

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

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ПРОЦЕСС ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

ШТУЧНОГО ГРУЗА С НЕПОДВИЖНОЙ ПЛОСКОСТИ НА ЛЕНТУ

КОНВЕЙЕРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОЛКАТЕЛЯ

Деп. в Укр. ин. и тех. 05.08.86

1821-Укр 86

Комплекс нестандартизированного оборудования для укладки блоков с табачными изделиями в транспортную тару включает в себя устройство для формирования слоя блоков табачных изделий и передачи их с неподвижной плоскости формирования на магистральный конвейер. На рис. I схематично представлена операция перемещения слоя I, сформированного из 4-х блоков табачных изделий, с неподвижной плоскости 2 вдоль неподвижной направляющей 3 толкателем 4 на ленту 5 магистрального конвейера. Слой блоков табачных изделий (штучный груз) имеет форму параллелепипеда с габаритными размерами в плане

Процесс перемещения груза состоит из 4-х этапов. На первом этапе груз движется под действием толкателя 4 по неподвижной плоскости 2. Этап заканчивается в момент контакта груза с лентой 5 конвейера. На втором этапе груз движется, находясь одновременно в контакте с неподвижной плоскостью 2, направляющей 3 и лентой 5 конвейера. Этап заканчивается в момент полного перехода груза на ленту конвейера. На третьем этапе груз движется по ленте 5 конвейера, одновременно находясь в контакте с направляющей 3. Этап заканчивается в момент контакта груза с упором 6 или остановки груза (при достаточной ширине ленты). На четвертом этапе груз разгоняется силами трения на ленте 5 конвейера от скорости $V = 0$ до скорости $V = V_L$ (скорости ленты конвейера). Этап заканчивается в момент, когда груз станет неподвижен относительно ленты конвейера.

Исследование проводим при следующих допущениях:

- зазором Δ между неподвижной плоскостью и лентой конвейера ввиду малости пренебрегаем;
- считаем, что рабочие поверхности плоскости и ленты выставлены на одном уровне;
- контакт толкателя с грузом происходит без удара;
- давление блоков на несущие поверхности в местах контакта распределено равномерно;
- поверхности связей шероховатые с постоянными коэффициентами трения скольжения.

Исследуем первый этап движения (рис.2). Здесь груз движется под действием силы P приложенной со стороны толкателя. Внешней силой, препятствующей движению, является сила трения F_1 . Согласно принципа максимума Л.С.Понтрягина / I / оптимальное быстродействие здесь достигается при условии, если на участке разгона движущая сила $P = P_{\max} = \text{Const.}$, а на участке торможения сила $P = 0$.

Уравнение движения груза вдоль оси X под действием силы $P_{\max} = 0$ имеет вид:

$$m\ddot{X} = Q - F_1, \quad (1)$$

где m - масса всех блоков в слое;

$Q = \text{Const.}$ - движущая сила;

F_1 - сила трения между грузом и неподвижной плоскостью.

$$F_1 = mgf_1, \quad (2)$$

где f_1 - коэффициент трения скольжения груза по неподвижной плоскости.

Подставив выражение (2) в (1), получим

$$\ddot{X} = \frac{Q}{m} - gf_1. \quad (3)$$

Граничные условия для первого этапа движения имеют вид:

$$\chi = 0, \quad \dot{\chi} = 0 \quad \text{при} \quad t = 0, \quad (4)$$

$$\chi = \ell_1, \quad \dot{\chi} = \mathcal{V}_{1p} \quad \text{при} \quad t = \tau_{1p}, \quad (5)$$

где ℓ_1 – расстояние от кромки груза до ленты конвейера в начале процесса перемещения;

$\mathcal{V}_{1p}$ – скорость груза в момент контакта с лентой конвейера (режим разгона);

τ_{1p} – продолжительность этапа.

Решая уравнение (3) с учетом (4) и (5), находим

$$\chi = \left(\frac{Q}{m} - g f_1 \right) \cdot \frac{t^2}{2}, \quad (6)$$

$$\dot{\chi} = \left(\frac{Q}{m} - g f_1 \right) \cdot t. \quad (7)$$

Подставив граничные условия (5) в (6) и (7), получим

$$\tau_{1p} = \sqrt{\frac{2 \ell_1 m}{Q - m g f_1}}, \quad (8)$$

$$\mathcal{V}_{1p} = \left(\frac{Q}{m} - g f_1 \right) \cdot \tau_{1p}. \quad (9)$$

Исследуем второй этап движения (рис.3). Внешними силами, препятствующими движению, являются:

- сила трения F_1 ;
- проекция F_2 на направление движения силы трения F_0 .

груза о ленту конвейера;

- сила трения F_3 груза о поверхность неподвижной направляющей, возникающая за счет прижатия груза проекцией F_n силы трения F_0 .

На втором этапе движения наиболее вероятны два подэтапа движения. На первом подэтапе груз продолжает движение под действием силы $Q = \text{Const.}$, а на втором подэтапе груз продол-

жает движение по инерции (сила $Q = 0$).

Исследуем первый подэтап движения груза. Уравнение движения груза имеет вид:

$$m\ddot{X} = Q - (F_1 + F_2 + F_3). \quad (\text{I0})$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= mgf_1 \left(\frac{\alpha - x}{\alpha} \right), \\ F_2 &= F_0 \cdot \cos \alpha = mgf_2 \cos \left(\arctg \frac{v_\lambda}{\dot{X}} \right) = mgf_2 \frac{\dot{X}}{\alpha} \frac{\dot{X}}{\sqrt{\dot{X}^2 + v_\lambda^2}}, \\ F_3 &= F_\lambda \cdot \sin \alpha = mgf_2 f_3 \sin \left(\arctg \frac{v_\lambda}{\dot{X}} \right) = mgf_2 f_3 \frac{\dot{X}}{\alpha} \frac{v_\lambda}{\sqrt{\dot{X}^2 + v_\lambda^2}}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{II})$$

где f_2 и f_3 - коэффициенты трения скольжения;

v_λ - скорость ленты конвейера;

$\dot{X}$ - скорость движения груза вдоль оси x .

Подставив (II) в уравнение (I0) и проведя соответствующие преобразования, получим

$$\ddot{X} = \frac{Q}{m} - gf_1 + \frac{g}{\alpha} \left[f_1 - f_2 \frac{(\dot{X} + f_3 v_\lambda)}{\sqrt{\dot{X}^2 + v_\lambda^2}} \right] \cdot X. \quad (\text{I2})$$

В уравнении (I2) множитель

$$\frac{\dot{X} + f_3 v_\lambda}{\sqrt{\dot{X}^2 + v_\lambda^2}} \quad (\text{I3})$$

является нелинейным, поэтому уравнение аналитически не решается. Если допустить, что выражение (I3) можно приближенно заменить константой A_p , то уравнение (I2) преобразуется в линейное / 2 /. Для удобства определения константы A_p введем замену переменной вида $z = \frac{\dot{X}}{v_\lambda}$. Усредненное значение константы определим из уравнения:

$$A_p = \frac{1}{\lambda} \cdot \int_0^\lambda \frac{f_3 + z}{\sqrt{1 + z^2}} dz = \frac{1}{\lambda} \left[f_3 \ln(\lambda + \sqrt{1 + \lambda^2}) + \sqrt{1 + \lambda^2} - 1 \right] \quad (\text{I4})$$

где λ - конструктивно заданное значение отношения $\frac{\dot{\lambda} - \mathcal{U}_{1P}}{\mathcal{U}_1}$.

Подставив в уравнение (I2) вместо (I3) константу A_p , получим

$$\ddot{\chi} = \frac{Q}{m} - g f_1 + \frac{g}{\alpha} (f_1 - f_2 A_p) \cdot \chi. \quad (\text{I5})$$

Граничные условия первого подэтапа движения принимают следующие значения:

$$\chi = 0, \quad \dot{\chi} = \mathcal{U}_{1P} \quad \text{при} \quad t = 0, \quad (\text{I6})$$

$$\chi = \alpha, \quad \dot{\chi} = \mathcal{U}_{2P} \quad \text{при} \quad t = \tau_{2P}.$$

При $(f_1 - f_2 A_p) > 0$, решение уравнения (I5) с учетом (I6) будет иметь вид:

$$\chi = C_1 e^{a_2 t} + C_2 e^{-a_2 t} - \frac{a_1}{a_2^2}, \quad (\text{I7})$$

$$\dot{\chi} = C_1 a_2 e^{a_2 t} - C_2 a_2 e^{-a_2 t}, \quad (\text{I8})$$

где

$$a_1 = \frac{Q}{m} - g f_1, \quad a_2 = \sqrt{\frac{g}{\alpha} (f_1 - f_2 A_p)},$$

$$C_1 = \frac{a_1}{2a_2^2} + \frac{\mathcal{U}_{1P}}{2a_2}, \quad C_2 = \frac{a_1}{2a_2^2} - \frac{\mathcal{U}_{1P}}{2a_2}.$$

Решая аналогичным образом уравнение (I5) для случая, когда $(f_1 - f_2 A_p) < 0$, получим

$$\chi = C_3 \cos \alpha_3 t + C_4 \sin \alpha_3 t + \frac{a_1}{\alpha_3^2}, \quad (\text{I9})$$

$$\dot{\chi} = \alpha_3 (C_4 \cos \alpha_3 t - C_3 \sin \alpha_3 t), \quad (\text{I20})$$

где

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{g}{\alpha} (f_2 A_p - f_1)}, \quad C_3 = -\frac{a_1}{\alpha_3^2}, \quad C_4 = \frac{\mathcal{U}_{1P}}{\alpha_3}.$$

Подставив граничные условия (I6) в уравнения (I7) и (I8) или (I9) и (I20), можно определить значения τ_{2P} и $\mathcal{U}_{2P}$, ха-

рактизирующие продолжительность первого подэтапа и скорость груза в момент его окончания.

Исследуем второй подэтап движения груза. Движущая сила $Q = 0$, следовательно, движущийся по инерции груз тормозится силами трения. Уравнение движения груза в данном случае имеет вид:

$$m\ddot{\chi} = - (F_1 + F_2 + F_3) \quad (21)$$

Подставив выражение для сил трения в уравнение (21) и, проводя соответствующие преобразования, получим

$$\ddot{\chi} = -gf_1 + \frac{g}{a}(f_1 - f_2 A_T) \cdot \chi. \quad (22)$$

Здесь A_T определяется аналогично A_P , при этом λ - конструктивно заданная величина - определяется как отношение $\frac{\dot{\chi} - \mathcal{V}_{2T}}{\mathcal{V}_\lambda}$.

Граничные условия на этом этапе движения принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} \chi = \chi_{1T} = \chi_{2P}, \quad \dot{\chi} = \dot{\chi}_{1T} = \mathcal{V}_{2P} & \quad \text{при } t = 0, \\ \chi = a, \quad \dot{\chi} = \mathcal{V}_{2T} & \quad \text{при } t = \tau_{2T}, \end{aligned} \quad (23)$$

где χ_{2P} и $\mathcal{V}_{2P}$ - соответственно перемещение и скорость груза в момент окончания первого подэтапа движения.

При $(f_1 - f_2 A_T) > 0$, решение уравнения (22) с учетом (23) имеет вид:

$$\chi = C_5 e^{a_4 t} + C_6 e^{-a_4 t} - \frac{a_5}{a_4^2}, \quad (24)$$

$$\dot{\chi} = C_5 a_4 e^{a_4 t} - C_6 a_4 e^{-a_4 t}, \quad (25)$$

где

$$a_5 = -gf_1, \quad a_4 = \sqrt{\frac{g}{a}(f_1 - f_2 A_T)},$$

$$C_5 = \frac{a_5}{2a_4^2} + \frac{\mathcal{V}_{2P}}{2a_4} + \frac{\chi_{2P}}{2}, \quad C_6 = \frac{a_5}{2a_4^2} - \frac{\mathcal{V}_{2P}}{2a_4} - \frac{\chi_{2P}}{2}.$$

Решая аналогичным образом уравнение (22) для случая, когда $(f_1 - f_2 A_1) < 0$, находим

$$\chi = C_7 \cos \alpha_6 t + C_8 \sin \alpha_6 t + \frac{\alpha_5}{\alpha_6^2} \quad (26)$$

$$\dot{\chi} = \alpha_6 (C_8 \cos \alpha_6 t - C_7 \sin \alpha_6 t) \quad (27)$$

где

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{g}{a} (f_2 A_1 - f_1)}, \quad C_7 = \chi_{2p} - \frac{\alpha_5}{\alpha_6^2}, \quad C_8 = \frac{v_{2p}}{\alpha_6}$$

Решая совместно уравнения (24) и (25) или (26) и (27) с учетом (23), определяем значения τ_{2T} и v_{2T} , характеризующие продолжительность второго подэтапа и скорость груза в момент его окончания.

Исследуем третий этап движения (рис.4). Груз продолжает двигаться по инерции по ленте конвейера. Внешними силами, препятствующими движению, являются силы трения F_2 и F_3 . Уравнение движения груза в данном случае имеет вид:

$$m\ddot{\chi} = -(F_2 + F_3). \quad (28)$$

Подставив в уравнение (28) выражения для сил трения F_2 и F_3 и, проведя соответствующие преобразования, получим

$$\ddot{\chi} = -g f_2 A'_1, \quad (29)$$

где A'_1 определяется аналогично A_1 , при этом λ - конструктивно заданная величина - определяется как отношение $\frac{\dot{\chi}_{2p}}{v_{2p}}$ или $\frac{\dot{\chi}_{2T}}{v_{2T}}$ (в зависимости от числа подэтапов на втором этапе движения).

Граничные условия для данного случая:

$$\left. \begin{aligned} \chi = 0, \quad \dot{\chi} = v_{2T} & \quad \text{при} \quad t = 0, \\ \chi = l_2, \quad \dot{\chi} = 0 & \quad \text{при} \quad t = \tau_{3T}. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Решая уравнение (29) с учетом (30), получим

$$\chi = -gf_2 A'_T \cdot \frac{t^2}{2} + \mathcal{U}_{2T} \cdot t, \quad (31)$$

$$\dot{\chi} = -gf_2 A'_T \cdot t + \mathcal{U}_{2T}. \quad (32)$$

Подставив в уравнения (31) и (32) граничные условия (30), находим значение τ_{3T} , характеризующее продолжительность третьего этапа движения.

Исследуем четвертый этап движения. В момент остановки груза на ленте конвейера приводится в движение направляющая (поднимается) и груз силой трения F_λ , которая становится равной F_0 , отводится из узла перегрузки (см.рис.4). Здесь имеет место увеличение скорости груза от нуля до скорости ленты $\mathcal{U}_\lambda$ при относительном скольжении по ленте конвейера. Уравнение движения груза имеет вид:

$$m\ddot{y} = F_0. \quad (33)$$

Решая уравнение (33) при начальных условиях:

$$y=0, \quad \dot{y}=0 \quad \text{при} \quad t=0$$

находим

$$\dot{y} = gf_2 \cdot t, \quad (34)$$

$$y = gf_2 \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (35)$$

Подставив в уравнения (34) и (35) конечные условия:

$$y=b \quad \text{при} \quad t=\tau'_4$$

находим время ухода груза за пределы направляющей:

$$\tau'_4 = \sqrt{\frac{2b}{gf_2}}. \quad (36)$$

Решая уравнение (34) при конечных условиях:

$$\dot{y} = \mathcal{U}_\lambda \quad \text{при} \quad t = \tau''_4$$

находим время, необходимое для разгона груза до скорости ленты конвейера:

$$\tau_4'' = \frac{v_\lambda}{g f_2} . \quad (37)$$

Суммарное время, необходимое для освобождения узла перегрузки от груза, равно

$$T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4' ,$$

где τ_1 , τ_2 , τ_3 и τ_4' - продолжительности соответствующих этапов.

Полученная математическая модель процесса перемещения груза с неподвижной плоскости на ленту магистрального конвейера позволяет с достаточным научно-техническим обоснованием разработать рекомендации по выбору параметров Q , f_1 , f_2 , f_3 и v_λ , которые обеспечат в каждом конкретном случае максимальную производительность устройства.

№

Список использованной литературы

1. Понтрягин А.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. - М.: Наука, 1969.
2. Пакетоформирующие машины. / А.П.Кривопляс, А.А.Кукибный, А.П.Беспалько и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 239 с.

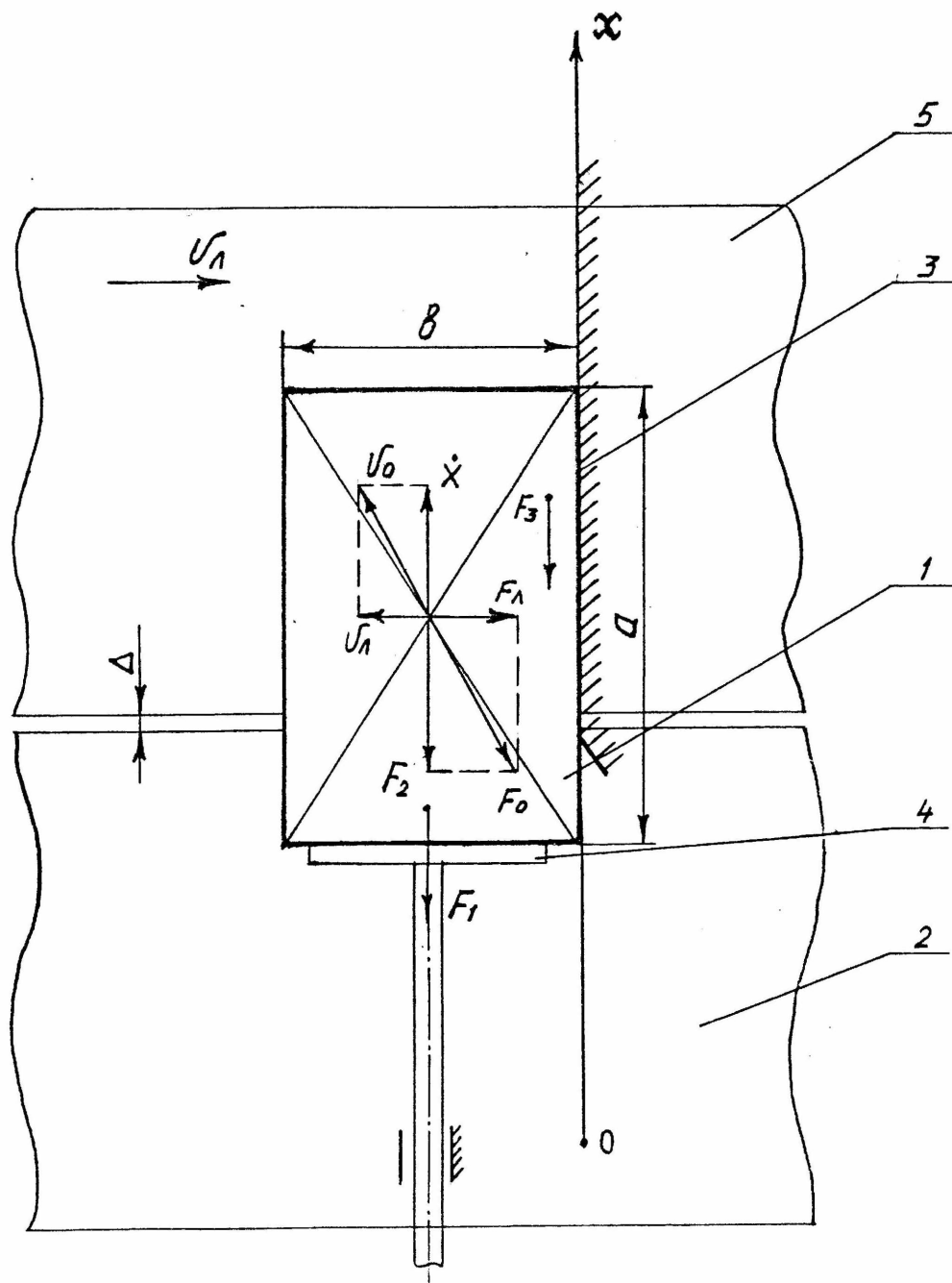


Рис. I. Схема передачи блоков с неподвижной плоскости на ленту конвейера.

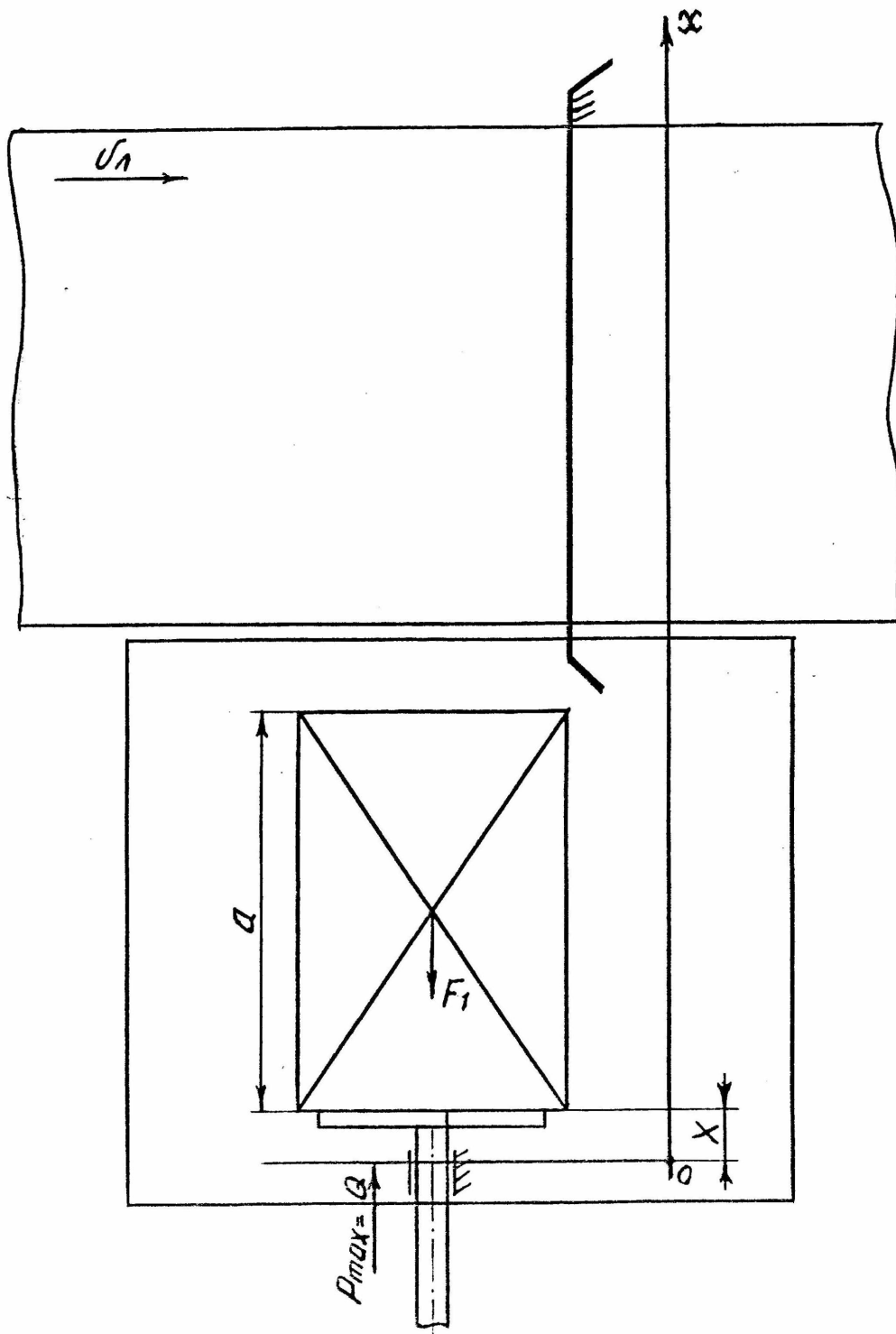


Рис. 2. Схема порекающего устройства с T -ой осью.

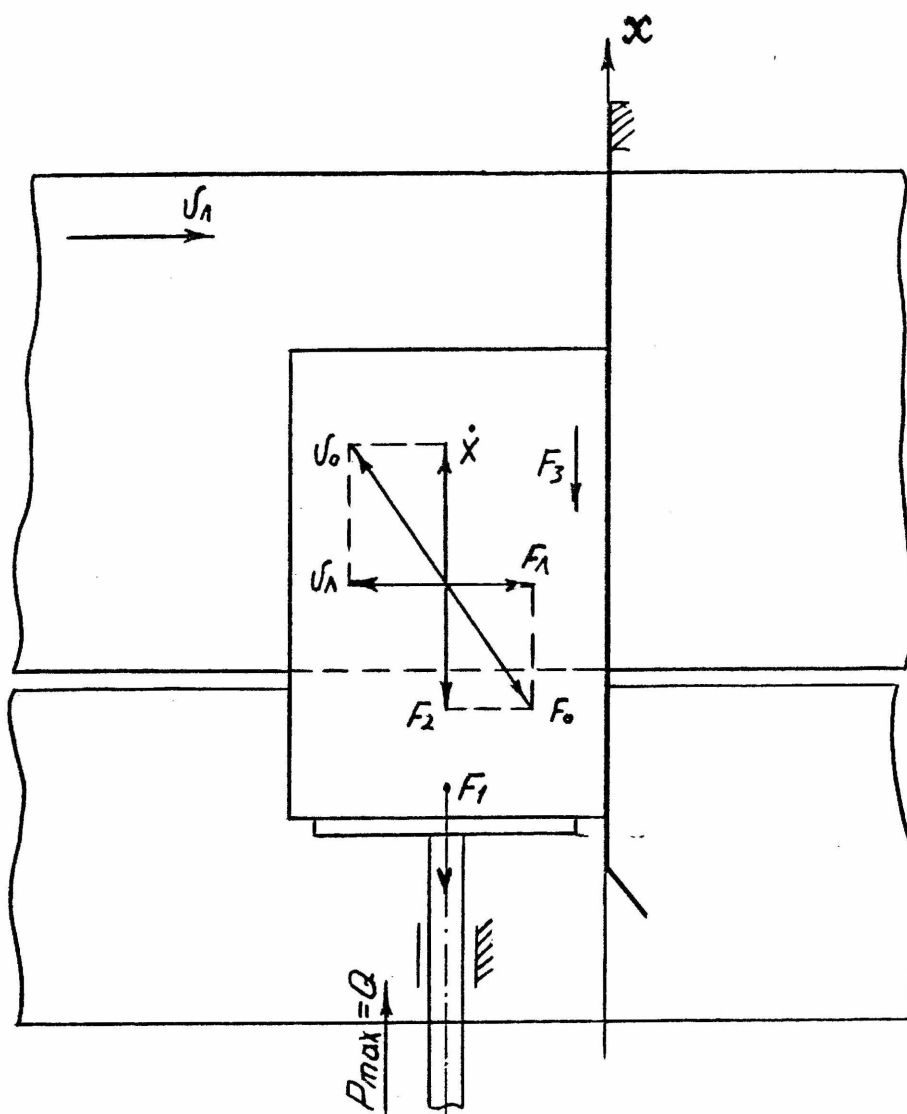


Рис.3. Схема перемещения груза на 2-ом этапе.

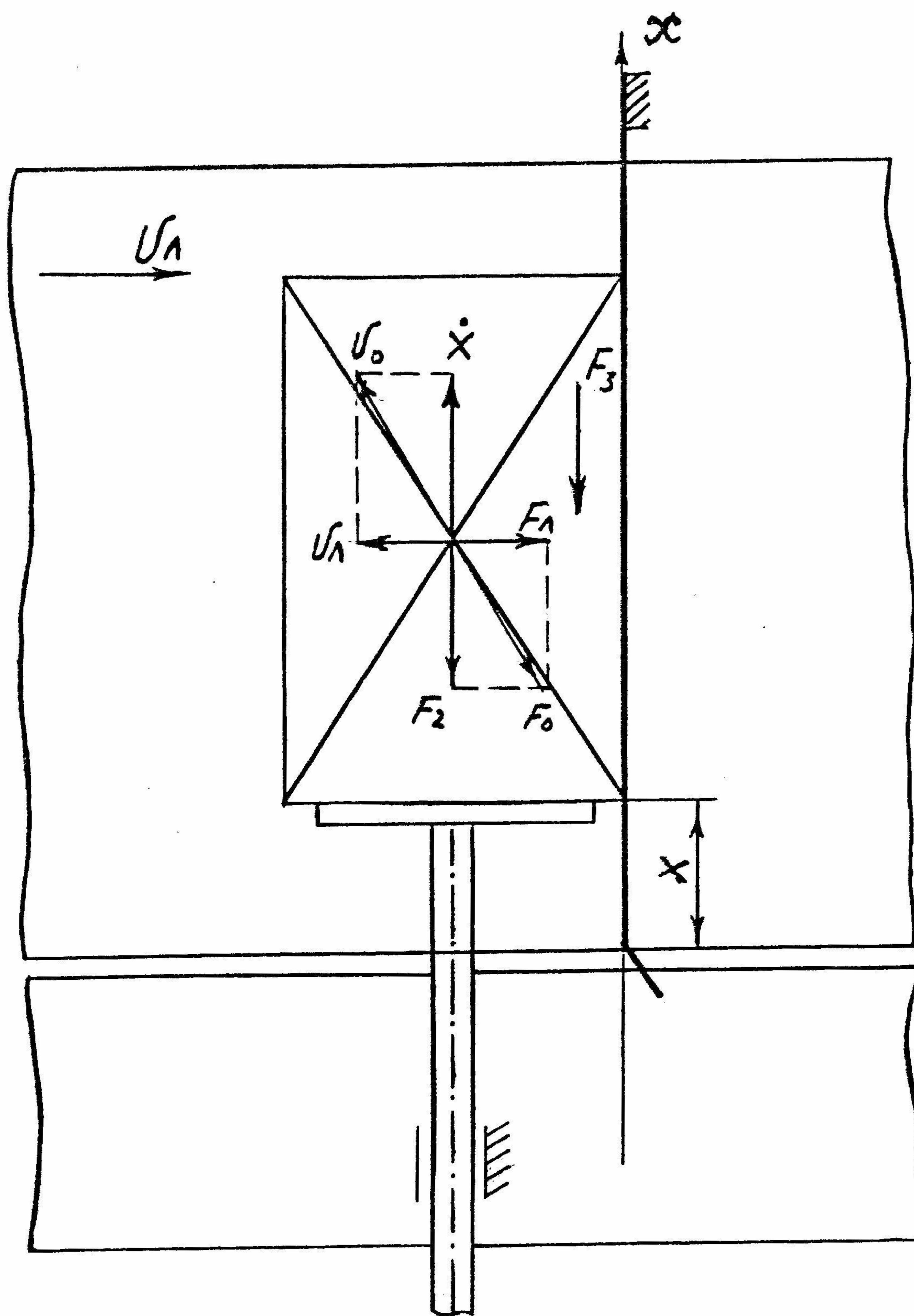


Рис.4. Схема перемещения груза на 3-ем этапе.

Печатается в соответствии с решением Совета факультета машин и аппаратов пищевых производств Киевского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности от 23 апреля 1986 г., протокол № 9.