



М. Ч. АПСЕМЕТОВ

кандидат технических наук, профессор кафедры «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели»

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта
и архитектуры им. Н. Исанова (КГУСТА)

УДК 624.072.2 / 550.34.01

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ О СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ СООРУЖЕНИЙ

В работе рассматривается определение собственных частот пролетных строений мостов с сейсмоизоляцией. Предлагаются формулы и графики частотного уравнения балок и сравниваются с результатами других исследователей при частных случаях.

Ключевые слова: сейсмостойкость, сооружения, мост, пролетное строение, опора, фундамент, колебания, период, частота, сейсмоизолирующий скользящий пояс, коэффициенты затухания.

В настоящее время в сейсмостойком строительстве актуальным является активный метод сейсмозащиты сооружений, предусматривающий снижение сейсмических нагрузок на сооружение за счет регулирования их динамических параметров во время действия землетрясения.

К динамическим параметрам или характеристикам зданий и сооружений относятся: собственные периоды (частоты) и формы собственного свободного колебания системы, коэффициенты затухания. [1, 2, 3, 4, 5].

В работе рассматривается колебание сооружения (мост и др.) жесткого типа с сейсмоизолирующим скользящим поясом в уровне фундамента и подферменной плиты опор. К жестким сооружениям относятся такие сооружения, собственный период свободного колебания которых меньше 0,5 с.

Мероприятия, обеспечивающие сейсмостойкость инженерных сооружений, в частности, мостов, путем введения сейсмоизолирующего скользящего пояса в уровне фундамента опоры, впервые в странах СНГ осуществлены в Кыргызской Республике.

По предложению и рекомендации Фрунзенского политехнического института проектным институтом «Кыргыздортранспроект» разработана специальная конструкция неподвижной опорной части, которая в момент землетрясения становится подвижной. Задача снижения сейсмического воздействия решена применением обычных неподвижных опорных частей за счет устройства специальной подферменной плиты в опоре (В.П. Чуднецов).

В нашей республике и за рубежом предложены многие конструкции сейсмостойких опор и опорных частей для балочных мостов и их расчеты. Предлагаемые конструкции направлены на снижение воздействия сейсмической нагрузки на опоры и пролетные строения путем изоляции сооружения от сейсмического воздействия. В.П. Чуднецовым и З.Г. Хучбаровым предложен сейсмоизолирующий скользящий пояс промежуточной опоры путепровода, эстакады. Тело опоры в нижней части разрезано от фундамента горизонтальной плоскостью. Между разрезными частями опоры и фундаментом на металлические закладные части уложены антифрикционные полимерные пластины. На боковых гранях опоры укреплены в шахматном порядке крючки, которые последовательно

оггибают высокопрочный трос, закрепленный по концам сжимами. Теми же учеными предложены сейсмоизолирующие устройства, которые после землетрясения над опорной частью сооружения принимают первоначальное положение за счет восстанавливающей гравитационной силы. Существуют конструкции опоры и опорной части, которые в обычных условиях являются неподвижными, а при землетрясениях становятся подвижными – выключается связь пролетного строения и, тем самым, изолируется сейсмическое воздействие на опору и пролетное строение. Недостатком этих конструкций является то, что при больших тормозных силах связь пролетного строения с опорой может выключаться и тем самым нарушается геометрическая неизменяемость системы. Это приводит к ухудшению нормальной эксплуатации моста и даже к тяжелым последствиям.

Нами предложена конструкция опоры балочного моста, которая при любых тормозных силах будет неподвижной, а при землетрясениях становится подвижной [6].

Обычно для расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия используются дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами. Многие сооружения, например, мосты, тоннели, гидротехнические сооружения и другие имеют сплошные конструкции в виде балок, опор и стенок. При расчете таких сооружений на сейсмические воздействия используется дифференциальное уравнение четвертого порядка в частных производных [2, 3, 4, 5].

В работе рассматриваются определения частот собственных колебаний балок и опор мостов с сейсмоизолирующими конструкциями. К сейсмоизолирующим конструкциям относятся опорные части и специальные конструкции опор с сейсмоизолирующими элементами. Это могут быть резиновые, скользящие опорные части и скользящие пояса в уровне фундамента опор мостов.

Для определения собственных частот балок и опор используются свободные колебания системы с равномерно распределенной массой [2, 3, 4, 5]. Для определения собственных частот балок и опор использовались граничные условия этих конструкций применительно к сейсмоизолирующим элементам. Предлагаются частотные уравнения балок, опор на упругих и скользящих опорах. Представлены графики результатов расчета.

Полученные формулы рассматриваются как общий случай и сравниваются с частными случаями других исследователей.

Частоты собственных колебаний сооружения с сейсмоизолирующими скользящими поясами делятся на 2 случая: 1) частоты собственных колебаний сооружения до скольжения сейсмоизолирующего пояса; 2) частоты собственных колебаний сооружения во время скольжения сейсмоизолирующего пояса.

Причем, во втором случае, частоты собственного колебания будут переменными в зависимости от динамического коэффициента трения скользящего пояса во время колебания системы. В настоящее время при расчетах сооружений с сейсмоизолирующими скользящими поясами на сейсмические воздействия используется первый случай, а второй случай не используется, т.е., для расчета берутся частоты собственных колебаний системы до скольжения сейсмоизолирующего пояса.

Для определения движения колеблющейся системы под действием произвольной динамической нагрузки необходимо, как известно, решать поэтапно следующие задачи: **определить частоты** (периоды) свободных (собственных) колебаний; **определить формы** (фундаментальные функции) свободных колебаний; разложить заданную внешнюю нагрузку по формам свободных колебаний, т.е. определить нормальные составляющие внешних сил; решить соответствующие неоднородные дифференциальные уравнения; и наконец, получить движение системы как сумму нормальных ее составляющих [1, 2, 3, 4, 5].

После решения перечисленных задач легко определить внутренние усилия и напряжение в элементах колеблющейся системы. Из перечисленных задач особую важность имеют **первые две**, без решения которых невозможны дальнейшие действия по определению движения системы. Именно решение первых двух задач представляет наибольшую сложность. И.М. Рабинович [1] подчеркивает, что: «Определение частот собственных колебаний является основным вопросом динамики сооружений, важное значение имеет также вопрос о форме этих колебаний».

В работе рассматриваются поперечные свободные колебания пролетного строения балочного моста на упругих и скользящих опорах.

Пролетное строение моста рассматривается как балка на двух опорах. Предполагается, что каждый пролет разрезного моста работает независимо друг от друга.

1) Рассмотрим балку на упругих опорах (рис.1). Свободные колебания балки с равномерно распределенной массой без затухания описываются дифференциальным уравнением четвертого порядка в частных производных [2, 3, 4, 5].

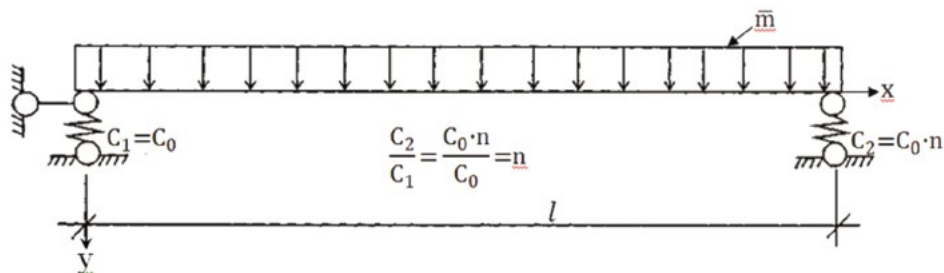


Рисунок 1 — Расчетная схема балки на упругих опорах (план балки)

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\bar{m} \partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где EI – жесткость балки, \bar{m} – масса единицы длины балки.

Решение (1) можно представить в форме Фурье $y(x, t) = y(x) \cdot \Phi(t)$, что приводит к двум обыкновенным дифференциальным уравнениям

$$\frac{d^4 y(x)}{dx^4} - \frac{\bar{m} \omega_i^2}{EI} \cdot y(x) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{d^2 \Phi(t)}{dt^2} + \omega^2 \Phi(t) = 0.$$

Решение первого уравнения (2) будет

$$y_i(x) = A \operatorname{sh} \lambda_i x + B \operatorname{ch} \lambda_i x + C \cos \lambda_i x + D \sin \lambda_i x, \quad (3)$$

где A, B, C, D – произвольные постоянные, определяемые условиями на опорах балки, граничными условиями;

$\lambda_i = \sqrt[4]{\frac{\bar{m} \omega_i^2}{EI}}$ – характеристическое число, ω_i – круговая частота собственных колебаний балки для i-й формы колебания.

Решение второго уравнения (2) будет [3, 4, 5, 7].

$$\Phi(t) = E \cdot \sin(\omega t + \psi_0) \quad (3')$$

где E – определяется из начальных условий; ψ_0 – начальная фаза колебания.

Для рис.1 граничные условия будут при:

$$\begin{aligned} x=0, \quad M_0=0, \quad Q_0=y_0 \cdot C_1, \\ x=1, \quad M_1=0, \quad Q_1=-y_1 \cdot C_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где y_0 – перемещение в начале координат, y_1 – перемещение балки при $x=1$, M_0 и M_1 – момент при $x=0$ и $x=1$ соответственно, Q_0 и Q_1 – поперечные силы при $x=0$ и $x=1$ соответственно, C_1 и C_2 – жесткости упругих опорных частей.

Найдем A, B, C, D через начальные граничные условия y_0, φ_0, M_0, Q_0 .

Для этого продифференцируем выражение (3) до третьего порядка и получим [4,5,7,8]

$$\left. \begin{aligned} y_x &= y_0 S_x + \frac{y'_0}{\lambda} T_x + \frac{y''_0}{\lambda^2} U_x + \frac{y'''_0}{\lambda^3} V_x, \\ y'_x &= y_0 \lambda V_x + y'_0 S_x + \frac{y''_0}{\lambda} T_x + \frac{y'''_0}{\lambda^2} U_x, \\ y''_x &= y_0 \lambda^2 U_x + y'_0 \lambda V_x + y''_0 S_x + \frac{y'''_0}{\lambda} T_x, \\ y'''_x &= y_0 \lambda^3 T_x + y'_0 \lambda^2 U_x + y''_0 \lambda V_x + y'''_0 S_x. \end{aligned} \right\} (5)$$

В выражениях (5) S_x, T_x, U_x, V_x представляют собой функции Крылова [8]

$$S_x = \frac{\operatorname{ch} \lambda x + \cos \lambda x}{2}, \quad T_x = \frac{\operatorname{Sh} \lambda x + \sin \lambda x}{2},$$

$$U_x = \frac{\operatorname{ch} \lambda x - \cos \lambda x}{2}, \quad V_x = \frac{\operatorname{Sh} \lambda x - \sin \lambda x}{2}.$$

Известно, что $y''_x = -\frac{M_x}{EI}; y'''_x = -\frac{Q_x}{EI}$. Подставляя эти зависимости в выражение (5), имеем

$$\left. \begin{aligned} y_x &= y_0 S_x + \frac{\varphi_0}{\lambda} T_x - \frac{M_0}{\lambda^2 EI} U_x - \frac{Q_0}{\lambda^3 EI} V_x, \\ \varphi_x &= y_0 \lambda V_x + \varphi_0 S_x - \frac{M_0}{\lambda EI} - \frac{Q_0}{\lambda^2 EI} U_x, \\ M_x &= -y_0 \lambda^2 EI U_x - \varphi_0 \lambda EI V_x + M_0 S_x + \frac{Q_0}{\lambda} T_x, \\ Q_x &= -y_0 \lambda^3 EI T_x - \varphi_0 \lambda^2 EI U_x + M_0 \lambda V_x + Q_0 S_x. \end{aligned} \right\} (6)$$

Выражение (6) определяет прогиб, угол поворота, момент и поперечную силу, соответственно, при свободном колебании балки. Используя это выражение, определяем частоты собственного колебания балки на упругих опорах.

Рассмотрим балку на упругих опорах с граничными условиями (4). Подставляя их в выражение (6), при $\alpha = \lambda \cdot l$ будем иметь

$$\begin{aligned} -y_0 \lambda^2 EI U_\alpha - \varphi_0 \lambda EI V_\alpha + \frac{y_0 \cdot C_1}{\lambda} T_\alpha &= 0, \\ -y_0 \lambda^3 EI T_\alpha - \varphi_0 \lambda^2 EI U_\alpha + y_0 C_1 S_\alpha &= -y_1 \cdot C_2. \end{aligned}$$

Отсюда из первого уравнения

$$\varphi_0 = \frac{y_0 C T_\alpha}{\lambda^2 EI V_\alpha} - \frac{y_0 \lambda U_\alpha}{V_\alpha};$$

а из второго уравнения

$\varphi_0 = \frac{y_0 C_1 S_\alpha}{EI \lambda^2 U_\alpha} - \frac{y_0 \lambda T_\alpha}{U_\alpha} + \frac{y_1 C_2}{EI \lambda^2 U_\alpha}$. Приравняв два последних выражения, подставляя значения y_1 из первого уравнения (6) и значения функции Крылова $S_\alpha, T_\alpha, U_\alpha, V_\alpha$ при $\alpha = \lambda \cdot l$, получим частотное уравнение балки на упругих опорах.

$$\frac{2 \operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{Sh} \alpha}{\alpha^6} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot l^6}{(EI)^2} + \left(\frac{C_1 l^3}{EI \alpha^3} + \frac{C_2 l^3}{EI \alpha^3} \right) x \quad (7)$$

$$x(\operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{Ch} \alpha - \operatorname{Cos} \alpha \cdot \operatorname{Sh} \alpha) + (1 - \operatorname{Cos} \alpha \cdot \operatorname{Ch} \alpha) = 0.$$

Уравнение (7) определяет частоты собственных колебаний балки на упругих опорах с жесткостями C_1 и C_2 .

Если примем $C_1 = C_0, C_2 = C_0 \cdot n$, то частотное уравнение будет

$$\frac{2n \operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{Sh} \alpha \left(\frac{C_0 l^3}{EI} \right)^2}{\alpha^6} + \frac{(n+1)(\operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{ch} \alpha - \operatorname{Sh} \alpha \cdot \operatorname{cos} \alpha) C_0 l^3}{\alpha^3 EI} + (1 - \operatorname{ch} \alpha \cdot \operatorname{cos} \alpha) = 0. \quad (8)$$

Обозначим $\frac{C_0 l^3}{EI} = K, A(\alpha) = \frac{2n \cdot \operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{Sh} \alpha}{\alpha^6},$
 $B(\alpha) = \frac{(n+1)(\operatorname{Sin} \alpha \cdot \operatorname{ch} \alpha - \operatorname{Sh} \alpha \cdot \operatorname{cos} \alpha)}{\alpha^3}, C(\alpha) = 1 - \operatorname{cos} \alpha \cdot \operatorname{ch} \alpha.$

Тогда уравнение (8) примет вид

$$A(\alpha)K^2 + B(\alpha)K + C(\alpha) = 0. \quad (9)$$

Полученное частотное уравнение (9) является общим случаем колебания балки. Из этого уравнения можно получить частотные уравнения балок с различными закреп-

Таблица 1

№ п/п	Род закрепления конца балки		Характеристическое уравнение	Корни характеристических уравнений		
	x = 0	x = 1		α_1	α_2	$\alpha(i>2)$
1	Свободен	Свободен	$1 - \cos\alpha \cdot \operatorname{ch}\alpha = 0$	4,7300	7,8532	$(2i+1)\pi/2$
2	Подперт	Подперт	$\sin\alpha = 0$	π	2π	$i\pi$
3	Заделан	Заделан	$\operatorname{ch}\alpha \cdot \cos\alpha = 1$	4,7300	7,8532	$(2i+1)\pi/2$
4	Упругий	Упругий	$\frac{2n \sin\alpha \cdot \operatorname{sh}\alpha \left(\frac{C_0 l^3}{EI}\right)^2 + (n+1)(\sin\alpha \cdot \operatorname{ch}\alpha - \operatorname{sh}\alpha \cdot \cos\alpha)}{\alpha^6} \times$ $\times \frac{C_0 l^3}{EI} + (1 - \operatorname{ch}\alpha \cdot \cos\alpha) = 0$			

плениями на концах. В Таблице 1 представлены частотные уравнения балки.

Для проверки правильности уравнение (9) сравниваем с частными случаями при $C_0 \rightarrow 0$, балка на рис. 1 висит.

При $C_0 = 0$ уравнение (9) примет вид $C(\alpha) = 0$, откуда

$$1 - \cos\alpha \cdot \operatorname{ch}\alpha = 0, \quad (10)$$

что совпадает с частотными уравнениями балки, у которой оба конца свободны /3, 4, 5/ (см. Табл. 1, поз. 1).

При $C_0 \rightarrow \infty$, $K \rightarrow \infty$ для раскрытия неопределенности ($\infty = 0$) уравнение (9) представим в виде

$$K_{1,2} = \frac{-B(\alpha) \pm \sqrt{B^2(\alpha) - 4A(\alpha) \cdot C(\alpha)}}{2A(\alpha)}, \quad K > 0. \quad (11)$$

Из этого видно, что $K_{1,2} \rightarrow \infty$ только тогда, когда $2A(\alpha) = 0$. Отсюда следует, что

$$\sin\alpha = 0, \quad \alpha = \pi \cdot i \quad (i = 1, 2, 3 \dots) \quad (12)$$

что совпадает с частотными уравнениями балки на жестких шарнирных опорах [3, 4, 5] (см. табл. 1, поз. 2).

Из характеристического числа определяются круговые частоты собственных колебаний балки:

$$\lambda_i = 4 \sqrt{\frac{m \omega_i^2}{EI}}, \quad \omega_i = \frac{\alpha_i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (\text{рад./с}). \quad (13)$$

Для шарнирно опертой балки круговая частота собственных колебаний будет $\omega_i = \frac{\pi^2 i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$, а частота колебаний примет вид

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (1/c). \quad (14)$$

На рис. 2 представлен график частотного уравнения (8) при $n = 1$, в этом случае жесткости опорных частей будет одинаковы, тогда уравнение (8) примет вид

$$\frac{2(\sin\alpha \cdot \operatorname{sh}\alpha)}{\alpha^6} \left(\frac{C_0 l^3}{EI}\right)^2 + \frac{2(\sin\alpha \cdot \operatorname{ch}\alpha - \cos\alpha)}{\alpha^3} \left(\frac{C_0 l^3}{EI}\right) + (1 - \operatorname{ch}\alpha \cdot \cos\alpha) = 0. \quad (15)$$

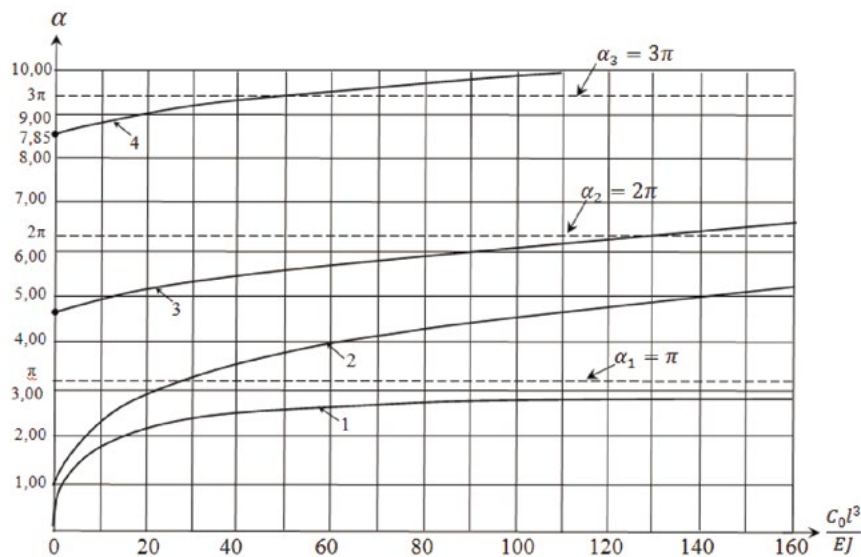


Рисунок 2 — График частотного уравнения балки на упругих опорах.

1 – график для первой формы колебания; 2 – график для второй формы колебания; 3 – график для третьей формы колебания; 4 – график для четвертой формы колебания

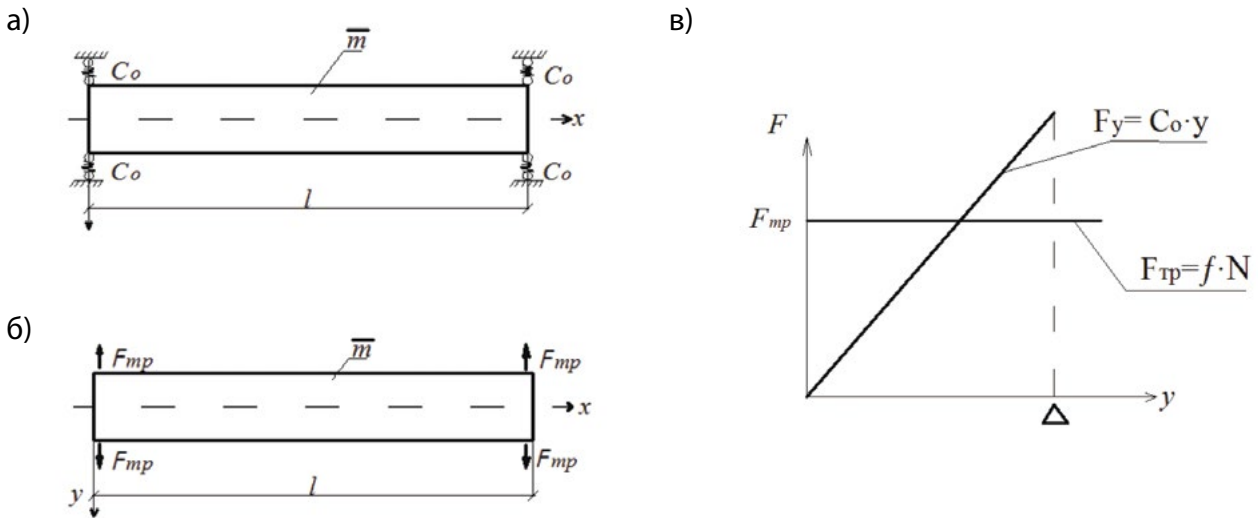


Рисунок 3 — Расчетная схема балки на скользящих опорах (вид сверху).

а) балки на упругих опорах; б) балки на скользящих опорах; в) график зависимостей сил упругости и трения от перемещения

При $n = \infty$, когда $C_2 = \infty$, нетрудно получить из (8) и (11) частотное уравнение балки, у которой одна опорная часть упругая, а другая жесткая:

$$K_{1,2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-B(\alpha) \pm \sqrt{B(\alpha)^2 - 4A(\alpha) \cdot C(\alpha)}}{2A(\alpha)}$$

Подставляя значения $A(\alpha)$, $B(\alpha)$ и $C(\alpha)$ и вычисляя предел этой функции, получим частотное уравнение балки с одной упругой опорной частью:

$$\frac{C_0 l^3}{EI} = \frac{\alpha^3 (Sh\alpha \cdot \cos \alpha - ch\alpha \cdot Sin\alpha)}{2Sin\alpha \cdot Sh\alpha} \quad (16)$$

В работе [8] рассмотрено численное решение уравнения (16). Это уравнение можно решать и графическим методом [6].

Из рис. 2 нетрудно заметить, что прямые $\alpha = \pi \cdot i$ являются асимптотами графиков частотных уравнений балки на упругих опорных частях.

Итак, уравнения (7) и (8) описывают частотные уравнения балки с различными жесткостями C_1 и C_2 опорных частей. Уравнение (15) описывает частотное уравнение балки на упругих опорных частях с одинаковыми жесткостями $C_1 = C_2 = C_0$, а уравнение (16) описывает частотное уравнение балки, у которой одна опорная часть жесткая, а другая – упругая.

Рассмотрим применение графиков на рис. 2. Задавая значение C_0 , находим графики α_i для каждой формы колебания, потом по формуле (13) определяем круговые частоты собственных колебаний балки ω_i для соответствующих α_i , где i – номер собственных форм колебаний. Полученные формулы можно использовать при подборе динамических параметров системы для расчета сооружений на динамические нагрузки.

2) Рассмотрим поперечное колебание пролетного строения моста с сейсмоизолирующим скользящим поясом [6].

Колебание пролетного строения описывается дифференциальным уравнением (1).

Граничные условия будут следующими:

при $x = 0$, $Q_0 = F_{тр}$, $M_0 = 0$

при $x = L$ $Q_L = -F_{тр}$, $M_L = 0$,

Здесь при принятии граничных условий, предполагаем, что значением угловых трений пренебрегаем.

Для аналитического определения частоты собственных колебаний балки используем равенство работ силы трения $F_{тр} = N_f$ и силы упругости $F_y = C_0 y$.

При рассмотрении балки на скользящих опорах ось y на рис. 3 направлена по горизонтальной плоскости.

Работа силы упругости при заданной величине перемещения Δ будет $A_y = \frac{C_0 \cdot y^2}{2} = \frac{C_0 \cdot \Delta^2}{2}$, а работа силы трения

$A_{тр} = F_{тр} y = F_{тр} \Delta = f N \Delta$, где C_0 – приведенная жесткость упругой опорной части; f – коэффициент трения

скользящей опорной части; $N = \frac{\bar{m} \cdot l \cdot g}{2}$ нормальная опорная реакция на опорах; g – ускорение силы тяжести; Δ – заданное поперечное перемещение в скользящих опорах (зазор между специальной плитой и стенками ниши подферменной плиты) (6).

Приравнявая приведенные выше выражения для указанных работ, получим $\frac{C_0 \cdot \Delta^2}{2} = f \frac{\bar{m} \cdot l \cdot g}{2} \Delta$, $\Delta \neq 0$ тогда

$$C_0 = \frac{f \bar{m} \cdot l \cdot g}{\Delta} \quad (17)$$

Формулу (17) можно использовать при определении частоты собственного колебания балки на скользящих опорах, при этом используются формулы [8, 9, 11]. Здесь вместо C_0 подставляем значение C_0 из формулы (17) при $n = 1$ (см. Табл. 1 поз. 4).

Литература

1. Рабинович И.М., Сеницын А.П., Лужин О.В., Теренин Б.М. Расчет сооружений на импуль-

сивные воздействия. М.: Наука, 1970. 269 с.
2. Болотин В.В. Задача о колебаниях мостов под действием подвижной нагрузки. Изв. АН

СССР, ОТН, Механика и машиностроение. 1961. № 4. С.4-9.
3. Киселев В.А. Строительная механика:

Спец. курс. Динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 616 с.

4. Тимошенко С.П. и др. Колебание в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 205 с.

5. Справочник по динамике сооружений/ Под ред. Б.Г.Коренева и И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1972. 512 с.

6. Чуднецов В.П., Апсеметов М.Ч. Опора балочного моста. А.с. СССР №1609850 от 30.11.90, бюлл.№44.

7. Апсеметов М.Ч., Мурзакматов М. Снижение

динамического воздействия подвижной нагрузки на автодорожные мосты малых пролетов//Сейсмостойкие конструкции зданий и сооружений в Киргизии. Фрунзе, 1990. С. 77-80.

8. Крылов А.Н. Вибрация судов. М.-Л.: Издательство АН СССР. 1948. Т.10. С.108-119.

9. Апсеметов М.Ч., Муктаров Т.К., Исакова А.Дж. Применение дифференциальных уравнений при решении задач динамики сооружений. Вестник КГУСТА №4 (50). Бишкек. 2015. С. 22 – 30.

10. Апсеметов М.Ч. Решение дифференциального уравнения вынужденного поперечного колебания балки на упругих опорах. Вестник КРСУ. Том 16. № 9. Бишкек. 2016. С. 81 – 84.

Материалы хранятся по адресу:
Республика Кыргызстан,
г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б,
Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта
и архитектуры им. Н.Исанова (КГУСТА),
кафедра «Железные дороги»,
тел. +(996312)54-56-67

APSEMETOV M., PhD, professor of department «Highways, Railways, Bridges and Tunnels», Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture n.a. N. Isanov (KSUCTA)

SOME QUESTIONS ABOUT OWN VIBRATIONS OF STRUCTURES IN SEISMIC INSULATION OF CONSTRUCTIONS

Abstract

The paper deals with the determination of the natural frequencies of the span structures of bridges with seismic isolation. Formulas and graphs of the frequency equation of beams are proposed and

compared by the results of other researchers for special cases.

Keywords: seismic stability, constructions, bridge, span constructions, support, foundation, oscillations, period, frequency, seismic isolating sliding belt, attenuation coefficients.

References

1. Rabinovich I.M., Sinitsyn A.P., Luzhin O.V., Terenin B.M. Raschet sooruzhenii na impul'sivnyye vozdeistviia.M.: Nauka, 1970. 269 s.

2. Bolotin V.V. Zadacha o kolebaniiah mostov pod deistviem podviznoi nagruzki. Izv. AN SSSR, OTN, Mekhanika i mashinostroenie.1961.№ 4.S.4-9.

3. Kiselev V.A. Stroitel'naia mekhanika: Spets. kurs. Dinamika ustoychivost' sooruzhenii. M.: Stroizdat, 1980.616 s.

4. Timoshenko S.P. i dr. Kolebanie v inzhener-

nom dele. M.: Mashinostroenie, 1985. 205 s.

5. Spravochnik po dinamike sooruzhenii/Pod red. B.G. Koreneva i I.M.Rabinovicha.M.: Stroizdat, 1972.512 s.

6. Chudnetsov V.P., Apsemetov M.Ch. Opора balochnogo mosta.A.s. SSSR № 1609850 ot 30.11.90, bull. № 44.

7. Apsemetov M.Ch., Murzakmatov M. Snizhenie dinamicheskogo vozdeistviia podvizhnoi nagruzki na avtodorozhnye mosty malyh proletov//Seismostoiokie konstruksii zdaniy i sooruzhenii v Kirgizii. Frunze, 1990.S. 77-80.

8. Krylov A.N. Vibratsiia sudov. M.-L.: Izdatel'stvo AN SSSR. 1948. T.10. S.108-119.

9. Apsemetov M.Ch., Muktarov T.K., Iskakova A. Dzh. Primenenie differentsial'nyh uravnenii pri reshenii zadach dinamiki sooruzhenii. Vestnik KGUSTA № 4 (50). Bishkek. 2015.S. 22-30.

10. Apsemetov M.Ch. Reshenie differentsial'nogo uravneniia vynuzhdenного poperechnogo kolebaniia balki na uprugih oporah. Vestnik KRSU. Tom 16. № 9. Bishkek. 2016. S. 81-84.

Для цитирования: Апсеметов М. Ч. Некоторые вопросы о собственных колебаниях конструкций при сейсмоизоляции сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 6. С. 44-49.

For citation: Apsemetov M. Some questions about own vibrations of structures in seismic insulation of constructions // Earthquake engineering. Constructions safety. 2017. № 6. P. 44-49.

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ SCIENCE ONLINE 2018

Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX
Science Online XXI

электронные информационные ресурсы для науки и образования

27 января - 3 февраля 2018 г., Австрия
Cesta Grand - Aktivhotel & Spa 4* Superior

elibrary.ru/projects/conference/austria2018/place.asp