

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 20:02:2006 КР. Сейсмостойкое строительство. Бишкек, 2004.
2. Абдужабаров А.Х., Рашидов Т. Сейсмостойкость полотна дороги //Известия АН.УзССР. Техн.науки. 1968, № 6, с. 70-71.
3. Абдужабаров А.Х. Рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных и железных дорог в сейсмических районах. Бишкек, БПИ, 1991, с. 3-18.
4. Абдужабаров А.Х. Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог. Бишкек, 1996, 226 с.
5. Эрних Н.Б. Область применения армированного грунта //Транспортное строительство, 1981, № 1, с. 54-55.
6. Переселенков Г.С., Песов А.И., Целиков Ф.И., Абдужабаров А.Х.. Материалы и инженерные решения сейсмологических армогрунтовых конструкций земляного полотна //Транспортное строительство, 1990, № 4, с. 6-8.

**УДК 624.27:550.348**

**Айдаралиев Алтынбек Евгеньевич – аспирант (Бишкек, КГУСТА)**

**РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ  
С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ НЕПОЛНОЙ  
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Долгое время величины, характеризующие сейсмическое воздействие, в частности, горизонтальное ускорение грунта, представлялись в виде некоторых вполне заданных функций времени. При этом было предложено ряд аналитических выражений для таких функций, но они не имели ничего общего с реальными акселераграммами землетрясений, носящими хаотический характер. Сейсмическое воздействие носит случайный характер, и в основу теории сейсмостойкости должны быть положены методы теории вероятности и математической статистики. Имеется ряд исследований по составлению математических моделей сейсмических воздействий учеными, например, Айзенбергом, Жаровым, Рассказовским и др. В настоящее время в литературе представлены данные о методе «средних спектров», основанном на результатах обработки ряды сильных землетрясений, происходивших в данном регионе. Применение этого метода возможно только при полной сейсмологической информации. При неполной сейсмологической информации для инженерных расчетов удобна и проста модель, предложенная Я.М.Айзенбергом [1].

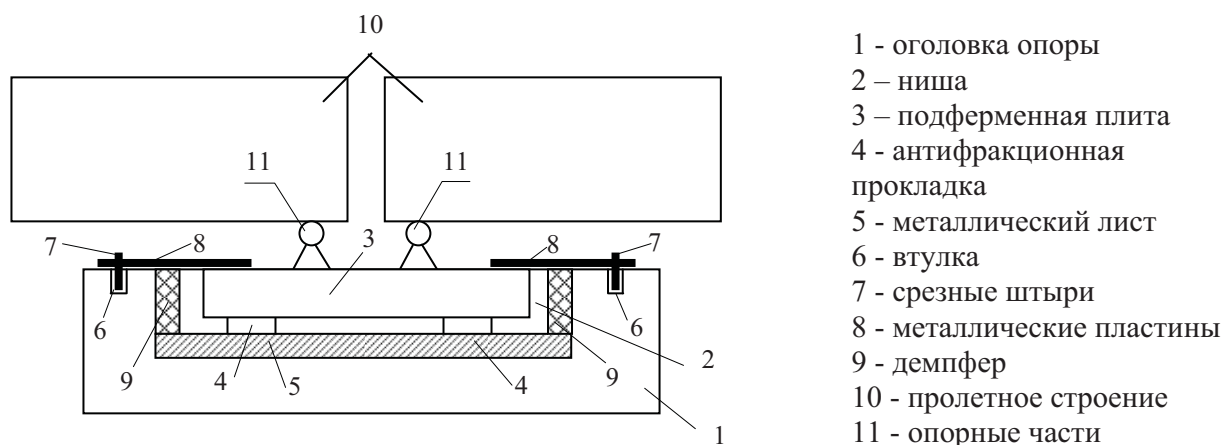
Основные особенности этой модели заключаются в следующем: сейсмологические воздействия впервые представлены как множество процессов, занимающих определенную область частот. Другая важная особенность модели заключается в том, что все расчетные параметры каждого из ее элементов выражаются в виде простых функций доминантной частоты. Модель отражает разнообразие доминантных частот, спектров и других характеристик землетрясений, зарегистрированных в прошлом, и позволяет прогнозировать вероятные в будущем землетрясения. Как известно [2], мосты в настоящее время в проектных организациях рассчитываются на сейсмическое воздействие в основном по нормативным документам. Нормативные расчеты - это расчеты на сравнительно слабые землетрясения, т.е. на землетрясения интенсивностью 1,5-2,5 балла ниже максимально возможной интенсивности, которая определяет сейсмичность района. Последнее подтверждается тем, что расчетные ускорения, определенные по СНиП II-7-781, в 4-5 раз меньше реально наблюдающихся ускорений при землетрясениях соответствующей балльности.

Однако, опыт исследования землетрясений показывает, что в большинстве случаев мосты, запроектированные и построенные по инженерным нормам, вполне удовлетворительно

выдерживают колебания соответствующей расчетной интенсивности. Это объясняется тем, что расчет производится в упругой стадии на слабые, но частные землетрясения. При этом не учитываются неупругие деформации, трещины и локальные повреждения, которые могут возникнуть при сильных землетрясениях, а также другие резервы, позволяющие сооружениям приспособиться к сейсмическим воздействиям. Существуют конструкции зданий с выключающимися и включающимися связями, которые в процессе землетрясения приспособляются к сейсмическим воздействиям, уходя от резонансной зоны, допуская частичное разрушение ненесущих элементов (панели, узлы и др.). В мостах такое частное разрушение некоторых элементов недопустимо, так как все элементы их связаны основной нагрузкой. Поэтому необходимо применять специальные конструкции опор или опорных частей, в которых во время землетрясения изменяются параметры системы, приспособляющиеся к сейсмическим воздействиям, уходя от резонансной зоны.

Существуют различные пути сейсмоизоляции автодорожных мостов, например, сейсмоизоляция опор на уровне фундамента и на уровне подферменной площадки. В работе [3] показано преимущество первой из них. Но этот путь эффективно используется только для жестких массивных опор. В работе [4] экспериментально установлено, что при периодах собственного колебания опоры  $T > 0,5$  с сейсмопояс на уровне фундамента практически не работает, поэтому сейсмоизоляция на уровне фундамента гибких опор неэффективна. В настоящее время в балочных мостах в основном применяются гибкие опоры, в связи с этим уточнение сейсмических нагрузок, характера их действия с учетом региональных особенностей и конструктивное снижение сейсмических сил на такие опоры является актуальным. Сейсмические воздействия бывают различные по спектральным составам. Воздействия высокочастотных землетрясений существенно не влияют на разрушение гибких опор, так как преобладающие доминантные частоты землетрясений далеки от резонансной зоны. При этом воздействия низкочастотных землетрясений могут привести к разрушению гибких опор за счет совпадения частот собственных колебаний опоры с доминантной частотой землетрясений.

На рисунке 1 показана конструкция опоры балочного моста [5]. Эту конструкцию можно применить для гибких опор в сейсмических районах. В обычных условиях опора работает как неподвижная опорная часть, а при продольно сейсмическом воздействии, когда сейсмическая сила превышает тормозную силу, штыри срезаются, и опора изолируется от массы пролетного строения, тем самым снижается сейсмическая сила, действующая на опору. При совпадении частот собственных колебаний опоры с доминантной частотой сейсмического воздействия амплитуды колебаний резко увеличиваются, и произойдет смягченный удар к демпферу, и опора включается к пролетному строению и тем самым приспособляется к сейсмическим воздействиям за счет изменения периода собственных колебаний, уходя от резонансной зоны.



- 1 - оголовка опоры
- 2 - ниша
- 3 - подферменная плита
- 4 - антифракционная прокладка
- 5 - металлический лист
- 6 - втулка
- 7 - срезные штыри
- 8 - металлические пластины
- 9 - демпфер
- 10 - пролетное строение
- 11 - опорные части

Рисунок 1 - Конструкция балочного моста

При неполной сейсмологической информации сейсмическое воздействие на эту конструкцию представим как множество  $M_{\Phi j}$  процессов, определенных на множестве несущих частот  $\omega_{\min} < \omega < \omega_{\max}$ , каждый из этих процессов считается физически возможным. Необходимо в условиях такой неполноты сейсмологической информации отыскать оптимальные сейсмические нагрузки на конструкцию. В качестве критерия оптимальной системы будет рассматриваться среднеквадратическая реакция  $S_j$  системы начального состояния (НС) и предельного состояния (ПС). В этом случае можно воспользоваться множеством  $M_{Sj}$  среднеквадратических спектров максимальной реакции, соответствующих множеству  $M_{\Phi j}$  сейсмических воздействий  $\Phi_j$ . В качестве расчетного спектра из условия оптимальности берем минимум из максимального значения среднеквадратической реакции.

$$S = \min (\max S_n \text{ или } S_p), \quad (1)$$

где  $S_n$  - сейсмическая реакция системы при периоде  $T=T_n$ ;  $S_p$  - сейсмическая реакция системы при периоде  $T=T_p$ ;  $T_n$  - период в начальном состоянии;  $T_p$  - период в предельном состоянии. При этом дисперсия спектрального коэффициента определяется как

$$\sigma_{\xi_j}^2 = \frac{\sigma_{x_j}^2}{\sigma_{\phi_j}^2}; \quad (2)$$

где  $\sigma_{x_j}^2$  - дисперсия процесса на выходе линейного осциллятора;  $\sigma_{\phi_j}^2$  - дисперсия процесса на входе расчетного множества  $M_{\Phi j}$ .

Тогда среднеквадратичные спектральные коэффициенты динамичности определяются по формуле

$$\xi_j = \sqrt{\sigma_{\xi_j}^2}; \quad j=1,2,\dots,n, \quad (3)$$

Здесь число принятых дискретных расчетных воздействий  $\Phi(t, \omega_j)$  - элементов расчетного множества  $M_{\Phi j}$ .

Среднеквадратическое значение максимума сейсмической силы, действующей на линейный осциллятор, определяется:

$$S_j = m \ddot{x}_{\phi_j} \xi_j = \frac{\ddot{x}_j}{g} \cdot \xi_j \cdot Q = K_c \cdot \xi_j \cdot Q; \quad (4)$$

где  $x_{\phi_j} = \sqrt{\sigma_{\phi_j}^2}$ ,  $m$  и  $Q$  - масса и вес осциллятора.

На рисунке 2 приведены графики спектрального коэффициента динамичности, определенные по формулам (2) и (3), с соответствующим элементом множества  $M_{\Phi j}$  сейсмических процессов  $\Phi_j$ , показателем случайного процесса,

$$\theta = \frac{\alpha_i}{\omega_c} = 0,5,$$

где  $\alpha$  и  $\omega$  - параметры корреляционной функции случайного процесса [1].

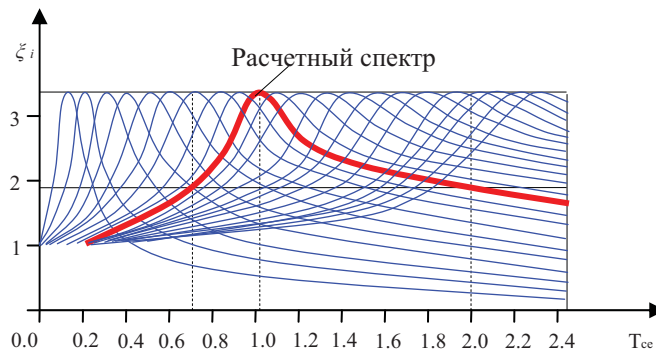


Рисунок 2 - График спектрального коэффициента динамичности

Покажем конкретный пример для графика на рисунке 2. Оптимизировать сейсмическую нагрузку для опоры балочного моста на рисунке 1. Начальное состояние принимаем, когда штыри срезаются, и опора изолируется от массы пролетного строения. Предельное состояние принимаем, когда амплитуда колебания превышает величину зазора и опора включается к пролетному строению. Периоды собственных колебаний опоры будут для двух состояний  $T_n$  и  $T_n$  соответственно. Расчетную схему принимаем в виде линейного осциллятора с одной степенью свободы. Сосредоточенная масса  $m_2 = m_1 + m_{пр}$ , где  $m_{пр}$  - масса пролетного строения,  $m_1$  - расчетная масса опоры,  $m_2$  принимается для предельной системы. На рисунке 3 представлены расчетные схемы для начального и предельного состояния.

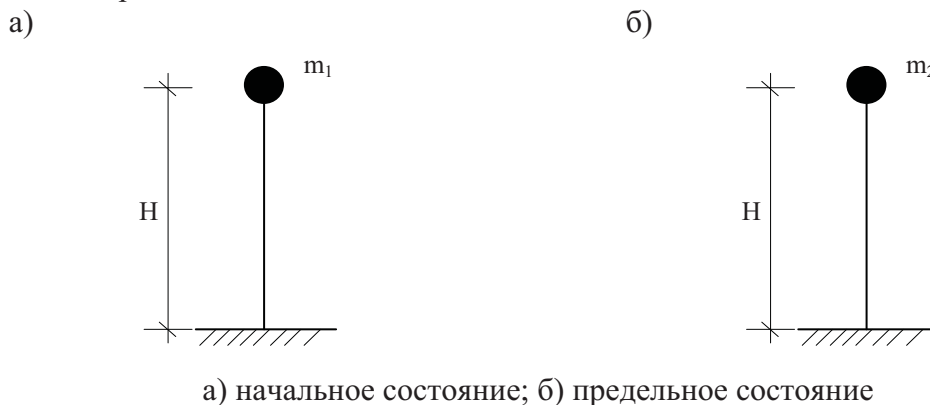


Рисунок 3 - Расчетная схема

Определяем периоды собственных колебаний опоры для начальной и предельной системы по формулам:

$$T_n = 2\pi\sqrt{m_1\delta} \text{ и } T_n = 2\pi\sqrt{m_2\delta}, \quad \delta = \frac{H^3}{3EJ}, \quad C_{оп} = \frac{1}{\delta},$$

где  $\delta$  - перемещение системы от единичной силы,  $H$  - высота опоры,  $EJ$  - постоянная, характеризующая жесткость сечения,  $C_{оп}$  - жесткость опоры.

Для наглядного примера принимаем численные значения

$$T_n = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{C_{оп}}} = 0,7 \text{ с}, \quad T_n = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{C_{оп}}} = 2,01 \text{ с}.$$

Сначала вычислим сейсмическую силу по нормам, она определяется по формуле:

$$S = mg \cdot k \cdot \beta, \quad \beta = \frac{1,1}{T},$$

где  $m$  – масса линейного осциллятора;  $g$  – ускорения силы тяжести;  $k$  – коэффициент, принимаемый 0,025, 0,05, 0,1 для 7, 8, 9 баллов соответственно;  $\beta$  – коэффициент динамичности.

Для баллов сейсмические силы будут  $S_n = m_1 \cdot g \cdot k \cdot \beta_n = 25919H$ ,  $S_n = m_2 \cdot g \cdot k \cdot \beta_n = 90013H$ . Применим графики рис.2. Каждому фиксированному  $S_p = S(T)$  соответствует расчетный спектр элемента множества  $M_{S_i}$ . Условием минимума принимаем минимум максимального значения среднеквадратичной реакции в любом из двух состояний системы. Можно показать, что условию (1) отвечает такой спектр коэффициента динамичности  $\xi_i$ , для которого выполняется условие:

$$\xi(T_n) = \xi(T_p), \quad (5)$$

т.е. условие равенства значений среднеквадратических спектральных коэффициентов динамичности системы в начальном и предельном состоянии, если  $\xi(T_n) = \xi_p$ .

Для наблюдения эквивалентности результатов уровню нагрузок по СНиП II-7-81 для мостов будет принимать максимальное значение  $\bar{\xi}_{\max} = \beta_{\max} = 2,7$ . Найдем теперь оптимальную расчетную нагрузку на рассматриваемую систему с изменяющимися параметрами. Воспользуемся графиками рис.2. Проведем две прямые:  $T = T_n = 0,7$  с и  $T = T_{пр} = 2,01$  с. по условию (5) или в данном примере  $\xi(0,7 \text{ с}) = \xi(2,01 \text{ с})$ .

Замечаем, что такому условию соответствует спектр коэффициента динамичности с доминантным периодом  $T=1,0$  с (см. рис.2). Этот спектр и принимаем в качестве расчетного. Определяем величину  $\xi_p$  из пропорции

$$\frac{\xi_p}{2,7} = \frac{\beta(2,01 \text{ с})}{\beta(1,0 \text{ с})},$$

откуда  $\xi_p = \beta_n = 2,7 \cdot 0,49 \approx 1,35$  и  $S_p = 0,1 \cdot \xi_p \cdot m_1 \cdot g = 0,1 \cdot 1,35 \cdot 16530 \cdot 9,8 = 21869H$ . В качестве расчетной нагрузки берем  $S_p = 21869H$ .

#### Выводы:

Обеспечение сейсмостойкости мостовых конструкций приводит к их удорожанию на 10...12 % по сравнению со стоимостью мостов в обычных несейсмоопасных районах. В связи с этим, динамический расчет мостов и изыскание новых конструктивных решений мостов и их конструкций, которые обеспечивали бы надежность при эксплуатационных нагрузках и сейсмостойкость при минимальных материальных затратах, является актуальной научной проблемой в мостостроении в сейсмоопасных районах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями. М., Наука, 1976.
2. СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах. М., Стройиздат, 1982.
3. Чуднецов В.П., Апсеметов М.Ч. Исследование работы опоры моста с сейсмоизолирующими поясами на сейсмическую нагрузку /Сборник научных трудов ФПИ. Бишкек, 1986.
4. Хучбаров З.Г. Сейсмоизоляция автодорожных мостов. Фрунзе, Илим, 1986.
5. Чуднецов В.П. Опора балочного моста. А.с. СССР № 804754. 1981.