Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова,
т. LIV, вып. 1, 1967 г.

УДК 621.867.2

ОБ УДАРНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГРУЗА С ЛЕНТОЙ ТРАНСПОРТЕРА

В. М. Гойхман

При транспортировании груза ленточными конвейерами в момент прохождения роликоопор груз может отделяться от ленты [Панкратов, 1963] при скорости движения ленты $v > \sqrt{rg}$ (r — радиус кривизны ленты на ролике).

Рассмотрим взаимодействие груза с лентой при прохождении роликоопоры.

Пусть материальная точка массой m находится на ленте в положении M (рис. 1). Лента движется со скоростью $v = \text{const}$. Принимаем, что проскальзывание между лентой и грузом отсутствует. Уравнения равновесия груза на ленте относительно осей $y' - x'$ соответственно будут

$$T_{\text{н}} + N - P\cos\varphi = 0, \tag{1}$$

$$F_{\text{тр}} - P\sin\varphi = 0, \tag{2}$$

где $T_{\text{н}} = \frac{mv^2}{R}$ — нормальная сила инерции груза; $v = \omega R$ — скорость движения груза (ленты); ω — угловая скорость вращения ролика; $R = r + h$ — радиус вращения груза; h — толщина ленты; N — нормальная реакция ленты; $P = mg$ — сила тяжести; $F_{\text{тр}}$ — сила трения; φ — угол, соответствующий дуге AM.

Груз оторвется от ленты в тот момент, когда $N \leqslant 0$, т. е. согласно (1), при

$$P\cos\varphi - T_n \leqslant 0$$

или

$$\frac{mv^2}{R} \geqslant P\cos\varphi. \tag{3}$$

Отсюда скорость отрыва груза от ленты

$$v \geqslant \sqrt{Rg\cos\varphi}. \tag{4}$$

Если в выражении (2) $P\sin\varphi = F_{\text{тр}}$, то проскальзывания массы m до момента отрыва не будет. Оно возможно при $P\sin\varphi > fN$ (где f — коэффициент трения скольжения). Тогда движение материальной точки опишется более сложными уравнениями, а скорость ее в момент отрыва не будет равна скорости движения ленты.

В общем случае на характер взаимодействия груза с лентой в момент отрыва оказывают влияние и свойства ленты, транспортируемого груза, состояние рабочей поверхности ленты и пр.

Уравнение траектории движения груза в координатных осях $x - y$ (рис. 2) после отрыва от ленты будет иметь вид [Лойцянский, Лурье, 1948]

$$y = -\frac{gx^2}{2v^2\cos^2\varphi} + x\,\text{tg}\,\varphi. \tag{5}$$

Прогиб ленты на участке $2a \leqslant x \leqslant l + 2a$ приближенно можно представить в виде уравнения

$$y = \frac{4k}{l^2}(x - 2a)(x - 2a - l), \tag{6}$$

где $k = \varepsilon - \delta$ — максимальный прогиб ленты на участке l; $2a$ — хорда, соответствующая дуге прилегания ленты к ролику (угол $2\varphi_0$).

Высота наибольшего подъема груза, равная максимуму функции (5),

$$y_1 = \frac{v^2}{g}\sin^2\varphi.$$

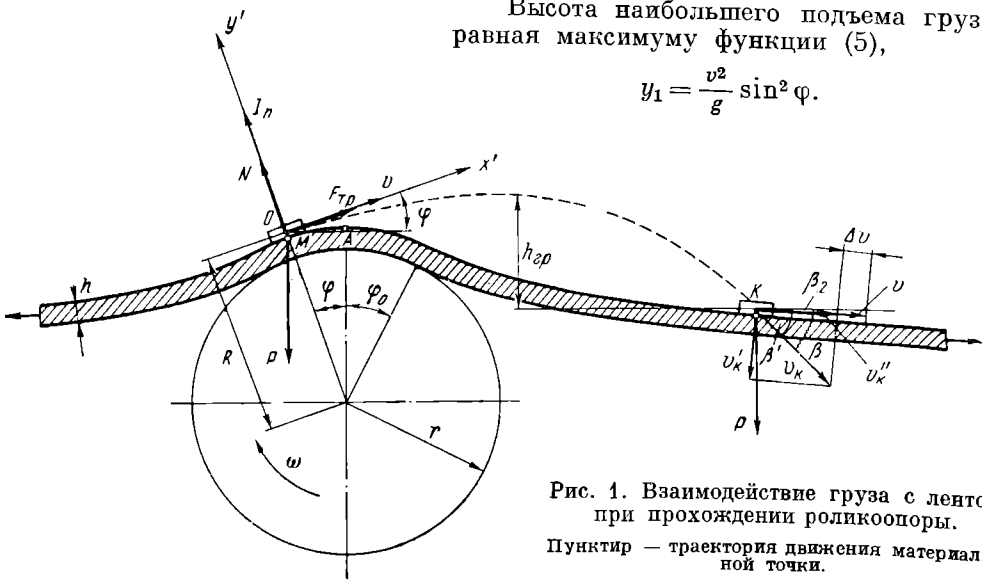


Рис. 1. Взаимодействие груза с лентой при прохождении роликоопоры.

Пунктир — траектория движения материальной точки.

Место падения груза на ленту после отрыва определим совместным решением уравнений (5) и (6), приравняв значения y,

$$\frac{gx^2}{2v^2\cos^2\varphi} + x\operatorname{tg}\varphi = \frac{4k}{l^2}(x - 2a)(x - 2a - l). \tag{7}$$

Упростим дальнейшие расчеты введением обозначений

$$\frac{g}{2v^2\cos^2\varphi} = b; \quad \operatorname{tg}\varphi = n; \quad \frac{4k}{l^2} = p.$$

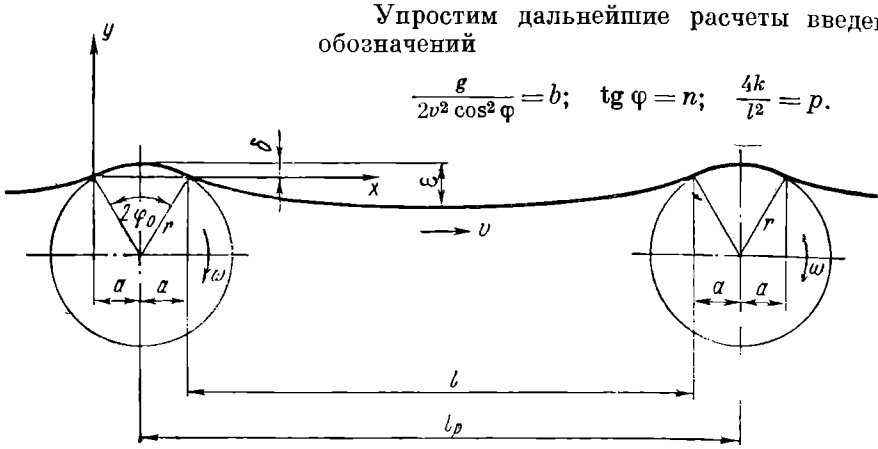


Рис. 2. Схема работы ленты на участке между роликоопорами.

Подставив эти значения в формулу (7), получим

$$-x^2 b + xn = p(x - 2a)(x - 2a - l).$$

Отсюда

$$x = \frac{(pl + 4pa + n) + \sqrt{(pl + 4pa + n)^2 - 4(p + b)(4a^2 + 2al)}}{2(p + b)}. \tag{8}$$

Подставив значение выражения (8) в формулу (6), определим прогиб ленты в точке K — точке встречи груза с лентой (см. рис. 1).

Тогда высота свободного полета груза с точки максимального подъема до встречи с лентой

$$h_{\text{гр}} = y_1 + |y_2|.$$

Составляющие скорости груза в точке K в проекциях на оси $x - y$ (рис. 2) будут

$$v_x = v\cos\varphi,$$
$$v_y = \sqrt{2gh_{\text{гр}}}$$

и

$$v_K = \sqrt{v^2\cos\varphi + 2gh_{\text{гр}}}.$$

Угол между вектором скорости груза v_K и осью x

$$\beta_1 = \operatorname{arc\,tg}\frac{\sqrt{2gh_{\text{гр}}}}{v\cos\varphi}.$$

Угол между вектором скорости ленты v и осью x в точке K

$$\beta_2 = \operatorname{arc\,tg}(2px - pb).$$

Следовательно, угол между векторами скорости v_K и v

$$\beta = \beta_1 - \beta_2. \qquad (9)$$

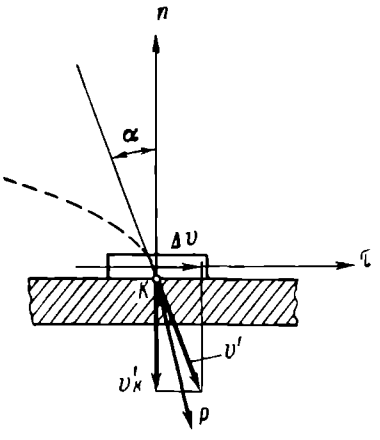


Рис. 3. Взаимодействие груза с лентой в момент удара.

Пунктир — траектория движения материальной точки.

Когда груз падает в зоне соприкосновения ленты с роликом, можно считать, что $\beta_1 = \beta_2$ и согласно выражению (9) $\beta = 0$. По мере удаления точки падения груза от точки отрыва (при увеличении скорости v) угол β_2 уменьшается (при $x = \frac{l}{2}$ $\beta_2 = 0$), а β_1 практически постоянен. *Следовательно, по мере удаления точки падения груза угол* β возрастает.

Разложим вектор v_K на направления касательной и нормали в точке K: $v'_K = v_K\sin\beta$ и $v''_K = v_K\cos\beta$. С увеличением угла β составляющая β'_K будет расти, а v''_K уменьшаться и, соответственно, возрастать разность скоростей $\Delta v = v - v''_K$ (см. рис. 1).

Таким образом, благодаря наличию составляющих относительной скорости v'_K и Δv, в точке падения груза на ленту будет иметь место косой удар (рис. 3) с трением [Лойцянский, Лурье, 1948]. Для упрощения дальнейших рассуждений считаем удар неупругим. Тогда составляющая импульса силы в проекции на нормаль в точке K за время удара будет равна

$$S_n = mv'\cos\alpha, \qquad (10)$$

где v' — вектор скорости груза при ударе; α — угол между вектором v' и нормалью в точке падения.

Среднее значение «мгновенной» силы нормальной реакции ленты за время удара τ

$$N' = \frac{S_n}{\tau}. \qquad (11)$$

Подставив в выражение (11) значение S из формулы (10), получим

$$N' = \frac{mv'\cos\alpha}{\tau}. \qquad (12)$$

Но $m = \frac{P}{g}$ а $v' \cos \alpha = v'_K$. Следовательно, выражение (12) можно представить в виде

$$N' = \frac{P v'_K}{g \tau}.$$

Примем $P = 500$ *н*; $v'_K = 0{,}5$ *м/сек*; $\tau = 0{,}01$ *сек*.

Тогда

$$N' = 2550 \text{ н}.$$

Определим среднее значение «мгновенной» силы трения груза о ленту $F'_{тр}$. Принимая, что касательный удар связан с нормальным так же, как обычная сила трения с нормальным давлением [Лойцянский, Лурье, 1948],

$$F'_{тр} = fN'$$

Для $f = 0{,}6$

$$F'_{тр} = 0{,}6 \cdot 2550 = 1530 \text{ н}.$$

Максимальные значения сил H' и $F'_{тр}$ могут оказаться значительно большими, хотя уже в данном примере среднее значение силы N' в 5,1 раза превышает статическую опорную реакцию, равную весу груза P. Среднее значение $F'_{тр}$ во столько же раз превышает силу трения конечного значения, равную

$$F_{тр} = fP = 0{,}6 \cdot 500 = 300 \text{ н}.$$

Если считать, что транспортируемый груз абразивен, то в момент удара контактные напряжения, обусловленные силами T и $F'_{тр}$, могут достигать значений, превышающих прочности поверхностного слоя ленты, т. е. возможно механическое повреждение ленты.

Рассмотрим потери кинетической энергии при ударе груза о ленту.

Составляющая скорости v'_K (рис. 3) обусловливает прямой удар и соответствующую ей потерю кинетической энергии, а Δv — касательный удар и существующую при этом потерю кинетической энергии с одной стороны, а с другой — потерю энергии, затрачиваемой на преодоление силы трения в результате проскальзывания груза по ленте (до момента $\Delta v = 0$).

Потерянная падающим грузом энергия W переходит в механическую, совершая деформацию и нагрев ленты. Если же учесть, что твердость рабочей поверхности ленты, транспортирующей абразивные грузы, намного ниже твердости грузов, то эта энергия в конечном итоге приводит к износу рабочей поверхности ленты.

Как показано выше, $h_{тр}$ и Δv возрастают с увеличением скорости транспортирования, т. е. соответственно энергии W, теряемой падающим на ленту грузом. Учитывая, что потеря энергии происходит при прохождении грузом каждой из роликоопор, то даже при небольшом значении W на одной роликоопоре суммарное ее значение ΣW по длине всей трассы конвейера может иметь значительную величину.

Известно [Спиваковский, Потапов, Котов, 1965], что ленты конвейеров, транспортирующих абразивные и крупнокусковатые грузы, наиболее часто выходят из строя из-за износа верхней обкладки ленты, а действие факторов, способствующих механическому износу лент, значительно усугубляется с увеличением скоростей транспортирования.

Рассмотренное явление взаимодействия груза с лентой при прохождении роликоопор на малых скоростях транспортирования не принимают во внимание. Однако, как показано выше, с увеличением скорости транспортирования вредное действие этого явления усугубляется. Можно предположить, что с увеличением скоростей транспортирования крупнокусковатых и абра-

зивных грузов удельный вес рассмотренного явления в общем механическом износе лент окажется настолько значительным, что потребуется разработка специальных мероприятий для борьбы с ним.

ЛИТЕРАТУРА

Лойцянский Л. Г. Лурье А. И. Курс теоретической механики, т. II. Гостехиздат, 1948.

Панкратов С. А. К определению давления груза и ленты на роликоопоры ленточных конвейеров. Укрниипроект, Научн. зап., вып. 11, 1963.

Спиваковский А. О., Потапов М. Г., Котов М. А. Карьерный конвейерный транспорт. Недра, 1965.