

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ,
МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

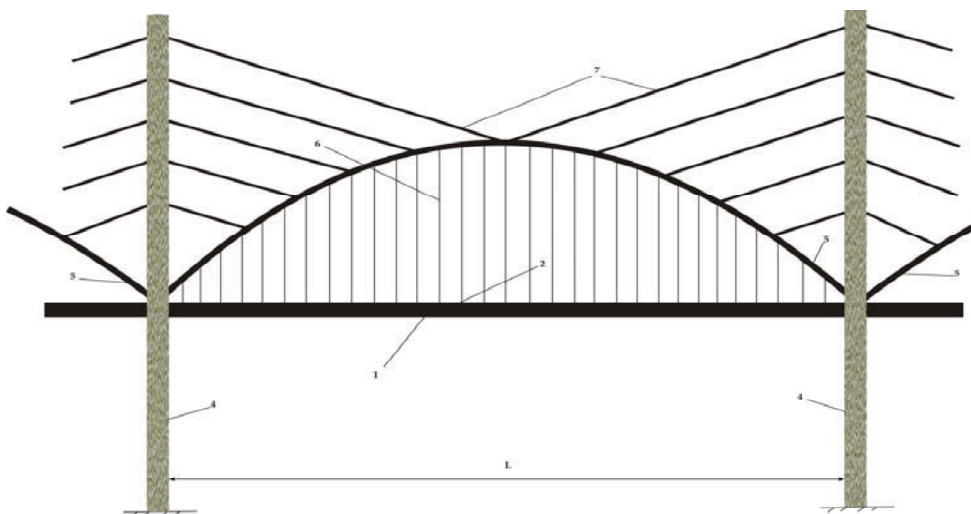
УДК 624.5

Иманалиев Темир Болотбекович – к.т.н., доцент (Бишкек, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры)

АРОЧНО-ВАНТОВАЯ НЕСУЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВИАДУКОВ

Строительство железных дорог на горных участках неизбежно вызовет потребность в устройстве специальных горных искусственных сооружений – виадуков. В высокогорных условиях, где сейсмическая составляющая динамических нагрузок является преобладающей, обеспечение сейсмостойкости мостовых сооружений весьма актуально. Мостовые сооружения требуют устройства массивных несущих конструкций преимущественно арочного или балочного типа, а также их фундаментов, что, в свою очередь, снижает сейсмическую устойчивость всего сооружения, так как устройство массивных опор и фундаментов вызовет резонансные колебания при сейсмическом воздействии. В этих условиях актуальными задачами обеспечения сейсмоустойчивости сооружения являются, во-первых, сокращение массы сооружений, что, в свою очередь, вызовет снижение резонансных явлений, во-вторых, обеспечение упругих смещений конструкций в пространстве с периодом собственных колебаний, соответствующим преобладающим периодам колебаний среды при землетрясении. Эти требования может обеспечить предлагаемое арочно-вантовое конструктивное решение для виадуков [1].

Конструктивное решение поясняется рисунками. На рис. 1 представлен общий вид одного из пролетов виадука. При этом виадук содержит балку жесткости 1, которая несет железнодорожный путь 2 и установленную на горизонтальных перемычках 3 (не показан) А-образных пилонов 4, возведенных с концов пролета, в пределах которого по обеим сторонам балки жесткости 1 металлические арки 5, по вершинам сопряженные друг с другом и концами жестко прикрепленные к соответствующим ребрам 8 (не показан) пилона 4. Каждая арка 5 соединена параллельными по фасаду тросовыми подвесками 6 с балкой жесткости 1 и диагональными металлическими вантами 7 с соответствующим ребром 8 А-образного пилона 4.



1 – балка жесткости; 2 – путь; 4 – А-образные пилоны; 5 – металлические арки;
6 – тросовые подвески; 7 – диагональные металлические ванты.

Рисунок 1 – Общий вид пролета виадука

Для расчетного обоснования представленного конструктивного решения виадука проведены аппроксимация МКЭ и численный эксперимент в среде Lira 9.4. Задача динамического расчета формулируется, как и в статическом случае, в виде вариационного равенства [2]:

$$b \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, v \right) + c \left(\frac{\partial u}{\partial t}, v \right) + a(u, v) = (f(t), v), t > 0 \quad (1)$$

$$u(0) = u^0, \partial u / \partial t(0) = u^1,$$

где $u_i = u(t)$ – точное решение; $b(u, v)$, $c(u, v)$ – возможные работы инерционных и демпфирующих сил, u^0, u^1 – начальные значения перемещения и скорости.

Остальные обозначения те же, что и в статической задаче.

Реализован метод решения динамической задачи, заключающийся в сочетании МКЭ с разложением по формам собственных колебаний.

$$u_h = \sum_{i=1}^N u_i(t) \mu_i, \quad (2)$$

где $u_i(t)$ – скалярные функции; μ_i – базисные функции соответствующей статической задачи.

Подставив в (1) U_h вида (2) вместо U и μ_j ($j=1, \dots, N$) вместо V , получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C \frac{dx(t)}{dt} + Kx(t) = P(t), \quad (3)$$

где $x(t)$, x^0 , x^1 – векторы с элементами $X_i(t) = u_i(t)$, $x_i^0 = L_i U^u$, $x_i^1 = L_i U^l$, M и C – матрицы масс и демпфирования с элементами $m_{i,j} = b(\mu_i, \mu_j)$, $c_{i,j} = c(\mu_i, \mu_j)$.

Матрица жесткости K и вектор нагрузок $P(t)$ определяются, как и для статической задачи. Этот метод известен как полудискретная аппроксимация. Его погрешность (разность между U и U_h) по потенциальной и кинетической энергии оценивается как в совместном, так и в несовместном случаях, величиной, пропорциональной h^r .

Систему (3) решаем методом разложения по формам собственных колебаний.

Пусть λ_i , $\varphi_i < M$, $\varphi_i > = I$, решение задачи на собственные значения

$$K\varphi = \lambda M\varphi. \quad (4)$$

Векторы инерционных сил $S_i(t)$ вычисляются по формуле

$$S_i(t) = \omega_i^2 y_i(t) M\varphi_i. \quad (5)$$

В расчетах используются величины

$$S_{i,0} = \max_t \left\{ \omega_i^2 y_i(t) \right\}. \quad (6)$$

- Для ветровой нагрузки $S_{i,0} = w_n \gamma_i$,

где w_n – нормативное значение ветровой нагрузки, γ_i – коэффициент динамичности, зависящий от ω_i , ξ_i и скорости ветра.

- Для сейсмической нагрузки $S_{i,0} = A\beta_i$,

где A – относительная величина ускорения, β_i – коэффициент динамичности, зависящий от ω_i и ξ_i .

- Для импульсивной и ударной нагрузок $\left(t_0 \leq 2,5 \frac{2\pi}{\omega_i} \right)$

$$S_{i,0} = \varepsilon_i \overline{P_i} \psi, \quad (7)$$

где ε_i зависит от t_0 , $\omega_i t_0$ – время действия импульса; ψ – учитывает периодичность действия нагрузки;

$$\overline{P_i} = \begin{cases} \int_0^t P_i(\tau) d\tau - \text{для импульса} \\ M_0 v_0 (1 + \nu) - \text{для удара} \end{cases}, \quad (8)$$

где M_0 , v_0 – масса и скорость ударяющего тела; ν – коэффициент восстановления формы соударяющихся тел.

Коэффициент ψ зависит от того, являются ли колебания установившимися $\left(n > \frac{\pi}{4\xi_1} \right)$ или неустойчивыми $\left(n < \frac{\pi}{4\xi_1} \right)$, где n – число повторений импульсов.

- Для гармонической нагрузки $P_{i,1} \cos \theta t + P_{i,2} \sin \theta t$ вычисляются суммарные по всем формам инерционные силы S_1 и S_2 , соответствующие косинусоидальной (действительной) и синусоидальной (мнимой) составляющим:

$$S_1 = \sum_i a_i M \varphi_i, S_2 = \sum_i b_i M \varphi_i,$$

где
$$a_i = \frac{P_{i,1} \chi_i - P_{i,2} \xi_i \alpha_i}{\chi_i^2 + \alpha_i^2}, b_i = \frac{P_{i,2} \chi_i + P_{i,1} \xi_i \alpha_i}{\chi_i^2 + \alpha_i^2}, \quad (9)$$

$$\alpha_i = \frac{\theta}{\omega_i}, \chi_i = 1 - \alpha_i^2. \quad (10)$$

Тогда
$$\max_i \left| \sum_i S_i(t) \right| = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}. \quad (11)$$

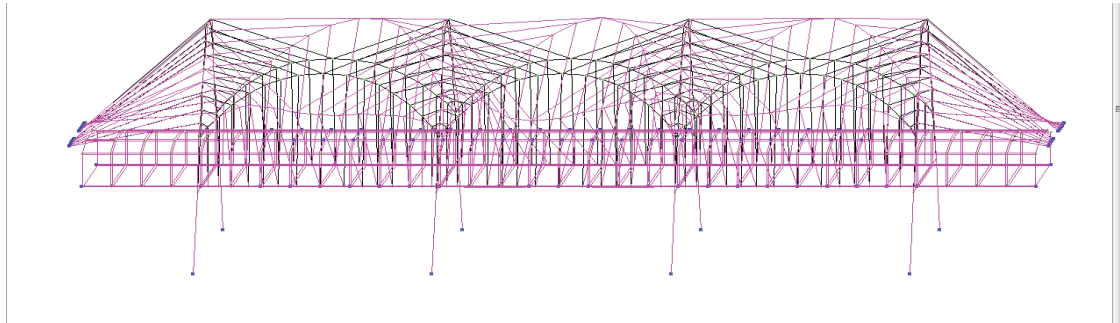
В перечисленных выше вариантах воздействий возможно точное вычисление $y_i(t)$. В остальных случаях решения $y_i(t)$ находим численно. В частности, при расчете на сейсмическую нагрузку по акселерограмме в каждый момент времени t_k задается вектор $P_k = P(t_k)$.

Далее уравнения решаются методом конечных разностей по схеме Ньюмарка. Получаем значения перемещений $y_{i,k} = y_i(t_k)$ и инерционных сил $S_{i,k} = S_i(t_k)$, по которым вычисляется

$$S_{i,0} = \max_k \left\{ \omega_i^2 y_i(t_k) \right\}. \quad (12)$$

При расчетах на сейсмические воздействия применили метод спектра ответов. Расчет заключается в том, чтобы при заданной функции $S_0(\omega)$, обычно кусочно-линейной, вычислить линейной интерполяцией значения $S_0(\omega_i)$. Функция $S_0(\omega)$ может быть представлена графиками спектров ускорений, скоростей или перемещений.

а)



б)

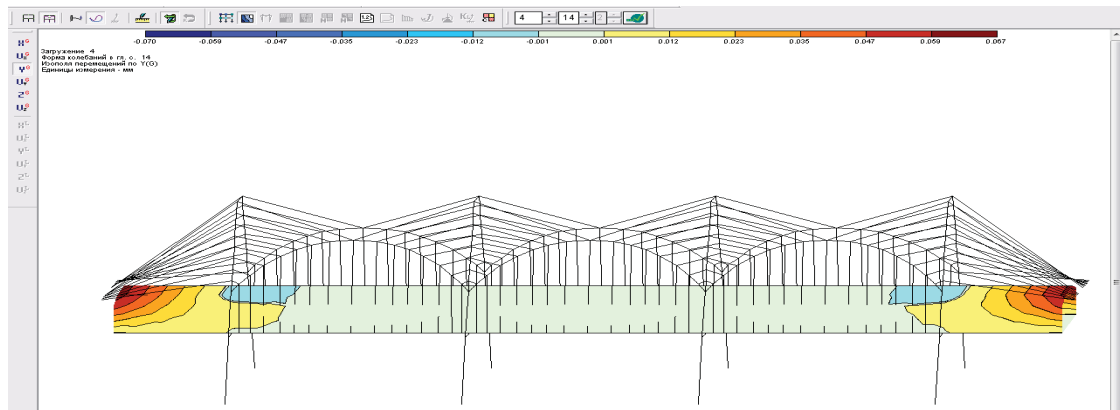


Рисунок 2 – Схема деформаций (а) и изополя (б) перемещений вантового виадука при сейсмическом воздействии

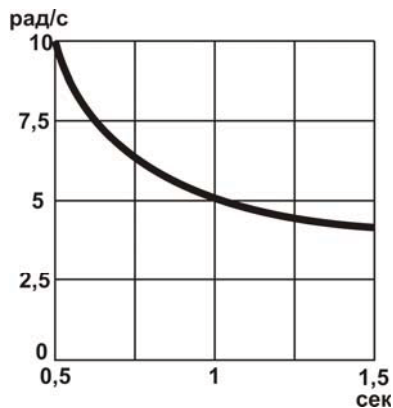
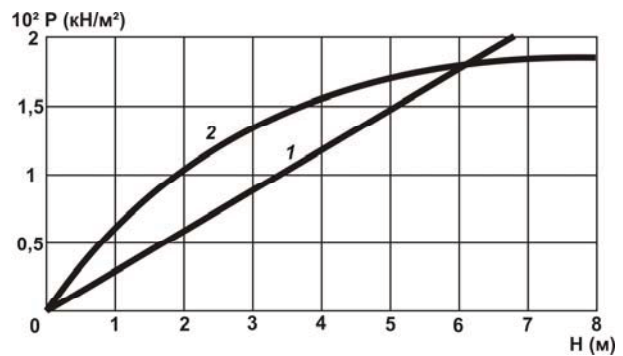


Рисунок 3 – График частотных характеристик собственных колебаний вантового виадука от сейсмических сил



1 – при действии подвижной нагрузки;
2 – при сейсмическом воздействии.

Рисунок 4 – График изменений активного давления грунта на виадук

Вывод. Предложенная конструкция вантового виадука позволит перекрывать пролеты до 500 м, из спектрографического анализа изополей перемещений при сейсмическом воздействии видно, что в основном пролете не развиваются опасные напряжения, конструктивные элементы виадука расположены в зоне «холодных» зон деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иманалиев Т.Б. Сейсмостойкость искусственных сооружений. – Бишкек: Илим, 2010. – 211 с.
2. Городецкий А.С. "Лира" - программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: основные теоретические и расчетные положения. – Киев: НИИАСС, 2002. – 147 с.

УДК 624.19

Иманалиев Темир Болотбекович – к.т.н., доцент (Бишкек, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры)

НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПОДВОДНЫХ ТОННЕЛЕЙ С ОПТИМАЛЬНЫМ ЗАГЛУБЛЕНИЕМ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Конструктивные решения тоннелей подробно описаны в трудах [1, 2, 3, 4], особенности их в том, что тоннели имеют заглубление ниже уровня судоходства, но выше уровня дна водоема, и опираются на мостовые опоры – быки. Другие конструкции подводных тоннелей основаны на традиционной проходке по породе ниже уровня дна водоема. Такие тоннели реализованы в общеизвестных проектах, таких как «Евротоннель» или тоннель «Сейкан». Традиционные технологические решения сопряжены с трудностями проходки по грунтовой толще и развитием гидростатического давления в породе, так как слой породы поверх тоннельных обделок подвержен фильтрации. Другая сложность заключается в том, что для прокладки тоннеля ниже уровня дна водоема необходимо соответствующее заглубление, а это неизбежно вызывает увеличение глубины залегания тоннельной обделки, что сопряжено с повышением статического давления.

Существуют также технологии опускных секций тоннеля, когда готовые секции опускают на дно, и трасса тоннеля проходит по дну. В этом случае, решается вопрос с трудоемкой проходкой по породе, но тоннель проходит также на низкой глубине, что чревато гидростатическим давлением всей толщи воды. Предлагаемое техническое решение подводного тоннеля решает задачу оптимального заглубления тела тоннеля в водной среде. Задачей нового технического решения является беспрепятственный проход водных преград в виде рек, озер, морских проливов и заливов автомобильными и железными дорогами по тоннелю ниже уровня судоходства без заложения тела тоннеля на дно водоема.

Поставленная задача решается тем, что согласно техническому решению тоннельная обделка, выполненная из легированной стали, жестко закреплена на двух рамповых порталах с двух концов, тело тоннельной обделки сборное и состоит из герметичных секций круглого сечения, которые закреплены между собой шарнирно. Тоннельная обделка погружена в воду ниже уровня судоходства и водоизмещения речных или морских судов и находится в плавучем состоянии. Общеизвестно, что тело в гидравлической среде стремится к всплытию. В этой связи и для противодействия турбулентным, ламинарным явлениям водной среды тоннельная обделка закреплена на двух металлических оттяжках из углеродистой стали с боковых сторон обделки, которые