где $\tilde{f}(z, t)$ – плотность внешних по оношению к СТЛ сил, не относящихся к модулю; $\delta(z)$ – δ-функция Дирака [16]. Поскольку каждое колесо модуля воздействует на линию в течение времени nl_0/v, то (4.23) примет вид:

$$f(z,t) = \left[\left(m_1 + 2m_2\right)\frac{g}{2} + \left(c + v\frac{d}{dt}\right)\left(U - 0{,}5l_1\varphi - u(vt,t)\right) - \right.$$
$$\left. - m_2\frac{d^2u(vt,t)}{dt^2}\right]\delta(z - vt)\sigma\left(0, \frac{Nl_0}{v}\right) + \left[\left(m_1 + 2m_2\right)\frac{g}{2} + \right.$$
$$+ \left(c + v\frac{d}{dt}\right)\left(U + 0{,}5l_1\varphi - u(vt - l_1, t)\right) -$$
$$\left. - m_2\frac{d^2u(vt - l_1, t)}{dt^2}\right]\delta(z - vt + l_1)\sigma\left(\frac{l_1}{v}, \frac{Nl_0}{v}\right). \tag{4.24}$$

Систему уравнений совместного движении СТЛ и одиночного модуля получим, объединяя уравнения (4.13) с уравнениями (4.20). Эта система уравнений является обобщением уравнения колебаний балки под действием движущейся массы [35]. Частные случаи уравнений движения системы «СТЛ – одиночный модуль» получаются, если объединить уравнения (4.20) с уравнениями (4.14) (СТЛ с однородным по длине корпусом), (4.15) (СТЛ, струны которой скреплены с корпусом) или (4.16) (гибкая СТЛ со скрепленными струнами).

Если допустить, что модуль въезжает на покоящуюся СТЛ с разгонного горизонтального участка, то начальные условия будут нулевые:

$$U(0) = \frac{dU(0)}{dt} = 0; \quad \varphi(0) = \frac{d\varphi(0)}{dt} = 0;$$
$$u(z,0) = \frac{\partial u(z,0)}{\partial t} = 0; \quad u_2(z,0) = \frac{\partial u_2(z,0)}{\partial t} = 0. \tag{4.25}$$

Граничные условия для функций u, u_2 определяются способом закрепления СТЛ на опорах.

Перейдем к рассмотрению системы «СТЛ – поток модулей». Чтобы определить силовое воздействие потока модулей на линию, достаточно просуммировать силы, приложенные к СТЛ со стороны отдельных модулей. Следовательно, с учетом равенства (4.24) функцию $f(z, t)$ в уравнениях (4.13)–(4.16) можно представить так:

$$f(z,t) = \sum_{i=1}^{i_0}\left[\left(m_1 + 2m_2\right)\frac{g}{2} + \left(c + v\frac{d}{dt}\right)\left(U_i - 0{,}5l_1\varphi_i - u(vt - z_{1i}, t)\right) - \right.$$
$$\left. - m_2\frac{d^2u(vt - z_{1i}, t)}{dt_2}\right]\delta_{1i}\sigma_{1i} + \sum_{i=1}^{i_0}\left[\left(m_1 + 2m_2\right)\frac{g}{2} + \left(c + v\frac{d}{dt}\right) \times \right.$$
$$\left. \times \left(U_i - 0{,}5l_1\varphi_i - u(vt - z_{2i}, t)\right) - m_2\frac{d^2u(vt - z_{2i}, t)}{dt_2}\right]\delta_{2i}\sigma_{2i} + \tilde{f}(z,t). \tag{4.26}$$

Здесь z_{1i}, z_{2i}, δ_{1i}, δ_{2i} даются равенствами (4.22); i_0 – количество модулей, колеса которых контактировали с линией до рассматриваемого момента времени:

$$\delta_{1i} = \delta(z - vt, z_{1i}); \quad \delta_{2i} = \delta(z - vt, z_{2i}). \tag{4.27}$$

Объединяя уравнения движения СТЛ (одна из систем (4.13)–(4.16), в которых $f(z, t)$ имеет вид (4.26)), с уравнениями движения модулей (4.21), получим систему уравнений совместного движения модулей и СТЛ. Заметим, что количество уравнений этой системы зависит от величины временного интервала, на котором рассматривается движение.

4.1.4. Анализ уравнений движения и выбор метода решения

Рассмотрим систему уравнений движения одиночного модуля и СТЛ (4.13), (4.20). Эти уравнения связаны друг с другом посредством правых частей, содержащих искомые функции. Аналитическое решение уравнений (4.13), (4.20), несмотря на их линейность, в общем случае представляет значительные трудности. Еще более сложным является решение задачи о движении потока модулей по СТЛ. Поэтому целесообразно выявить характерные особенности задачи с целью упрощения ее решения.