Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 133. СПб, 1993

УДК 622.647.1/2

М.М.ВЕТЮКОВ, Л.А.ЮНГМЕЙСТЕР,
В.А.АБДЕЕВ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПУСКЕ МНОГОПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Существующие методики расчетов ленточных конвейеров используют высокие значения коэффициентов запаса прочности лент: от 8 до 10. Это свидетельствует о приближенности расчетов, в частности, связанной с тем, что динамические силы в лентах, возникающие при пуске (остановке) конвейеров не учитываются. Учет динамики натяжений ленты особенно важен для расчета многоприводных, протяженных конвейеров, у которых приводные станции встроены в межленточное пространство и рассредоточены по длине конвейера. Это способствовало бы более точному выбору типа лент и позволило бы получить экономический эффект от установки лент меньшей прочности или от снижения продолжительности пробуксовки привода.

При постановке задачи будем считать, что сила тяги привода практически мгновенно возрастает до своего постоянного значения S_n. Протяженность привода в расчета не учитывается.

Уравнение движения ленты запишем в виде волнового уравнения для смещения $U(x,t)$ с учетом силы сопротивления движению ленты по роликам

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - g\omega \; ; \; c = \sqrt{E/\rho} \; , \qquad (1)$$

где E – модуль упругости ленты; ρ – плотность ее материала; $g = 9{,}8$ м/с^2 – ускорение свободного падения; ω – коэффициент сопротивления, который считаем малым; c – скорость распространения продольной волны.

Уравнение (I) будем решать при следующих начальных и граничных условиях:

$$U\Big|_{t=0} = 0 \; ; \; \frac{\partial U}{\partial t}\Big|_{t=0} = 0 \; ; \; \frac{\partial U}{\partial x}\Big|_{x=+0} - \frac{\partial U}{\partial x}\Big|_{x=-0} = -\frac{S_n}{EF} \; . \qquad (2)$$

Последнее условие описывает скачок продольной силы в ленте конвейера на величину S_n при переходе через привод.

Решение задачи (I)–(2) при отсутствии сил трения ($\omega = 0$) можно представить в виде прямой и обратной прямоугольных волн, распространяющихся в обе стороны от привода со скоростью c :

$$U=\begin{cases} v\left(t-\frac{x}{c}\right), & 0<x<ct; \\ v\left(t+\frac{x}{c}\right), & -ct<x<0; \\ 0, & |x|>ct; \end{cases} \quad v=\frac{S_n c}{2EF},$$

где v – начальная скорость ленты, определяемая последним из условий (2); F – площадь сечения ленты. При $\omega \neq 0$ будем считать, что интенсивность волны при пуске убывает экспоненциально с расстоянием x до привода. Так, для прямой волны

$$U = v\exp(-\mu x/2c)\left(t-\frac{x}{c}\right), \tag{3}$$

где коэффициент μ считаем малым и пропорциональным

Подставив выражение в уравнение (I) и считая $\partial^2 U/\partial t^2 = 0$, получим

$$c^2\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[v\,e^{-\frac{\mu x}{2c}}\left(t-\frac{x}{c}\right)\right]-\frac{g\omega}{\rho F}=0. \tag{4}$$

Отбросив после дифференцирования слагаемые порядка μ^2, найдем $\mu \approx g\omega/v$.

Динамические усилия в ленте также убывают по экспоненциальному закону с координатой x. Для прямой и обратной волн с точностью до слагаемых порядка μ имеем соответственно

$$\begin{aligned} S_{пр} &= EF\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{S_n}{2}e^{-\frac{\mu x}{2c}}, \quad x>0; \\ S_{обр} &= \frac{S_n}{2}e^{\frac{\mu x}{2c}}, \quad x<0. \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь знак минус означает, что прямая волна соответствует усилию сжатия.

Чтобы определить динамические усилия при действии нескольких приводов, применим метод суммирования волн. При действии n приводов, расположенных друг от друга на равных расстояниях L, усилие вблизи первого привода

$$S=\frac{S_n}{2}\left(1+e^{-\frac{\mu L}{2c}}+\ldots+e^{-\frac{\mu(n-1)L}{2c}}\right)$$

или по формуле для суммы геометрической прогрессии

$$S=\frac{S_n}{2}\,\frac{1-e^{-\frac{\mu n L}{2c}}}{1-e^{-\frac{\mu L}{2c}}}. \tag{6}$$

Рассчитаем для примера динамические усилия для ленты шириной B = = 800 мм, толщиной Δ = I4 мм, полный модуль упругости которой для пяти прокладок $E = 0{,}9\cdot10^6$ кН/м^2, усилие одного привода S_n = I4 кН, погонная нагрузка от веса ленты $q_л$ = 220 Н/м, от груза $q_г$ = I300 Н/м, коэффициент сопротивления ω = 0,03, установившаяся скорость ленты v = 3 м/с.

Для нагруженной ленты $\rho = (q_л + q_т)/gF = 1{,}38 \cdot 10^4$ кг/м^3. Скорость волны $c = \sqrt{E/\rho} = 255$ м/с, коэффициент $\mu = g\omega/v = 9{,}8 \cdot 10^{-2}$. При $L = 300$ м и числе приводов $n = 3$ по формуле (6) найдем динамическое усилие $S = (S_n/2) \cdot 2{,}83 = 19{,}8$ кН. При отсутствии трения ($\mu = 0$) $S = (S_n/2) \cdot n = 21$ кН.

Расчеты показывают, что в первоначальный момент пуска скорость несущей ленты для груженой ленты составляет 0,17 м/с. Это означает, что пробуксовка лент промежуточного привода неизбежна, так как для выравнивания скорости грузонесущей и тяговой лент, т.е. для достижения несущей лентой скорости 3 м/с потребуется некоторое время. Уменьшить его можно, задав специальный закон изменения тягового усилия привода S_n во времени [см. формулу (3), последний сомножитель]. Это значительно усложнит математическое описание задачи, но позволит более корректно рассчитать условия пуска конвейера и выбрать такие параметры привода, которые позволят снизить время пробуксовки до минимума.