

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕТАНИЯ
ТАРНО-ШТУЧНОГО ГРУЗА
ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

Киев - 1983

24044-887

Рост производительности труда в пищевой промышленности тормозится из-за того, что во вспомогательном производстве и, в частности, на погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских (ПРТС) работах с тарными и штучными грузами используется большое количество рабочих, занятых ручным трудом. Сокращение прироста трудовых ресурсов в восьмидесятих годах требует первоочередного их высвобождения во вспомогательном производстве и в том числе на ПРТС работах. Это не только экономическая, но и ответственная социальная задача, поскольку ее решение способствует ликвидации ручного, малоквалифицированного и тяжелого физического труда.

Наибольший эффект с точки зрения сокращения потребности в трудовых ресурсах достигается здесь благодаря разработке систем комплексной автоматизации и механизации ПРТС работ с готовой продукцией. Известно, что наиболее трудоемкими работами, требующими применения малоквалифицированного и тяжелого физического труда, является погрузка в вагоны и укладка в штабель пищевой продукции, затаренной в мешки и ящики. С целью механизации этих работ применяется погрузочная машина (рис. 1), представляющая собой "ломаный" конвейер, состоящий из трех секций шарнирно соединенных между собой. Основные элементы машины - три ленточных конвейера: приемный, промежуточный и телескопический. Соединяются они между собой с помощью поворотных кругов, позволяющих изменять положение конвейерных лент относительно друг друга в горизонталь-

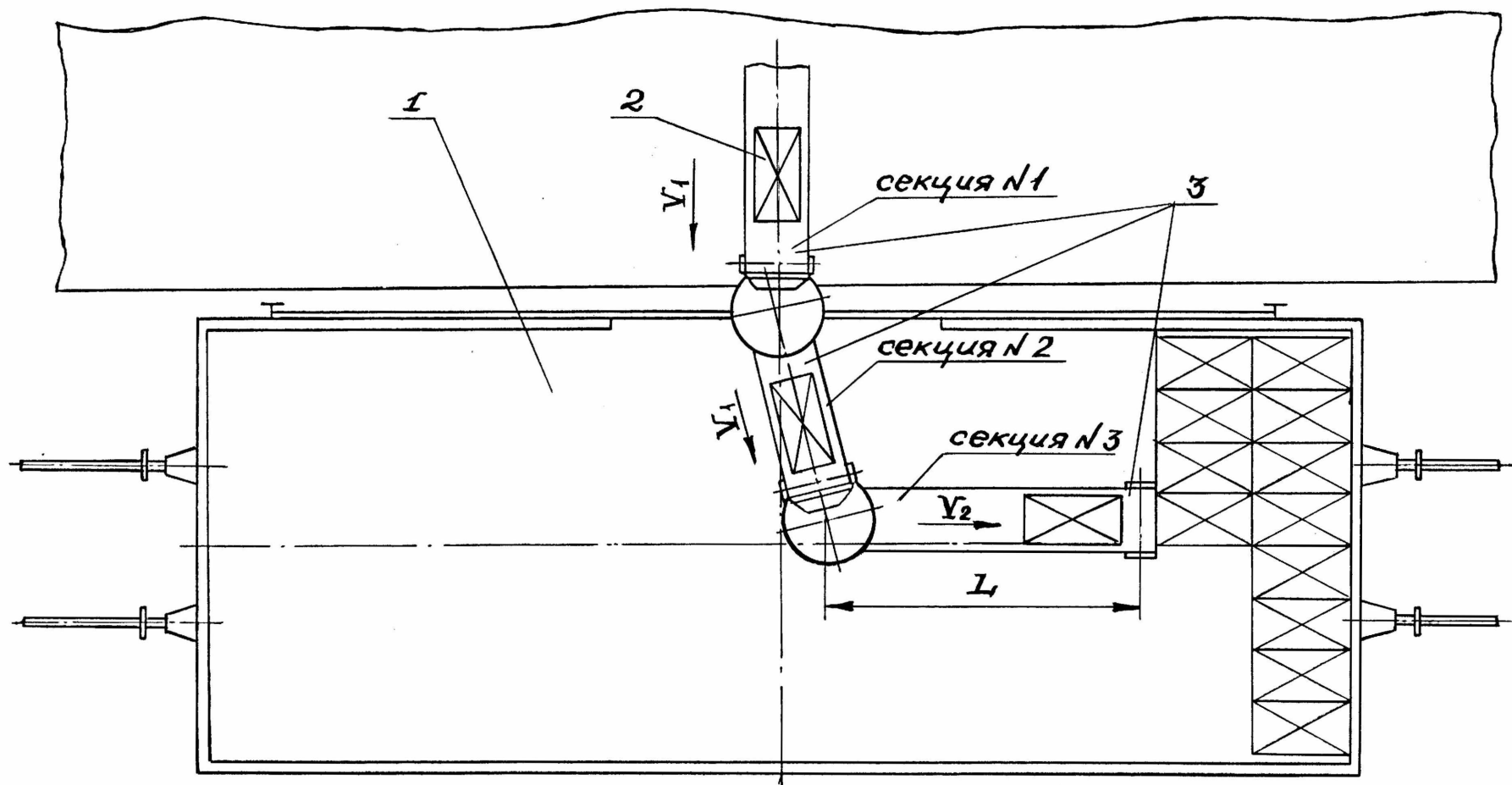


Рис. 1. Принципиальная схема мешкопгрузочной машины.

1 - вагон; 2 - тарно-штучный груз; 3 - мешкопгрузочная машина.

ной плоскости. Благодаря этому обеспечивается возможность ввода в дверной проем и подача тарно-штучных грузов в любую точку вагона с технологической линии упаковки. Приводы всех конвейеров выполнены в виде мотор-барабанов. Приемный конвейер машины расположен горизонтально на опорной раме, выполненной в виде рельсовой тележки с двумя колесными парами, на одной из которых установлен привод передвижения. Металлоконструкция промежуточного конвейера одним концом установлена на поворотный круг консоли приемного конвейера, а другой ее конец оборудован консолью для крепления поворотного круга телескопического конвейера. Внутри металлоконструкции промежуточного конвейера смонтирован привод для его поворота. Телескопический конвейер состоит из двух секций: неподвижной и выдвижной. Реверсивное движение выдвижной секции осуществляется при помощи закрепленной снизу зубчатой рейки и неподвижно установленного привода. Для изменения угла между лентами в вертикальной плоскости неподвижная секция телескопического конвейера установлена шарнирно и своей концевой частью соединена посредством подвески с механизмом наклона. Поворот телескопического конвейера в горизонтальной плоскости производится вручную за поручни головной части. В местах перегрузки грузов с конвейера на конвейер установлены направляющие козырьки с регулируемым углом наклона. Управление всеми электроприводами осуществляется с кнопочных пультов, установленных на головной части технологического конвейера.

При выборе исходных данных для проектирования погрузочной машины необходимо заранее знать скорость ленты ускоряющего конвейера, осуществляющего процесс метания данного ти-

поразмера груза. Проведем математическое моделирование процесса метания тарно-штучного груза с целью нахождения аналитических зависимостей, позволяющих установить скорость ленты конвейера и определить положение груза при сходе с конвейера.

В процессе схода тарно-штучный груз движется поступательно вдоль касательной и поверхности барабана и одновременно обкатывается по нему. Этап заканчивается в момент отрыва груза от поверхности барабана конвейера. Уточним понятие скорость метания. Под скоростью метания в дальнейшем будем подразумевать скорость ленты ускоряющего конвейера, при которой груз обкатывается по барабану без проскальзывания до тех пор, пока не потеряет контакт с его поверхностью. В противном случае, при обкатывании груза по барабану со скольжением, нарушается режим метания. В этом случае резко возрастают вертикальная составляющая скорости центра масс груза и, соответственно, величина ударного импульса в момент контакта ребра груза с поверхностью штабеля, что приводит к необратимой деформации тары груза и частичной потере качества затаренного пищевого продукта.

При исследовании примем следующие допущения:

- груз - жесткое тело, имеющее форму параллелепипеда;
- угловая скорость вращения барабана постоянна;
- давление груза распределено равномерно по площади контакта;
- коэффициент сцепления μ опорной поверхности груза с лентой конвейера величина постоянная.

Проанализируем движение груза длиной a и высотой h по барабану конвейера. Для этого воспользуемся прямо-

угольной системой координат xOy , как показано на рис.2. Движение груза по барабану конвейера начинается в момент пересечения центром масс груза S координаты y . При дальнейшем движении центр масс под действием силы тяжести $G=mg$ начинает поступательно перемещаться вдоль оси y , а весь груз совершает вращение вокруг мгновенной точки контакта A . В результате, груз начинает обкатываться по барабану конвейера. При обкатывании в месте контакта возникает реакция, действующая перпендикулярно к опорной поверхности груза, и сила сцепления P , действующая по касательной к поверхности барабана в сторону положительного направления оси x . Сила сцепления обеспечивает относительное (поступательное) перемещение груза без проскальзывания вдоль касательной, совпадающей с отрезком AD (см. рис.2) до момента, пока угловая скорость груза ω не станет равной угловой скорости ω_g барабана конвейера. В этот момент прекращается относительное движение, так как скорость перемещения точки контакта A станет равной скорости точек, лежащих на поверхности барабана, и сила P обратится в нуль. В дальнейшем, при $\omega > \omega_g$, скорость движения точки контакта A становится больше скорости точек, лежащих на поверхности барабана, сила сцепления по-прежнему обеспечивает обкатывание груза без скольжения, но вектор силы меняет направление на противоположное и снова растет по величине. В момент, когда алгебраическая сумма проекций силы тяжести и силы инерции на касательную AD станет больше силы сцепления, произойдет сдвиг и груз в дальнейшем будет продолжать обкатываться уже со скольжением.

Исследуем движение груза при сползании с барабана конвейера,

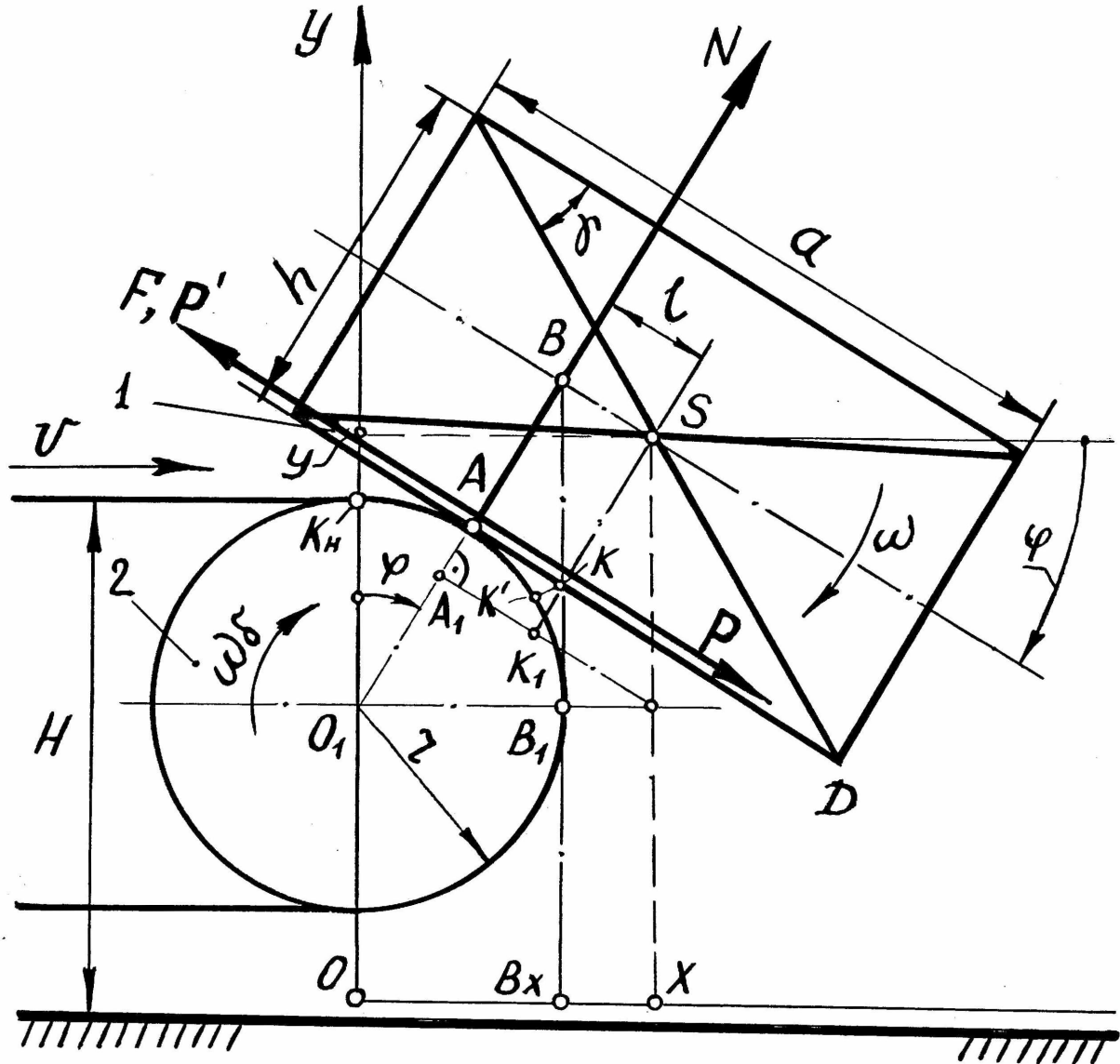


Рис. 2. Схема взаимодействия сил при сходе груза с барабана конвейера.

когда вектор силы P действует в сторону положительного направления оси x . Исследование проводим с помощью дифференциальных уравнений плоского движения твердого тела, которые в данном случае имеют вид (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= N\sin\varphi + P\cos\varphi, \\ m\ddot{y} &= N\cos\varphi - P\sin\varphi - mg, \\ J\ddot{\psi} &= Ne - Pe_{sk}, \end{aligned} \quad (1)$$

где m - масса груза;

\ddot{x}, \ddot{y} - проекции ускорения центра масс на оси координат;

$\ddot{\psi}$ - угловое ускорение вращения груза вокруг оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости рисунка;

φ - угол поворота;

J - момент инерции груза, имеющего форму параллелепипеда, относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости рисунка и равный

$$\frac{mc^2}{12};$$

$c = \sqrt{a^2 + h^2}$ - длина диагонали боковой поверхности груза;

γ - угол между диагональю и длиной груза;

g - гравитационное ускорение;

e и e_{sk} - плечи приложения сил.

Величину плеча e определим как разность дуг:

$$e = \overline{AK} = \overline{K_n K'} - \overline{K_n A} = vt - r\varphi, \quad (2)$$

где $\overline{AK} = \overline{AK'}$ - прямая AD обкатывается по поверхности барабана без скольжения;

v - скорость ленты;

t - время движения груза;

z - радиус барабана (включая толщину ленты).

Плечо e_{sk} определим из прямоугольного ΔSKD :

$$e_{sk} = 0,5c \sin \gamma. \quad (3)$$

Система (I) из трех дифференциальных уравнений с пятью неизвестными \ddot{x} , \ddot{y} , $\ddot{\varphi}$, P , N не решается. С целью решения системы (I) находим дополнительное уравнение геометрических связей. Для этого выразим плечо e через проекции x и y центра масс груза на оси координат:

$$e = \frac{x - \overline{O_1 B} \sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{x - (z + 0,5c \sin \gamma) \sin \varphi}{\cos \varphi}, \quad (4)$$

$$e = \frac{\overline{O_1 B} \cos \varphi + (H - z) - y}{\sin \varphi} = \frac{(z + 0,5c \sin \gamma) \cos \varphi + (H - z) - y}{\sin \varphi}, \quad (5)$$

$$\overline{O_1 B} = \overline{O_1 A} + KS = (z + 0,5c \sin \gamma);$$

где H - перепад высот между лентой конвейера и поверхностью укладки.

Приравнивая правые части уравнений (2) и (4), находим x , а приравнивая (2) и (5), находим y .

$$x = vt \cos \varphi - z \varphi \cos \varphi + (z + 0,5c \sin \gamma) \sin \varphi, \quad (6)$$

$$y = -vt \sin \varphi + z \varphi \sin \varphi + (z + 0,5c \sin \gamma) \cos \varphi + (H - z). \quad (7)$$

Продифференцируем (6) и (7) по t и получим:

$$\dot{x} = v \cos \varphi - vt \sin \varphi \dot{\varphi} + z \varphi \dot{\varphi} \sin \varphi + 0,5c \sin \gamma \cos \varphi \dot{\varphi}, \quad (8)$$

$$\dot{y} = -v \sin \varphi - vt \dot{\varphi} \cos \varphi + z \varphi \dot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi} 0,5c \sin \gamma \sin \varphi, \quad (9)$$

$$\ddot{x} = \ddot{\varphi} (z \varphi \sin \varphi + 0,5c \sin \gamma \cos \varphi - vt \sin \varphi) + \dot{\varphi}^2 (z \sin \varphi + z \varphi \cos \varphi - vt \cos \varphi - 0,5c \sin \gamma \sin \varphi) - \dot{\varphi} 2v \sin \varphi, \quad (10)$$

$$\ddot{y} = \ddot{\varphi}(z\varphi \cos\varphi - 0,5c \sin\gamma \sin\varphi - vt \cos\varphi) + \dot{\varphi}^2(vt \sin\varphi + zc \cos\varphi - z\varphi \sin\varphi - 0,5c \sin\gamma \cos\varphi) - \dot{\varphi}^2 v \cos\varphi. \quad (11)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} b_1 &= (z\varphi \sin\varphi + 0,5c \sin\gamma \cos\varphi - vt \sin\varphi), \\ b_2 &= (z \sin\varphi + z\varphi \cos\varphi - vt \cos\varphi - 0,5c \sin\gamma \sin\gamma), \\ b_3 &= (z\varphi \cos\varphi - 0,5c \sin\gamma \sin\varphi - vt \cos\varphi), \\ b_4 &= (vt \sin\varphi + zc \cos\varphi - z\varphi \sin\varphi - 0,5c \sin\gamma \cos\varphi). \end{aligned}$$

С учетом введенных обозначений уравнения (10) и (11) примут вид:

$$\ddot{x} = \ddot{\varphi} b_1 + \dot{\varphi}^2 b_2 - \dot{\varphi}^2 v \sin\varphi, \quad (12)$$

$$\ddot{y} = \ddot{\varphi} b_3 + \dot{\varphi}^2 b_4 - \dot{\varphi}^2 v \cos\varphi. \quad (13)$$

Решая совместно первые два уравнения системы (1), находим

$$N = m(\ddot{x} \sin\varphi + \ddot{y} \cos\varphi + g \cos\varphi), \quad (14)$$

$$P = m(\ddot{x} \cos\varphi - \ddot{y} \sin\varphi - g \sin\varphi). \quad (15)$$

Перепишем третье уравнение системы (1) с учетом (2), (3), (14), (15) и, проведя соответствующие преобразования, получим

$$\frac{c^2}{12} \ddot{\varphi} = \ddot{x}(vt \sin\varphi - z\varphi \sin\varphi - 0,5c \sin\gamma \cos\varphi) + \ddot{y}(vt \cos\varphi - z\varphi \cos\varphi + 0,5c \sin\gamma \sin\varphi) + g(vt \cos\varphi - z\varphi \cos\varphi + 0,5c \sin\gamma \sin\varphi). \quad (16)$$

В полученном уравнении (16) величина в скобках при \ddot{x} идентична коэффициенту b_1 , взятому со знаком минус, а величины при \ddot{y} и g идентичны коэффициенту b_3 , взятому со знаком минус. Перепишем (16), учтя последнее, и получим

$$\frac{c^2}{12} \ddot{\varphi} = -\ddot{x} b_1 - \ddot{y} b_3 - g b_3. \quad (17)$$

Преобразуем уравнение (17), учтя (12) и (13), и находим

$$\ddot{\varphi} = \frac{\dot{\varphi}^2 v (b_1 \sin\varphi + b_3 \cos\varphi) - \dot{\varphi}^2 (b_1 b_2 + b_3 b_4) - g b_3}{\frac{c^2}{12} + b_1^2 + b_3^2}. \quad (18)$$

Дифференциальное уравнение (18) нелинейно и аналитически не решается. Полученное уравнение решается численно на ЭВМ при начальных условиях:

$$t=0, \quad \varphi_n = 0 \quad \text{и} \quad \dot{\varphi}_n = 0 \quad (19)$$

В результате решения уравнения (18) находим кинематические параметры движения $t, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$. Подставив полученное значение в уравнения (6)-(11), находим кинематические параметры движения центра масс груза. Силовые параметры находим из уравнений (14) и (15). В процессе расчета на ЭВМ кинематических параметров движения груза необходимо вести контроль выполнения следующих условий:

$$\frac{P}{N} \geq \mu, \quad (20)$$

$$e = vt - r\varphi \leq 0,5c \cos \gamma, \quad (21)$$

где μ - коэффициент сцепления опорной поверхности груза с лентой конвейера.

Нарушение условия (20) приводит к сдвигу груза относительно поверхности барабана и в дальнейшем груз будет обкатываться по поверхности барабана со скольжением. В этом случае дальнейший расчет по полученным формулам вести нельзя.

Нарушение условия (21) означает, что груз сошел с барабана конвейера и совершает инерциальное движение до встречи с поверхностью укладки. Определив кинематические параметры груза в момент нарушения условия (21) и, взяв их в качестве исходных данных, по известным уравнениям свободного падения тела, брошенного под углом к горизонту, рассчитывают кинематические параметры центра масс груза в момент его контакта с поверхностью укладки и угол входа в

контакт.

Исследуем дальнейшее движение груза, если условия (20) и (21) не нарушаются. В этом случае груз продолжает обкатываться по барабану конвейера без проскальзывания, угловая скорость груза растет и наступает момент, когда сила сцепления P становится равной нулю. При дальнейшем увеличении угловой скорости груза сила сцепления вновь начинает расти, изменив свое направление на противоположное. Система дифференциальных уравнений в этом случае будет иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N\sin\varphi - P\cos\varphi, \\ m\ddot{y} &= N\cos\varphi - P\sin\varphi - mg, \\ J\ddot{\varphi} &= Ne - Pe_{sk}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для решения системы уравнений (22) воспользуемся ранее найденными уравнениями геометрических связей (2), (4) и (5). Проведя математические операции, аналогичные вышеизложенным, и, сравнивая результаты, заключаем, что кинематические и силовые параметры определяются по формулам, идентичным полученным ранее, за исключением величины силы P , которая в данном случае определяется по формуле

$$P' = m(-\ddot{x}\cos\varphi + \ddot{y}\sin\varphi + g\sin\varphi). \quad (23)$$

И в этом случае, при расчете на ЭВМ кинематических параметров движения груза, необходимо вести контроль выполнения условий (20) и (21).

Полученная математическая модель процесса схода груза с барабана конвейера описывается, в основном, нелинейными дифференциальными уравнениями, которые решаются на ЭВМ численными методами для конкретно заданного груза.

Фактором, усложнившим исследования, является наличие переменных по величине и направлению силы сцепления и реакции связи, действующих на груз в процессе перегрузки.

Проведенные исследования процесса схода груза с барабана конвейера позволяют разработать рекомендации по выбору скорости движения рабочего органа погрузочной машины для заданного габарита груза.

При проектировании машины скорость v рабочего органа необходимо выбирать так, чтобы условие (21) нарушалось раньше, чем условие (20). В этом случае сход груза с барабана конвейера произойдет в режиме метания.

Печатается в соответствии с решением Совета факультета
"Машины и аппараты пищевых производств" Киевского техноло-
гического института пищевой промышленности протокол №4
от 23 декабря 1983года