где функции $u(z, t)$, $u_2(z, t)$ являются решениями системы уравнений:

$$E\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[I\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(u+\mu'\frac{\partial u}{\partial t}\right)\right]+\rho_s\frac{\partial^2 u^1}{\partial t^2}-T_1\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}+$$

$$+E_2\left(1+\mu_2\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(u-u_2\right)=P\delta\left(z-vt\right)\sigma\left(0,\frac{l_0}{v}\right); \quad (4.39)$$

$$\rho_2\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2}-T_2\frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2}+E_2\left(1+\mu_2\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(u-u_2\right)=0,$$

описывающей колебания СТЛ при движении одиночной нагрузки величиной P. В общем случае при произвольном i_0 вместо равенств (4.38) имеем:

$$u^{(1)}(z,t)=\sum_{i=1}^{i_0}\left[u\left(z,t-\frac{z_{1i}}{v}\right)\sigma\left(\frac{z_{1i}}{v},\infty\right)+u\left(z,t-\frac{z_{2i}}{v}\right)\sigma\left(\frac{z_{2i}}{v},\infty\right)\right];$$
$$(4.40)$$
$$u_2^{(1)}(z,t)=\sum_{i=1}^{i_0}\left[u_2\left(z,t-\frac{z_{1i}}{v}\right)\sigma\left(\frac{z_{1i}}{v},\infty\right)+u_2\left(z,t-\frac{z_{2i}}{v}\right)\sigma\left(\frac{z_{2i}}{v},\infty\right)\right].$$

Функции (4.40) позволяют интерпретировать решение уравнений (4.35) как результат воздействия на СТЛ системы $2i_0$ одиночных нагрузок, расстояния между которыми (l_1 и $l_1 + l_2$) чередуются, либо двух систем одиночных равноотстоящих нагрузок (число нагрузок i_0).

Таким образом, задача о колебаниях однопролетной СТЛ при движении по ней транспортных модулей в первом приближении сводится к задаче о колебаниях пролета под действием одиночной нагрузки.

4.2. Исследования колебаний гибкой струны. Первое приближение СТЛ

В этом разделе рассмотрено нагружение струнной транспортной линии с корпусом, жесткостью которого можно пренебречь. Исследовано равновесие пролета под действием одной и двух одинаковых нагрузок; получены формулы для максимального статического прогиба. Дан подробный анализ колебаний пролета при движении одиночной нагрузки и потока нагрузок

для различных скоростей движения, определены максимальные динамические прогибы и выявлены безрезонансные режимы движения. Построена траектория одиночной нагрузки и найден максимальный прогиб пролета под нагрузкой.

4.2.1. Постановка задачи. Статический анализ

Рассмотрим N_0-пролетную СТЛ, жесткостью и массой корпуса которой можно пренебречь. Струны СТЛ считаем связанными между собой невесомыми связями так, что расстояния между их точками, лежащими на одной вертикали, неизменны. Опоры линии предполагаем жесткими двусторонними связями.

Из принятых допущений следует, что соседние пролеты при движении не оказывают взаимного воздействия друг на друга и, следовательно, колебания пролетов в первом приближении будут одинаковыми с точностью до сдвига по времени на величину l_0/v. Это значит, что задача сводится к изучению колебаний однопролетной СТЛ под действием движущихся нагрузок. Из уравнений (4.16), (4.35), (4.39) следует, что колебания пролета при движении одиночной нагрузки описываются уравнением

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-a^2\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}=\frac{P}{\rho'}\delta\left(z-vt\right)\sigma\left(0,\frac{l_0}{v}\right), \quad (4.41)$$

где $a=\left(T'/\rho'\right)^{1/2}=\left(\frac{T_1+T_2}{\rho_1+\rho_2}\right)^{1/2}$.

Граничные и начальные условия задачи:

$$u\left(0,t\right)=u\left(l_0,t\right)=0; \quad (4.42)$$

$$u\left(z,0\right)=\frac{\partial u\left(z,0\right)}{\partial t}=0. \quad (4.43)$$

Если на пролет не действуют сосредоточенные нагрузки, то уравнение равновесия нижней струны пролета, которая обеспечивает горизонтальность верхней струны, имеет вид:

$$T_2\frac{d^2 y_{20}}{dz^2}+\left(\rho_1+\rho_2\right)g=0.$$