

УДК 624.27:699.841(575.2) (04)

СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ

М.Ч. Ансеметов – канд. техн. наук, доц.,
А.Е. Айдаралиев – преподаватель,
У.Т. Шекербек – преподаватель

Structures of seismic-isolating supporting elements, which usage in bridge structures reduces the influence of seismic loads, were developed and proposed. Effectiveness evaluation of the accepted solution was given.

Площадь районов с сейсмической активностью от шести до девяти баллов составляет одну пятую часть территории СНГ, что равно площади почти всех стран Европы. Сейсмоопасные районы имеются в 11 бывших союзных республиках, в том числе и в Кыргызской Республике.

Кыргызстан находится в горной местности, и почти вся его территория относится к сейсмически опасным районам с близкими эпицентрными зонами, где к зданиям и сооружениям, в том числе и к мостам, предъявляются требования по сейсмостойкости [1].

Обеспечение сейсмостойкости мостовых конструкций приводит к удорожанию их на 10...12% по сравнению со стоимостью мостов в обычных несейсмоопасных районах. В связи с этим изыскание новых конструктивных решений конструкций мостов, которые обеспечивали бы их сейсмостойкость при минимальных материальных затратах, является весьма актуальным.

Существуют различные конструкции сейсмоизолирующих опорных устройств [2–12]. Применение их, например, в конструкциях мостов, эстакад, путепроводов для сейсмоизоляции пролетного строения невозможно из-за отсутствия специальных элементов, которые учитывали бы влияние тормозных сил от подвижной нагрузки. При воздействии тормозных

сил пролетные строения перемещаются вдоль моста и нарушается геометрическая неизменяемость системы, что приводит к падению пролетного строения с опоры или к разрушению покрытий от эксплуатационных нагрузок. Для решения этой проблемы в данной статье предложена конструкция опоры, которая обеспечивает неподвижную связь опоры с пролетным строением, а в момент землетрясения становится подвижной и тем самым изолирует сейсмические воздействия на опору и на пролетные строения [13].

Предложена конструкция опоры балочного моста с сейсмоизолирующими устройствами в виде скользящего пояса (СП) в уровне подферменной плиты, в которой при любых тормозных силах не выключается связь опоры с пролетным строением, а при сейсмическом воздействии выключается даже при землетрясениях 6–7-балльной интенсивности (рис. 1).

Опора балочного моста включает тело 1 опоры с образованной в его оголовке 2 нишей 3, размещенную в нише подферменную плиту 4, в средней части которой выполнено сквозное вертикальное отверстие 5, имеющее на стенках расположенные на одном уровне пластинчатые выступы 6, свободные концы которых размещены с зазором относительно друг друга. Ниша 3 оголовка 2 тела 1 опоры выполнена с расположенной соосно с отверстием 5

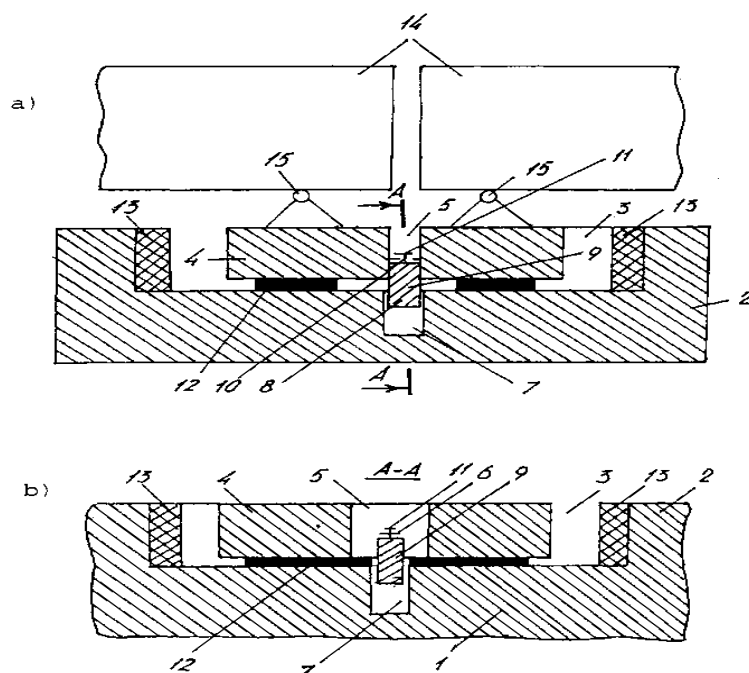


Рис. 1. Опора балочного моста:
а) верхняя часть опоры по фасаду пролетного строения; б) разрез А-А.

подферменной плиты 4 вертикальной прорезью 7, в которой установлен фиксатор 8, при этом нижний конец фиксатора 8 заведен в прорезь 7 ниши 3, а фиксатор 8 установлен с возможностью вертикального и горизонтального перемещения на нем фиксирующей пластиной 11, причем стержень пропущен через зазоры между концами пластинчатых выступов 6 с возможностью опирания на них фиксирующей пластины 11. В отверстии 5 плиты 4 и вертикального перемещения в прорези 7 ниши 3 в виде вертикального элемента 9 с расположенным в верхней его части стержнем 10 и закрепленной между дном ниши 3 и подферменной плитой 4 установлены антифрикционные прокладки 12. На внутренних поверхностях по периметру стенок ниши 3 укреплены с зазором относительно боковых граней подферменной плиты 4 демпфирующие прокладки 13. Смежные пролетные строения 14 моста опираются на подферменную плиту 4 через неподвижные опорные части 15.

Опора балочного моста работает следующим образом.

В обычных условиях эксплуатации подферменная плита 4 ничем не нарушает работы неподвижных опорных частей 15, так как тормозные силы действуют только в продольном направлении, а фиксатор 8 в связи с обеспечением горизонтального перемещения только в поперечном направлении моста препятствует перемещению подферменной плиты 4 относительно оголовка 2 тела 1 опоры. При землетрясении в продольном направлении первыми воздействуют на опору продольные сейсмические волны меньшей интенсивности, в этом случае опора и подферменная плита 4 колеблются вместе как одно целое тело, с приходом более интенсивной поперечной волны тело 1 опоры одновременно воспринимает воздействие в поперечном направлении, что приводит к скольжению подферменной плиты 4 относительно оголовка 2 тела 1 опоры, при этом стержень 10 с фиксирующей пластиной 11 выходят с границы пластинчатых выступов 6. Под действием собственного веса вертикальный элемент 9 опускается вниз в прорезь 7 и обеспечивает полную изоляцию пролетного

строения 14 от продольных и поперечных сейсмических воздействий. Оголовок 2 опоры после опускания элемента 9 может свободно перемещаться относительно подферменной плиты 4 по антифрикционным прокладкам 12 в обоих направлениях. В случае превышения амплитудой колебаний предусмотренного зазора между плитой 4 и внутренней поверхностью стенок ниши 3 произойдет смягченный демпфирующей прокладкой 13 удар об оголовок 2 опоры на исходе колебания.

Конструкция сейсмоизолирующего опорного устройства балочного моста позволяет повышать надежность моста одновременно за счет увеличения сопротивляемости моста тормозным силам и изоляции массы пролетного строения во время землетрясения. Для возвращения пролетных строений к первоначальному положению скользящий пояс можно выполнить с наклонными площадками [7, 14].

Предложенную конструкцию можно применять не только в мостах, но и в эстакадах, путепроводах и для сейсмоизоляции большепролетных балок промышленных зданий.

В результате теоретических и экспериментальных исследований колебаний пролетного строения при сейсмических воздействиях построен график коэффициента эффективности сейсмоизоляции $\beta = \frac{A}{A_0}$ (рис. 2), где A_0 –

ускорение основания, A – ускорение пролетного строения [6, 10]. Этот график можно использовать при расчете пролетных строений на сейсмическую нагрузку. Пусть сейсмичность площадки строительства – 9 баллов, $\ddot{A}_0 = 400 \text{ см/с}^2$, из графика находим $\beta = 0,3$, тогда:

$$\ddot{A} = \ddot{A}_0 \cdot \beta = 400 \cdot 0,3 = 120 \text{ см/с}^2.$$

Значит, пролетное строение со скользящим поясом воспринимает ускорение, равное 120 см/с^2 , а это равно ускорению 7-балльного землетрясения. Следовательно, проектировщик рассчитывает пролетное строение на 7-балльное воздействие и подбирает сечение балки. Опору на рис. 1 можно применять при любых схемах закрепления пролетного строения с опорой.

Для анализа применения этой конструкции в реальных мостах рассмотрим два моста. Первый мост через реку Барскаун на автомобильной дороге “Барскаун-Кумтор”, второй – через реку Майлисуу на автомобильной дороге “Бишкек-Ош”.

Рассмотрены три варианта закрепления пролетного строения мостов: 1 – жесткие опорные закрепления $C_0 = \infty$; 2 – упругие опорные закрепления $C_0 = 2750 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$, $C_0 = 500 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$; 3 – скользящий пояс $f = 0,04$.

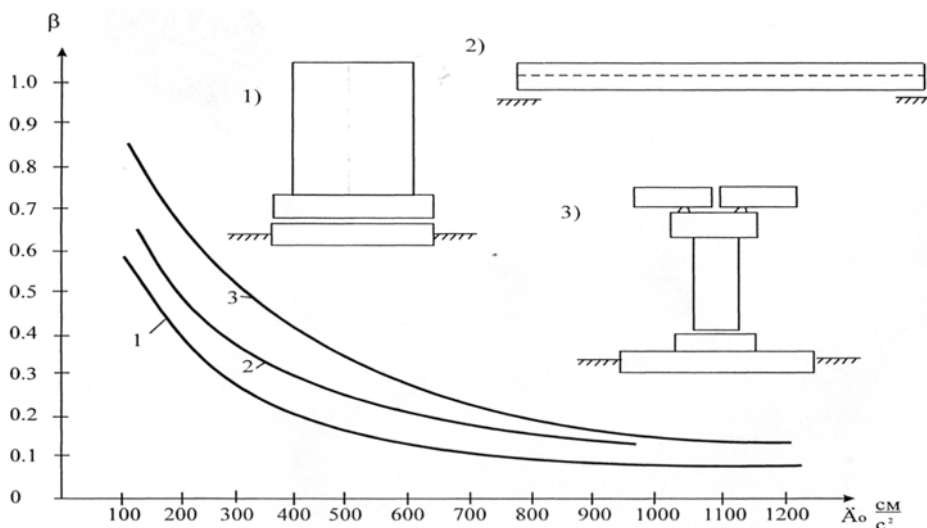


Рис. 2. Коэффициент эффективности сейсмоизоляции: 1 – в работе [12]; 2 – полученный автором [6]; 3 – в работе [14].

Расчеты производили на воздействия реальных акселерограмм (Э.Ф. Пак КазНИССА, г. Алматы и авторы статьи).

Первый – однопролетный мост. Пролетное строение состоит из 9 пустотных плит длиной 18 м, шириной 8 м. Второй – трехпролетный мост. Средний пролет 24 м, а крайние пролеты – по 15 м. Пролетные строения состоят из Т-образных сборных железобетонных балок. Габарит моста – Г15+2 × 1,5. Сейсмичность районов относится к 9-балльной интенсивности.

Расчетный анализ выполнен вычислительным комплексом “STARK ES”. В ком-

плексе реализован метод конечных элементов. Система моделируется конечными элементами типа 3D – стержневые элементы. Элементы данного типа описываются номерами начального и конечного узлов, площадью поперечного сечения $A [m^2]$, сдвиговой площадью в направлении локальной оси $s-As [m^2]$, сдвиговой площадью в направлении локальной оси $t-At [m^2]$, моментом инерции при изгибе $I_s [m^4]$, моментом инерции при изгибе $I_t [m^4]$, моментом инерции при кручении $I_r [m^4]$, модулем упругости материала балки $E [кН/м^2]$, модулем сдвига $G [кН/м^2]$ ($G=E/2(1+\mu)$, μ – коэффициент Пуассона) и плотностью материала стержня

Максимальное значение сейсмических сил в пролетном строении

Мост через р. Барскаун, Акселерограмма ВО30-1				
Сейсмические силы	$C_0 = \infty$	$C_0 = 2750 кН / см$	$C_0 = 500 кН / см$	$f_{ip} = 0,04$
Вертикальные, кН	$T_0 = 0,17с$	$T_0 = 0,20с$	$T_0 = 0,32с$	
	1406,685	966,164	704,125	
Горизонтальные, кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 1,00с$
	2201,412	1912,143	813,416	568,131
Мост через р. Майлисуу, Акселерограмма ВО30-1				
Вертикальные кН	$T_0 = 0,39с$	$T_0 = 0,42с$	$T_0 = 0,56с$	–
	2701,612	1812,161	1401,143	–
Горизонтальные кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 1,50с$
	4103,561	3711,415	1526,801	991,463
Мост через р. Барскаун, Акселерограмма ВО34-1				
Вертикальные кН	$T_0 = 0,17с$	$T_0 = 0,20с$	$T_0 = 0,32с$	
	1396,681	973,164	714,123	
Горизонтальные кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 0,100с$
	2198,411	1911,143	810,416	573,132
Мост через р. Майлисуу, Акселерограмма ВО34-1				
Вертикальные кН	$T_0 = 0,39с$	$T_0 = 0,42с$	$T_0 = 0,56с$	–
	2601,612	1811,163	1400,142	–
Горизонтальные кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 1,50с$
	4201,561	3611,411	1426,872	990,471
Мост через р. Барскаун, Акселерограмма Т286-1				
Вертикальные кН	$T_0 = 0,17с$	$T_0 = 0,20с$	$T_0 = 0,32с$	
	1401,715	963,162	701,123	
Горизонтальные кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 1,00с$
	2198,415	1911,146	812,315	495,132
Мост через р. Майлисуу, Акселерограмма Т286-1				
Вертикальные кН	$T_0 = 0,39с$	$T_0 = 0,42с$	$T_0 = 0,56с$	–
	2700,511	1811,142	1399,143	–
Горизонтальные кН	$T_0 = 0,11с$	$T_0 = 0,15с$	$T_0 = 0,28с$	$T_0 = 1,50с$
	4014,562	3611,445	1514,799	990,344

ρ [т/м³]. Площадь сдвига задается в случае, если учитываются поперечные деформации. Если величины площадей сдвига будут заданы равными нулю, то жесткость балки на сдвиг считается бесконечно большой по обоим направлениям s и t . Модуль сдвига G всегда необходимо задавать отличным от нуля – это значение используется при вычислении жесткости на кручение. При задании плотности автоматически определяется собственный вес системы и учитывается в нагружении №1.

Характеристики сечений связаны с локальной системой координат элемента (r - s - t). Эта система координат определяется следующим образом. Начало координат располагается в первом узле элемента, и ось “ r ” направлена от первого ко второму узлу элемента и совпадает с глобальной осью X . Оси “ s ” и “ t ” в зависимости от положения элемента в пространстве определяются по следующим правилам. Ось “ s ” направлена по глобальной оси Z . Ось “ t ” направлена таким образом, чтобы система координат (r - s - t) являлась правой.

В качестве воздействий использованы записи ускорений реальных землетрясений из банка данных Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта. Акселерограммы нормированы, и максимум ускорений равен 400 см/с². Результаты расчета представлены в таблице.

Из таблицы видно, что при использовании сейсмоизолирующего скользящего пояса ускорения уменьшаются примерно в 4 раза.

Литература

1. Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики (М 1:1000000), *К.Д. Джанузаков, О.К. Чедия, К.Е. Абдрахматов, А.Т. Турдугулов*. – Бишкек: Илим, 1996. – 24 с.
2. *Абдужабаров А.Х.* Рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных и железных дорог в сейсмических районах. – Бишкек: БПИ, 1991. – С. 3–18.
3. *Айзенберг Я.М.* Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. – М.: Стройиздат, 1976. – 232 с.
4. *Айзенберг Я.М., Нейман А.И., Абакаров А.Д., Деглина М.М., Чачуа Г.Л.* Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. – М.: Наука, 1978. – 246 с.
5. *Айзенберг Я.М.* Сейсмоизоляция зданий в России и СНГ // Сейсмостойкое строительство. ВНИИТПИ Госстроя России: Реф. ж., 1998. – №1. – С. 23–26.
6. *Ансеметов М.Ч.* Экспериментальные исследования влияния сейсмоизолирующих опорных устройств на работу пролетного строения балочного моста при сейсмических воздействиях в поперечном направлении // Проблемы строительной отрасли и пути их решения. Сб. научн. тр. респуб. научн.-техн. конф. – Ч. 1. – Бишкек: Технология, 2001. – С. 57–63.
7. *Жунусов Т.Ж.* Основы сейсмостойкости сооружений. – Алма-Ата, 1990.
8. *Жунусов Т.Ж.* Элементы колебаний систем и динамики сооружений в теории сейсмостойкости. – Алматы: КазГАСА, 1999. – 119 с.
9. *Жунусов Т.Ж., Ансеметов М.Ч.* Балочные автодорожные мосты на упругих опорных частях // Тез. докл. международн. конф. – Бишкек, 14–17 июня 1994 г. – С. 175–176.
10. *Жунусов Т.Ж., Ансеметов М.Ч.* Сейсмоизолирующие узлы в конструкциях мостов // Вест. КГУСТА. – 2002. – №1. – С. 49–54.
11. *Переселенков Г.С., Шестоперов Г.С.* Основные принципы обеспечения сейсмостойкости транспортных сооружений в СССР // Сейсмостойкость транспортных и сетевых сооружений. – М.: Наука, 1986. – С. 4–10.
12. *Солдатова Л.Л.* Исследование работы одно-массовой модели здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и пружинными ограничителями перемещений. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, серия XIV, 1977. – Вып. 3. – С. 11.
13. *Чуднецов В.П., Ансеметов М.Ч.* Опора балочного моста. А.с. СССР №1609850 от 30.11.90. – Бюлл. №44.
14. *Хучбаров З.Г.* Сейсмоизоляция автодорожных мостов. – Фрунзе: КиргИНТИ, 1986. – 60 с.