



АПСЕМЕТОВ М.Ч., ОСМОНКАНОВ Н.А., ТОНУЕВА Г.Ч., ТАШБАЕВА А.А.

¹КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

APSEMETOV M.CH., OSMONKANOV N.A., TONUEVA G.CH., TASHBAEVA A.A.

¹Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture n.a. N.I sanov

Bishkek, Kyrgyz Republic

muhtar.ap@mail.ru, osmonkanovnur@mail.ru

ОПОРНЫЕ ЧАСТИ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

SUPPORT PARTS OF GIRDER BRIDGES FOR SEISMIC AREAS

Цилиндрилик бети бар тирөөч бөлүктүн резина металлдык курамынын иштелип чыгышы жана макалада сейсмикалык райондордун устундуу көпүрөнүн тирөөч бөлүгүнүн курамы сунушталат.

Өзөк сөздөр: *устундуу көпүрө, тирөөч бөлүк, резина металлдык тирөөч бөлүгү, цилиндрдик бети, сейсмикалык таасирлер, жер титирөөнүн упайлуулугу.*

В статье представлены конструкции опорных частей балочных мостов для сейсмических районов и предлагаются разработанные конструкции резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью.

Ключевые слова: *балочный мост, опорная часть, резинометаллическая опорная часть, цилиндрическая поверхность, сейсмические воздействия, балльность землетрясений.*

The article presents the designs of support parts of girder bridges for seismic areas and suggests the developed designs of rubber-metal support parts with a cylindrical surface.

Key words: *girder bridge, support part, rubber-metal support part, cylindrical surface, seismic impacts, earthquake magnitude.*

Наиболее уязвимым местом балочного моста при воздействии землетрясения является опорные части расположенные между пролетным строением и опорой. Нарушение прочности опорных частей может привести к наиболее распространенной форме разрушения балочного моста. Это большие перемещения пролетного строения вдоль опоры или падения его с опоры моста. Поэтому в сейсмоопасной зоне конструкции несущих элементов балочных мостов и их креплению следует уделить самое серьезное внимание [1, 2].

К опорным частям балки в сейсмоопасной зоне предъявляются следующие дополнительные требования: несущие детали крепления должны обеспечивать передачу продольных и поперечных (горизонтальных) сейсмических усилий от пролетного строения балки к опоре; подвижные опорные части должны отвечать тем же требованиям по поперечным сейсмическим силам; при этом они должны иметь достаточный ход, чтобы обеспечить свободу перемещения конца пролетного строения, движущегося при сейсмических колебаниях моста; рекомендуется определять требуемое перемещение исходя из предположения, что верхние точки опорных частей испытывают максимальное сейсмическое смещение в противоположном направлении с учетом необходимой величины перемещений подвижных опорных частей.

В балочных мостах в сейсмоопасной зоне используются железобетонные, стальные и резинометаллические опорные части. Для обеспечения горизонтальной устойчивости рекомендуется соединить с связями железобетонные подвижные валковые опорные части.



На случай 8-балльного землетрясения их оборудование должно быть в наличии. Корпус вала должен быть рассчитан на прочность по сейсмической силе. При вертикальном перемещении валок трудно закрепить, а сам он хрупкий. Поэтому они не подходят для мостов с сейсмостойкостью 9 баллов.

Стальные опорные части могут применяться в виде роликовых или секторного типа, а также в виде качения.

На рис. 1 показаны разновидности стальных опорных частей, применяемых в сейсмических зонах [3, 4].

На рисунках 1а и б представлены опорные части, получившие широкое распространение в Японии после землетрясения 1923 года. Верхний и нижний балансиры соединены с подпружиненной цилиндрической шарнирной рукояткой, которая предотвращает подъем балансира дополнительным упором, прикрепленным к железобетонной подферменной плиты на подвижной опоре. На рисунках 1в и г показаны стальные опорные части, используемая в нашей стране и за рубежом. Первая модель отлита, вторая модель приварена к качающимся башмакам и не образует вертикального крепления.

Необходимость воспринимать сейсмическую силу значительно усложняет конструкцию стальных опорных частей.

В последнее время получил распространение особый способ крепления пролетных строений к опорам; для предотвращения их значительных смещений при редких землетрясениях расчетной силы на плите подферменной плиты должен располагаться стопор - специальный конструктивный элемент.

Это делается в виде железобетонного упора или стального анкера (рис. 1д), прочно прикрепленного к опоре (рис. 1д). При этом опорные части должны быть полностью освобождены от работы сейсмических сил или должны учитываться их пониженные значения.

Помимо уже с известными положительными свойствами, резинOMETаллические опорные части обладают рядом дополнительных преимуществ в сейсмических условиях. Они поглощают часть вибрационной энергии и поглощают сейсмические толчки как демпфер. Совместимость несущих частей способствует уменьшению сейсмических сил от веса надстройки. Имейте в виду, что традиционные типы резинOMETаллических опорных частей выдерживают небольшие горизонтальные нагрузки. В случае сильного землетрясения (8-9 баллов) должны быть приняты специальные меры, предотвращающие большие перемещения пролетного строения по горизонтальной и вертикальной направлениях [5, 6, 7].

Одной из таких мер является применение резинOMETаллической опорной части с цилиндрической поверхностью (рис. 1е).

РезинOMETаллическая опорная часть расположена в цилиндрической выемке на поверхности опоры. Верхняя конструкция опирается на него через железобетонную плиту с такой же цилиндрической поверхностью. Последний крепится к главной балке пролетного строения.

В данной конструкции цилиндрическая поверхность имеет вогнутую форму. Цилиндрическая поверхность опорного сечения ограничивает деформацию под действием горизонтальных сил. Недостатками таких опорных частей являются высокая жесткость в горизонтальном направлении и вогнутое цилиндрическое углубление в опоре. Атмосферные осадки и пыли могут забивать поверхность опоры и вода попадая в вогнутое углубление отрицательно влияет на резину, сокращая срок ее службы [8].

На рисунке 1з показана плоская резинOMETаллическая опорная часть [3], которая широко используется для балочных мостов в сейсмических районах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Вопросы инерционного противодействия сейсмическим силам зданий и сооружений рассмотрены в [11].

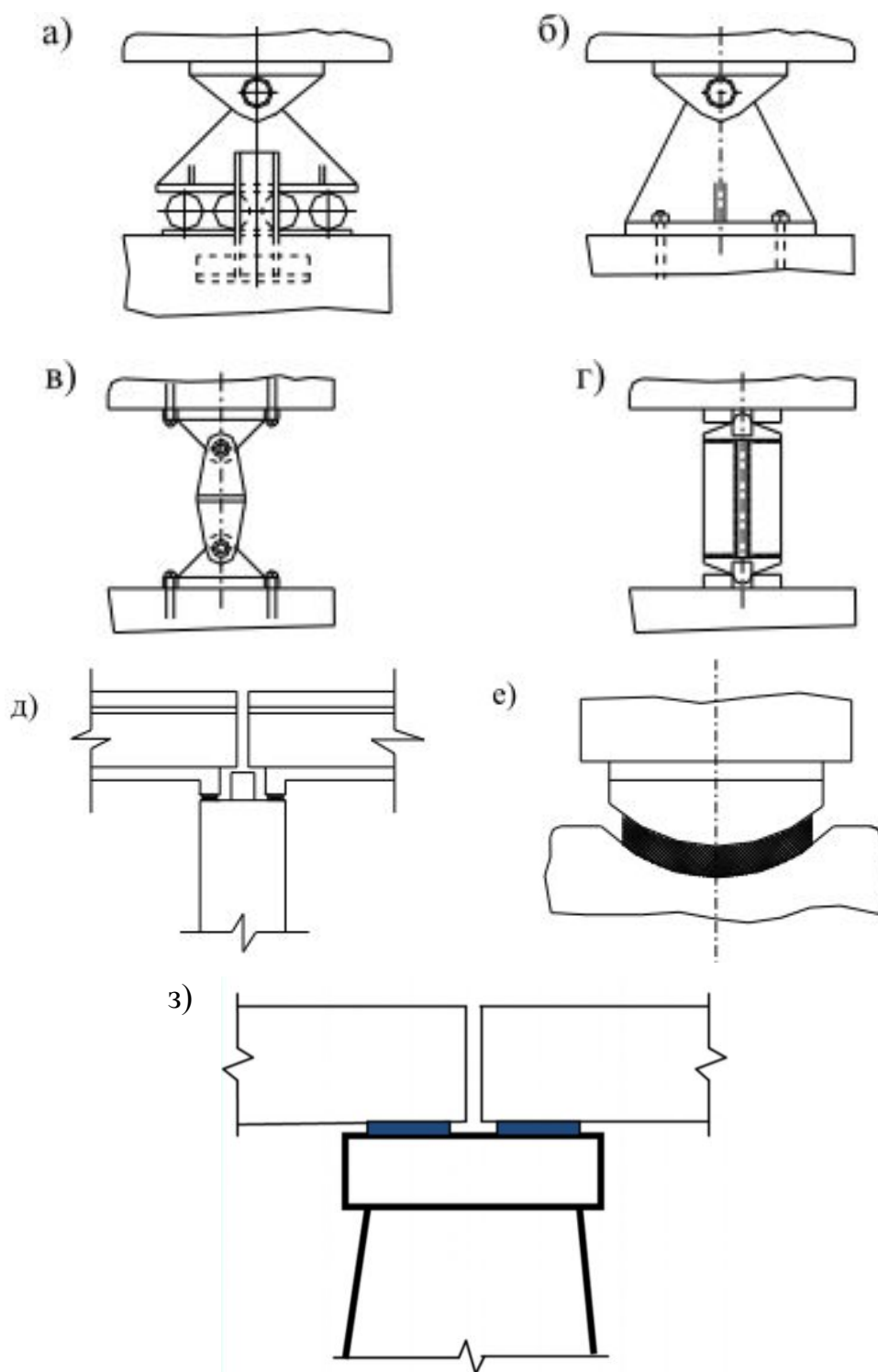
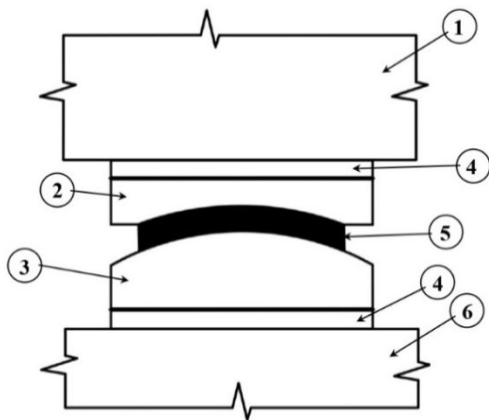


Рис. 1. Опорные части в сейсмических районах

На рис. 2 показаны разновидности конструкций резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью в рабочем положении разработанные нами. Преимуществом этой опорной части является, что атмосферные осадки и пыли от транспортов на мосту не попадают на поверхности резины. Используются обычные плоские резинометаллические опорные части, выпускаемые в Кыргызской Республике. Резинометаллическая опорная часть расположена между верхними и нижним балансирами с цилиндрическими поверхностями, причем она в рабочем положении имеет выпуклую форму, повторяя цилиндрические поверхности верхних и нижних балансиров.

Предлагаемая конструкция проста и удобно в применении, увеличивает срок эксплуатации резины, не нарушает типовые конструкции опор и пролетных строений и предотвращает падение пролетного строения с опор моста при сильных землетрясениях.

а)



б)

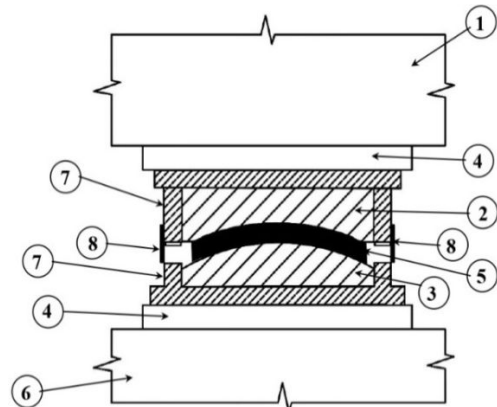


Рис. 2. Резинометаллические опорные части с цилиндрической поверхностью в рабочем положении: а) резинометаллическая опорная часть с железобетонными балансиром; б) резинометаллическая опорная часть с металлическими балансиром внутри металлических ящиков.

1 – пролетное строение; 2 – железобетонный верхний балансир с цилиндрической поверхностью; 3 – железобетонный нижний балансир с цилиндрической поверхностью; 4 – закладные детали из металлических пластин; 5 – резинометаллическая опорная часть с цилиндрической поверхностью в рабочем положении; 6 – опора моста; 7 – металлические ящики; 8 – металлическая нержавеющая пластина для защиты резины от влаги и пыли.

Предложенные конструкции на рис. 2 называется резинометаллической опорной частью с цилиндрической поверхностью в рабочем положении, потому что здесь используется обычная плоская резинометаллическая опорная часть. Она примет выпуклую форму под давлением верхнего и нижнего балансиров.

Рассмотрим расчет резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью в рабочем положении.

Для определения размеров резиновой опорной части с цилиндрической поверхностью в рабочем положении необходимо знать: величины опорной реакции, горизонтальных и угловых перемещений концевых сечений пролетного строения, а также значения тормозной или сейсмической силы. Расчет в этом случае производится в следующем порядке [8, 9].

1. Определяется площадь опорной части в плане по такой же формуле, как и для плоских слоистых опорных частей [5, 6].

$$\sigma^p = \frac{V^p}{F} \leq R_c^v \quad (1)$$

где V^p – вертикальная опорная реакция от полной расчетной нагрузки; σ^p – нормальные напряжения от полной расчетной нагрузки; R_c^v – расчетное сопротивление резиновой опорной части при осевом сжатии, принимаемое по ГОСТ 32020 – 2012.

2. Определяется толщина резины h_p в опорной части по условию работы на сдвиг.

а) Сдвиг постоянной расчетной нагрузкой:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{ср}} = \frac{\Delta_{\text{ср}}}{h_p} \leq [\operatorname{tg} \gamma_{\text{ср}}] \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ – линейное перемещение опорного узла балки; $[\operatorname{tg} \gamma_{\text{ср}}]$ – допускаемый угол сдвига резиновых опорных частей, принимаемой равным 0,7.



б) Сдвиг временной расчетной нагрузкой, в том числе сейсмической:

$$tg\gamma_g = \frac{\Delta_g}{h_p} \leq [tg\gamma_g] \quad (3)$$

где Δ_g — линейные перемещения опорного узла балки от временных нагрузок и воздействий. Определяется по формуле:

$$\Delta_g = \frac{H_c \cdot h_p}{F G_g \cdot M_H} + \alpha_g \cdot r \quad (4)$$

где G_g — модуль сдвига резины, принимаемый по ГОСТ ISO 6446-2016; $[tg\gamma_g]$ — допускаемый угол сдвига резиновой опорной части, принимаемый равным 0,3; H_c — продольное усилие от сейсмической нагрузки, если оно превышает тормозное усилие; M_H — коэффициент горизонтального ужесточения опорной части, определяемый по формуле:

$$M_H = 1 + 4C_M \cdot \frac{a^3}{h_i^2 \cdot r} \cdot \sin \frac{a}{4r} \quad (5)$$

где C_M — безразмерный коэффициент, определяемый из нижеприведенной таблицы 1:

Таблица 1

a/b	0,5	1	1,5	2
C_M	0,013	0,011	0,008	0,006

где r — радиус кривизны опорной части, принимаемый:

$$r = \frac{a^2}{8h} \quad (6)$$

α_g — угловое перемещение опорного узла балки; a — размер опорной части в плане вдоль оси балки; b — то же в направлении, перпендикулярном к оси балки.

в) Сдвиг постоянной и временной расчетными нагрузками $tg\gamma_{ст} + tg\gamma_g$ не должен превышать 0,9.

Отсутствие в опорной части растягивающих напряжений проверяется по формуле:

$$4C_M \cdot \frac{a^3 \cdot F \cdot G_g}{h_i^2 \cdot r} \cdot tg\gamma_g \leq V_p^P \quad (7)$$

Теперь рассмотрим, как подобрать оптимальную толщину резино-металлических опорных частей в сейсмоопасной зоне.

При расчете опоры так же, как при расчете резино-металлических опорных частей на сейсмические нагрузки, необходимо знать четыре основного параметра: δ_{11} — перемещение верхней части опоры от единичной горизонтальной силы; Δ — перемещение опорной части от единичной силы; m_1 — масса верхней половины опоры; m_2 — масса двух половин соседнего расстояния двух пролетов. Зная их, можно определить силу сейсмического воздействия, действующего на опору моста.

Из СНиП 2.05.03-84* если сейсмическая сила превышает силу торможения по особому сочетанию нагрузок, опора рассчитывается по сейсмической силе, а если тормозная сила больше сейсмической силы, то опора рассчитывается на тормозную силу.

Поэтому все стандартные конструкции опор мостов рассчитаны на воздействие горизонтальных продольных сил торможения.

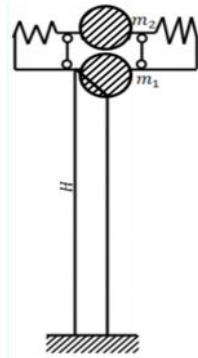
Идея расчета опор мостов в сейсмоопасной зоне заключается в том, что величина сейсмической силы, передаваемой через опорные части, не должна превышать силы торможения.

На рис. 3 представлена схема динамического расчета опоры моста и график, иллюстрирующий идею выбора оптимального горизонтального перемещения опоры в зоне землетрясения.

Сейсмическую силу кривую 1 можно получить, учитывая разные значения Δ смещения сечения верха опоры при постоянных параметрах δ_{11} , m_1 и m_2 , (рис. 3). При пересечении горизонтальной линии 2 значения тормозной силы и сейсмическую силу 1 на

опоре можно получить оптимальное значение Δ , определяющее толщину резинометаллической опорной части.

а)



б)

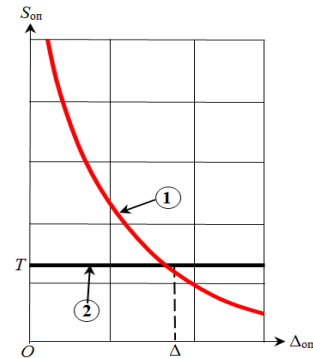


Рис. 3. Расчетная схема балочного моста с резиновой опорной частью а) и график для определения толщины резиновой опорной части б)

Расчет резинометаллической опорной части выполняется в следующем порядке. Сначала определяют тормозную силу, действующую на опору. Для автомобильных и городских мостов нормативные горизонтальные продольные нагрузки от тормозных сил принимаются: в одном направлении с каждой полосы движения - в виде централизованной силы в верхней части проезжей части и равные $0,3P$; $0,6P$; $0,9P$ для пролетов до 25 м, от 25 до 50 м и свыше 50 м соответственно, где P - массы автомобиля в колонне; при многополосном движении в одном направлении тормозная нагрузка распределяется на все полосы.

После определения горизонтальной продольной тормозной силы T приступают к определению горизонтальной сейсмической силы для различных значений Δ . Алгоритм расчета следующие [9].

Первоначальные данные: Δ , δ_{11} , m_1 , m_2 ; Значение k_c -коэффициента сейсмичности принимается в зависимости от балльности на строительной площадке 7; 8 и 9 баллов соответственно 0,025; 0,05 и 0,1 [2, 7, 9].

Порядок расчета таков:

1) Находим коэффициенты: k_1 ; k_2 ; D_1 и D_2 :

$$k_1 = \frac{m_2 \cdot \Delta + \delta_{11}}{m_1 \cdot \delta_{11}}; \quad k_2 = \frac{m_2}{m_1}; \quad (8)$$

$$D_1 = \frac{(1+k_1) - \sqrt{(1+k_1)^2 - 4(k_1-k_2)}}{2(k_1-k_2)}, \quad (9)$$

$$D_2 = \frac{(1+k_2) + \sqrt{(1+k_1)^2 - 4(k_1-k_2)}}{2(k_1-k_2)}, \quad (10)$$

2) Находим динамические коэффициенты β_1 и β_2 :

$$\beta_1 = \frac{1,2\sqrt{D_1}}{2\pi\sqrt{m_1 \cdot \delta_{11}}}; \quad \beta_2 = \frac{1,2\sqrt{D_2}}{2\pi\sqrt{m_1 \cdot \delta_{11}}} \quad (11)$$

если, β_1 или β_2 будут больше 3, то принимать их равными 3.

3) Находим коэффициенты формы η_{11} , η_{21} , η_{12} , η_{22} по формулам:

$$\eta_{11} = \frac{k_2 D_1}{k_2 D_1^2 + (1-D_1)^2}; \quad \eta_{21} = \frac{k_2 D_2}{k_2 D_2^2 + (1-D_2)^2};$$

$$\eta_{12} = \frac{1-D_1}{k_2 D_1^2 + (1-D_1)^2}; \quad \eta_{22} = \frac{1-D_2}{k_2 D_2^2 + (1-D_2)^2} \quad (12)$$

4) Находим сейсмические силы S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} :

$$S_{11} = Q_1 \cdot k_c \cdot \beta_1 \cdot \eta_{11}; \quad S_{21} = Q_1 \cdot k_c \cdot \beta_2 \cdot \eta_{21}$$

$$S_{12} = Q_2 \cdot k_c \cdot \beta_1 \cdot \eta_{12}; \quad S_{22} = Q_2 \cdot k_c \cdot \beta_2 \cdot \eta_{22} \quad (13)$$

5) Находим $S_{оп}$:



$$S_{\text{оп}} = \sqrt{(S_{11} + S_{12})^2 + (S_{21} + S_{22})^2} \quad (14)$$

По полученным значениям $S_{\text{оп}}$ строим кривую 1 графика (рис. 3, б). Пересечение кривой 1 и горизонтальной линии 2 тормозной силы дает оптимальное значение перемещения резинометаллической опорной части Δ .

Определяем оптимальную толщину резиновой опорной части h_p по полученному значению Δ [9].

Для плоских слоистых опорных частей:

$$h_p = \frac{\Delta \cdot F \cdot G}{T} \quad (15)$$

Для слоистых опорных частей с цилиндрической поверхностью

$$h_p = \frac{(\Delta - \alpha_g \cdot r) \cdot F \cdot G \cdot M_H}{T} \quad (16)$$

Из формулы (16) зная h_p можно определить оптимальный радиус кривизны цилиндрической поверхности, когда используются типовые резинометаллические плоские опорные части по ГОСТ 32020 – 2012 при заданной h_p . В этом случае имеем,

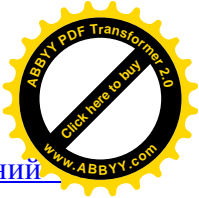
$$r = \frac{1}{\alpha_g} \left(\Delta - \frac{h_p \cdot T}{F \cdot G \cdot M_H} \right) \quad (17)$$

Формула (17) используется для рис. 2 предложенной нами конструкции резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью, когда используются типовые конструкции опор, пролетных строений и резинометаллической опорной части.

Предложенная конструкция опорной части изолирует сейсмические воздействия от пролетного строения на опору и тем самым повышает сейсмостойкость моста [10, 11].

Список литературы

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы/Госстрой России - М.. ФГУП ЦПП, 2005. - 239 с
2. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982.
3. Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений. – М.: Транспорт, 1974.
4. Х. Эггерт, Ю. Гротте, В. Каушке Опорные части в строительстве. Проектирование, расчёт, нормы. М.: Транспорт, 1978. — 359 с.
5. ГОСТ ISO 6446-2016. Межгосударственный стандарт. Изделия резиновые. Опорные части пролетного строения моста. Технические требования к резине. Москва Стандартинформ 2019.
6. ГОСТ 32020-2012. Межгосударственный стандарт. Опорные части резиновые для мостостроения. Технические условия. Москва Стандартинформ 2014.
7. СНиП КР 20-02:2018 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек 2018.
8. Чуднецов В.П. Исследование работы резино-металлических опорных частей с цилиндрической поверхностью для балочных мостов с учетом сейсмических воздействий [Текст] Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук./ В.П.Чуднецов. - Фрунзе: 1971.
9. Апсеметов М.Ч. [Резиновые опорные части балочных мостов в сейсмических районах](#) [Текст] М.Ч.Апсеметов,Н.А. Осмонканов, Т.К. Муктаров, У.С.Турдубай // [Вестник КГУСТА](#). - 2019. - № 3 (65). - С. 484-488.
10. Апсеметов М.Ч. [Сейсмоизоляция зданий и мостов в Кыргызской Республике](#) [Текст] / В книге: XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. сборник материалов конференции (с международным участием) // М.Ч.Апсеметов, А.Е. Айдаралиев, Н.А. Осмонканов /// Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий РАСС. – Москва: 2019. - с. 214-217.



11. Болотбек Т. [Инерционное демпфирование сейсмических сил зданий сооружений со скользящим поясом](#) [Текст] Болотбек Т., К.У.Насырынбекова, Токтогул уулу Ж., А.Б. Болотбеков / [Вестник КГУСТА.](#) - 2019. - [№ 1 \(63\)](#). - С. 127-131.