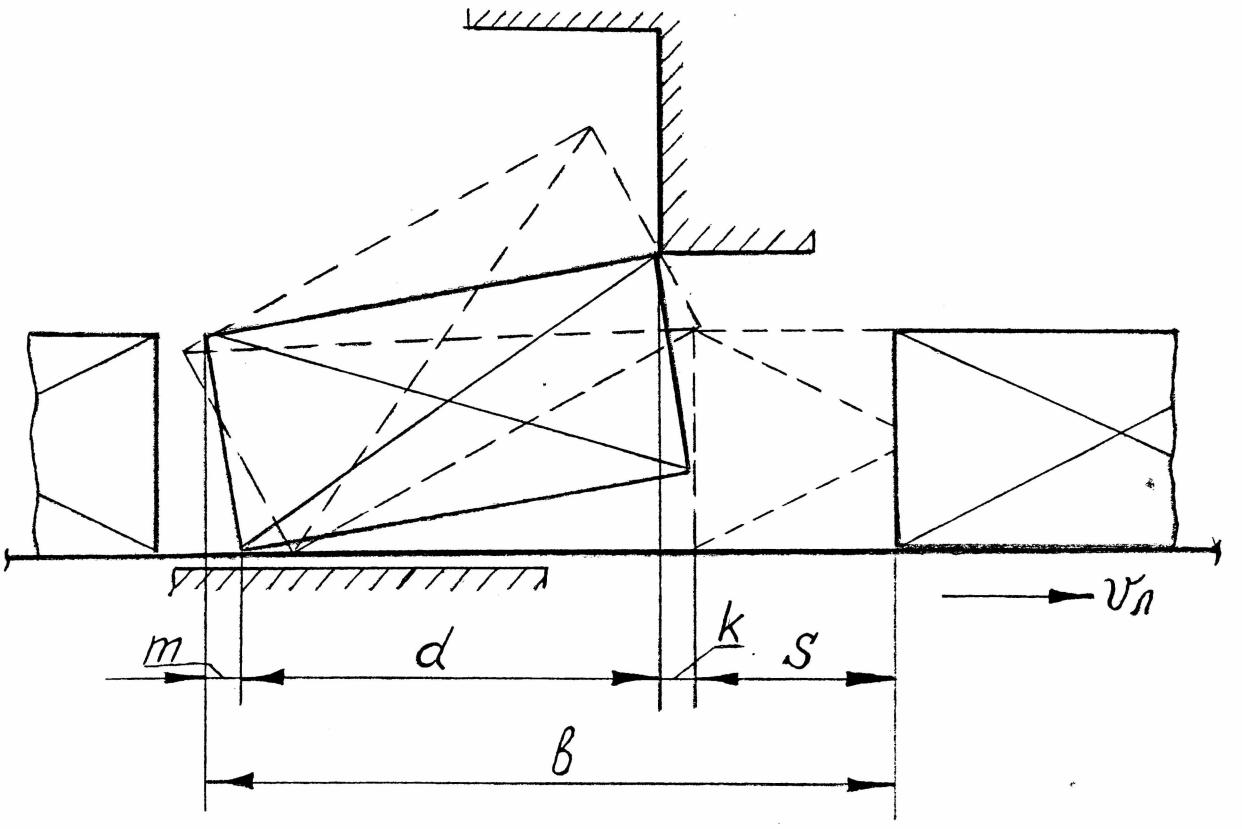

Рис.3. Линейный интервал между грузами в момент окончания пятого этапа.

Печатается в соответствии с решением ученого Совета факультета "Машины и аппараты пищевых производств" Киевского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности от 21 ноября 1986 г., протокол № 4