

связи с этим следует обосновать единый подход к проектированию всех сооружений мостового перехода.

3. В рассмотренных исследованиях решены частные задачи автоматизации отдельных методик проектирования, отдельных видов и способов восстановления, а также отдельных конструктивных решений. Необходимо объединить все эти частные методики на основе современных аппаратных средств (компьютерной техники) в едином программно-информационном пространстве. Кроме того, единая автоматизированная система разработки конструктивных (технических) решений на восстановление железнодорожных мостовых переходов должна работать в общей системе АСУ железнодорожными войсками, а в перспективе и в АСУ железнодорожным транспортом.

4. Практически во всех рассмотренных работах обоснованы методики совместного (взаимообусловленного) проектирования, конструирования и организации восстановления (строительства на обходе) моста. Исходя из этого можно сделать вывод, что создать отдельно конструкцию (проект) восстановления моста без учета организации его сооружения конкретными силами и средствами в конкретно сложившейся обстановке невозможно. Однако в разрабатываемой автоматизированной системе основной упор надо делать на конструкции моста с ограничениями выбора решения, накладываемыми организационно-техническими ресурсами.

5. Различная аппаратная и программная база разработанных ранее компонент автоматизации проектирования военных мостов не позволяет их использовать на современной электронно-вычислительной технике. Невозможно их использование и совместно, так как они не увязаны по информационным потокам. Причина, прежде всего, исторического плана. Она связана с общемировыми тенденциями бурного скачкообразного развития компьютерной техники. При этих качественных изменениях, которые происходят практически каждые 5 – 7 лет, старые разработки требуют больших затрат на адаптацию к новой технике, а порой необходима и полная их программная переработка.

Для создания единой автоматизированной системы разработки конструктивных (технических) решений на восстановление железнодорожных мостовых переходов предстоит решить следующие первоочередные частные задачи:

- сформировать концепцию построения системы автоматизированного проектирования мостовых переходов (военных мостов);
- определить состав и порядок формирования исходных данных для автоматизированного проектирования мостовых переходов;
- разработать систему критериев выбора рациональных вариантов по восстановлению мостового перехода.

УДК 539.3

КОЛЕБАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ НА БЕЗЫНЕРЦИОННОМ ОСНОВАНИИ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта.

В последнее время все более высокие требования предъявляются к строительным конструкциям. Они должны быть удобны в эксплуатации, обладать малым весом, но в тоже время быть безопасными и надежными. Этим требованиям отвечают трехслойные конструкции. В данной работе рассматриваются поперечные колебания несимметричного по толщине трехслойного стержня, расположенного на упругом основании.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли, в жёстком заполнителе справедливы точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты z . На границах контакта используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоев несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается его обжатие, деформации малые. Система координат x, y, z связывается со срединной плоскостью заполнителя. К внешней поверхности первого несущего слоя приложены динамические по-

верхностные нагрузки $p(x, t)$, $q(x, t)$. На нижнюю поверхность второго несущего слоя действует реакция основания $q_r(x, t)$ (рисунке 1). Через $w_k(x, t)$ и $u_k(x, t)$ обозначены прогибы и продольные перемещения срединных линий несущих слоёв. Все перемещения и линейные размеры стержня отнесены к его длине l .

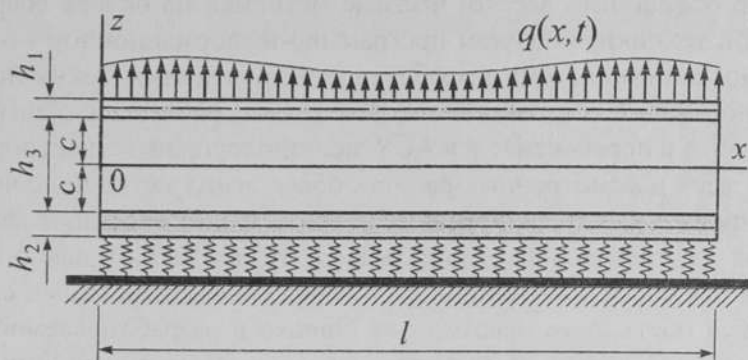


Рисунок 1 – Трехслойный стержень со сжимаемым заполнителем

Уравнения движения рассматриваемого трехслойного стержня получим, используя вариационный принцип Лагранжа с учетом работы сил инерции,

$$\delta A - \delta W = \delta A_I, \quad (1)$$

где δA – вариация работы внешних сил; δW – вариация работы внутренних сил упругости; δA_I – вариация работы сил инерции.

При определении работы внешних сил считаем, что к внешней поверхности первого несущего слоя приложены произвольные распределенные нагрузки $p(x, t)$, $q(x, t)$, а к торцам стержня – некоторые усилия и моменты. Тогда

$$\delta A = b_0 \int_0^l \left[p \left(\delta u_1 - \frac{h_1}{2} \delta w_{1,x} \right) + q \delta w_1 - q_r \delta w_2 \right] dx. \quad (2)$$

Вариация работы сил упругости

$$\delta W = b_0 \int_0^l \left[\sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_{xx}^{(k)} \delta \epsilon_{xx}^{(k)} dz + 2 \int_{h_3} \sigma_{xz}^{(3)} \delta \epsilon_{xz}^{(3)} dz + \int_{h_3} \sigma_{zz}^{(3)} \delta \epsilon_{zz}^{(3)} dz \right] dx. \quad (3)$$

Вариация работы сил инерции

$$\delta A_I = b_0 \sum_{k=1}^3 \int_0^l \left[\rho_k \left(\ddot{w}^{(k)} \delta w^{(k)} + \ddot{u}^{(k)} \delta u^{(k)} \right) \right] dz dx. \quad (4)$$

После подстановки (2)–(4) в (1) получим систему уравнений движения в частных производных:

$$\begin{aligned} a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 u_{1,xx} - a_5 u_{2,xx} + a_2 w_{1,x} + a_3 w_{2,x} - 2a_6 w_{1,xxx} + a_7 w_{2,xxx} + m_1 \ddot{u}_1 &= 0; \\ -a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 u_{1,xx} - a_9 u_{2,xx} - a_{10} w_{1,x} - a_{17} w_{2,x} - a_6 w_{1,xxx} + 2a_7 w_{2,xxx} + m_2 \ddot{u}_2 &= 0; \\ -a_2 u_{1,x} + a_{10} u_{2,x} + 2a_6 u_{1,xxx} + a_6 u_{2,xxx} + a_{11} w_{1,xx} - a_{12} w_{2,xx} + \\ + a_{15} w_{1,xxxx} - a_{16} w_{2,xxxx} + a_8 w_1 - a_8 w_2 + m_1 \ddot{w}_1 - m_3 \ddot{w}_{1,xx} &= q; \\ -a_3 u_{1,x} + a_{17} u_{2,x} - a_7 u_{1,xxx} - 2a_7 u_{2,xxx} - a_{12} w_{1,xx} + a_{14} w_{2,xx} - \\ -a_{16} w_{1,xxxx} + a_{13} w_{2,xxxx} - a_8 w_1 + a_8 w_2 + m_2 \ddot{w}_2 - m_4 \ddot{w}_{2,xx} &= -q_r. \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим модель безынерционного основания – модель Винклера (Winkler E.). Учитывая, что стержень прикреплен к основанию, величина давления со стороны основания будет иметь вид

$$q_r = \kappa_0 w_2.$$

Решение начально-краевой задачи (5) проводится методом Бубнова-Галеркина. Для этого иско-
мые перемещения $u_1(x, t)$, $u_2(x, t)$, $w_1(x, t)$, $w_2(x, t)$ и нагрузка $q(x, t)$ представляются в виде разложе-
ния в ряды по системам базисных функций:

$$u_1(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m1}(t); \quad u_2(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m2}(t); \quad w_1(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m3}(t);$$

$$w_2(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m4}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} q_m(t), \quad q_m(t) = \frac{2}{l} \int_0^l q(x, t) \sin \frac{\pi m x}{l} dx.$$

В этом случае выполняются условия свободного опирания стержня по торцам на неподвижные жесткие опоры.

Функции $T_{mk}(t)$ представляются в виде разложения по собственным формам:

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{mik}^2 = 1 \right),$$

где δ_{mki} — амплитуды нормированных собственных форм колебаний.

Выражение для функций $\zeta_{mi}(t)$ принимаются в виде

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi} t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi} t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t - \tau)) \tilde{q}_{mi}(\tau) d\tau,$$

где ω_{mi} — частоты собственных колебаний стержня, A_{mi} , B_{mi} — константы интегрирования, опреде-
ляемые из начальных условий.

Таким образом, построена математическая модель и решена задача о колебании трехслойного стержня на упругом безынерционном винклеровском основании.

УДК 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ И НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОПОДОБНЫХ СЛОЕВ

Н. А. МАРЬИНА

Белорусский государственный университет транспорта

Многие задачи повышения износостойкости можно решить путем нанесения многослойных по-
крытий на основе оксидов и нитридов металлов и углеродных слоев. Физико-химические и механи-
ческие свойства гетерогенных тонкопленочных систем определяются природой отдельных ингре-
диентов, характером распределения фаз в объеме матрицы, межфазными процессами и структурой
образующихся переходных граничных слоев. Теоретические исследования подобных систем весьма
ограничены, что препятствует их эффективному практическому применению. Научный и практиче-
ский интерес представляет изучение особенностей напряженно-деформированного состояния таких
систем с учетом межфазных слоев и исследование их влияния на параметры системы в целом. По-
этому проведение исследовательских работ является необходимым условием создания оптималь-
ных по своей конструкции многослойных покрытий с учетом их эксплуатационных и технологиче-
ских показателей, а также высокой эффективности и перспективности при упрочнении различных
высокоточных деталей.

Результатом проводимых исследований является определение оптимальных технологических и
физико-механических параметров для формирования многослойных композиционных покрытий
при различных условиях нагружения. При этом в качестве основного критерия оптимизации ис-
пользуются соотношения параметров размещения зоны максимальных эффективных напряжений и
областей материала с максимальной когезионной прочностью.