

М.Ч. Апсеметов – к.т.н., доцент, Д.К. Мурзакматов – старший преподаватель,  
Э.Э. Женишбеков – преподаватель, А.О. Шекеев – магистрант КГУСТА, г. Бишкек

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ**

*В статье анализируется повреждение дорожных сооружений при сильных землетрясениях.*

*Ключевые слова: землетрясение, балл, магнитуда, мост, труба, дорога, здания, опоры, опорные части, пролетное строение.*

M.Ch. Apsemetov – c. t. s., associate professor, D.K. Murzakmatov - Senior Lecturer,  
E.E. Jenishbekov - Lecturer, A.O. Shekeev - graduate student of KSUCTA,  
Bishkek city

## **STUDY OF DAMAGE ROAD STRUCTURES DURING STRONG EARTHQUAKES**

*The article examines the damage to road structures during strong earthquakes.*

*Keywords: earthquake, score, magnitude, bridges, pipes, roads, buildings, supports, bearings, superstructure.*

Землетрясение происходит в сейсмически опасных районах всегда с определенной вероятностью. Предотвратить его невозможно, но можно снизить опасные последствия землетрясений, применяя антисейсмические мероприятия в зданиях и сооружениях.

Кыргызская Республика находится в сейсмически опасных районах, почти вся территория относится к сейсмически опасным районам.

Здания и сооружения, построенные на таких территориях рассчитываются на сейсмические воздействия.

Рассмотрим некоторые сильные землетрясения происходящие в земном шаре.

По данным международного геофизического справочника, каждый год в сейсмически опасных районах земного шара в среднем возникает около 700 землетрясений с магнитудой не менее 5, около 90 – с магнитудой не менее 6 и свыше 12 – с магнитудой 7 и более.

Сильные землетрясения с магнитудой от 5 до 8,5 приводят к большим разрушениям и человеческим жертвам. За всю историю человечества около 80 млн человек погибло от землетрясений и их прямых последствий – пожаров, цунами, обвалов и др.

В течение первой четверти XX века только во время пяти разрушительных землетрясений – в Сан-Франциско и Арцано (1901 г.), Мессине (1908 г.), Кансю (1920 г.) и Токио (1923 г.) погибло около полумиллиона человек. В последующие 25 лет от землетрясений погибало ежегодно в среднем 15 тыс. человек, а материальный ущерб составлял сотни миллионов американских долларов.

К примеру, только Токийское землетрясение 1923 г. в Японии, магнитуда которого 8,2, унесло 143 тыс. человеческих жизней. При этом землетрясении было разрушено 1286261 зданий, 447128 зданий сгорело, 268 зданий смыло морской волной, были зарегистрированы сотни аварий в трубопроводах, разрушены многие мосты и 2270 речных судов. Ущерб, причиненный землетрясением Токио и его окрестностям, составил 3 млрд долларов в ценах 1923 г.

Землетрясение в Сан-Фернандо 1971 г. (США), магнитуда которого 6,6, причинило ущерб около 1 млрд долларов.

При Карпатском землетрясении 4 марта 1977 г. только на примыкающей территории бывшего

СССР обрушилось и сильно пострадало 32827 квартир, десятки тысяч домов получили более легкие повреждения; без жилья остались 34588 человек. Значительный ущерб нанесен химической, машиностроительной, легкой и пищевой промышленности и другим отраслям народного хозяйства. Всего пострадало 703 промышленных, строительных и транспортных предприятий.

При Спитакском 1988 г. землетрясении (Армения) ущерб составил до 20 млрд рублей, погибло более 25 тыс. человек и более 100 тыс. человек получили травмы различной степени тяжести.

Инженерный анализ последствий сильных землетрясений показывает, что хорошо переносят землетрясения «жесткие сооружения» на слабых грунтах и «гибкие сооружения» на плотных грунтах построенные с высоким качеством строительных работ, применением оптимальных конструктивных решений и обоснованного расчета сооружений[4,5].

В результате обследования последствий разрушительных землетрясений накоплен значительный фактический материал, характеризующий сейсмические повреждения дорожных сооружений. Приведем основные обобщающие выводы, полученные на основе анализа имеющихся фактических данных.

Степень повреждаемости дорожных сооружений в зависимости от силы (балльности) землетрясений характеризуется следующими данными: при землетрясениях силой 7 баллов искусственные сооружения практически не страдают; в единичных случаях могут наблюдаться разрушения подпорных стен (преимущественно сухой кладки), оголовка труб, расстройство сопряжений мостов с подходами. При 8-балльных землетрясениях возможны существенные повреждения сооружений всех видов. При силе землетрясения 9 баллов и выше эти повреждения носят массовый характер и могут привести к полному разрушению сооружений. Зависимость эта получена на основе анализа последствий ряда сильных землетрясений, в частности, она подтверждена опытом японских землетрясений в отношении мостов современного типа, осуществляемых с учетом антисейсмических мероприятий.

Фактические данные о повреждениях дорожных сооружений подтверждают также известную зависимость проявления силы землетрясения от местных инженерно-геологических условий. Многочисленные факты показывают, что при рыхлых, слабых грунтах, неустойчивых склонах и берегах повреждения дорожных сооружений усиливаются и увеличиваются в объеме. В частности, при опорах, заложенных на коренных породах, мосты повреждаются в гораздо меньшей степени, чем при опорах на слабых грунтах. Нужно считать, что для больших мостов, опоры которых несут значительные нагрузки, влияние грунтово-геологических условий может быть более существенным, чем для гражданских и промышленных зданий. В тоннелях наиболее сильно повреждаются участки, расположенные в рыхлых водонасыщенных грунтах, то же можно сказать о трубах и подпорных стенах.

Влияние материала сооружения наиболее четко прослеживается на примерах повреждения мостов. Как и следовало ожидать, менее всего повреждаются металлические и железобетонные мосты, наиболее уязвимы каменные и бетонные мосты или конструктивные элементы из этих материалов. Деревянные мосты при хорошем креплении их элементов успешно сопротивляются сейсмическому воздействию.

Ряд примеров выявляет влияние динамических параметров сооружений на развитие сейсмического эффекта. При отдаленных землетрясениях, характеризующихся низкочастотными регулярными колебаниями, наблюдались раскачка и повреждения гибких висячих мостов. Наоборот, в эпицентральной зоне новозеландского землетрясения в условиях высокочастотных колебаний гибкие высокие стальные виадуки оказались неповрежденными.

Анализ имеющихся фактических данных позволяет выявить характерные виды повреждений искусственных сооружений. Для балочных мостов такой характерной деформацией является смещение пролетных строений по подферменным площадкам (вдоль или поперек моста), падение их с опорных частей, а при сильных землетрясениях – и с опор (одним или двумя концами). При этом повреждаются опорные части, крепящие их анкерные болты и оголовки опор. В массивных арочных мостах наиболее уязвимы щековые стены, в сквозных арочных (металлических и железобетонных) пролетных строениях – пятовые и замковые шарниры и соответствующие участки

арок. При значительных смещениях опор возможно полное разрушение арочных мостов. В висячих мостах типичные повреждения связаны со сдвигом анкерных опор, деформацией пилонов, раскачиванием гибких пролетных строений или явлением их динамической неустойчивости.

Повреждения опор носят характер смещения в целом относительно исходного положения или нарушения целостности их частей. Наиболее часто встречающийся вид повреждения устоев – сдвиг, скольжение или наклон в сторону пролета. Промежуточные опоры также испытывают наклоны, смещения в плане и оседание. Разрушение опор происходит в результате сдвига опор по горизонтальному шву или раскрытия шва с опрокидыванием вышележащей части. Трещины и разломы наблюдаются и в фундаментах опор, обычно на небольшой глубине от уровня грунта. Для свайных фундаментов на висячих сваях характерны значительные просадки, наклоны и разломы свай. Для всех видов мостов наиболее уязвимы места сопряжений устоев с подходными насыпями.

В тоннелях наиболее часто повреждаются порталы и припортальные участки. В тоннелях неглубокого заложения, пролегающих в слабых грунтах, наблюдаются повреждения внутренних участков в виде трещин в обделке, разрушения обделки и завалов. Повреждения внутренних участков тоннелей глубокого заложения (особенно при плотных грунтах) следует ожидать лишь при нарушениях тектонического характера (сбросы, пересекающие ствол тоннеля).

Трубы под насыпями претерпевают деформации от разрушения земляного полотна, от повреждения оголовков, трещин в сводах и стенках, нередко и полное обрушение тела трубы. Типичные виды повреждения подпорных стен – сдвиги по шву, раскрытие шва с опрокидыванием вышележащей части, скольжение и опрокидывание стен в целом.

Анализ показывает, что наряду с воздействием сейсмических сил инерции, являющихся основной причиной повреждений, есть еще ряд обстоятельств, самостоятельно вызывающих повреждения или усугубляющих эффект действия инерционной нагрузки. Поэтому для правильного объяснения наблюдаемых повреждений следует учитывать весь комплекс основных факторов сейсмического воздействия, а именно: а) силы инерции горизонтального направления, вызывающие основные сейсмические усилия в сооружении в целом и его частях; б) силы инерции вертикального направления, создающие дополнительные сейсмические усилия, уменьшающие полезный эффект сил трения и снижающие запасы устойчивости сооружения и его частей; в) сейсмическое боковое давление грунта и воды; г) увеличение горного давления; д) снижение несущей способности некоторых (рыхлых, водонасыщенных) грунтов в условиях сейсмического воздействия; е) остаточные деформации грунтов; ж) вторичные явления в виде оползней, смещений неустойчивых пластов грунта и т.д.; з) пересечение сооружения тектоническими нарушениями (сбросы и т.д.).

В зависимости от вида сооружения и инженерно-геологических условий та или иная из указанных причин может играть главенствующую роль.

Для правильной оценки сейсмического эффекта очень важно установить качественный характер сейсмического воздействия. Анализ повреждений искусственных сооружений свидетельствует, что они обыкновенно являются результатом колебательных процессов и что воздействие сил инерции при землетрясениях носит ярко выраженный динамический характер.

Для обеспечения сейсмостойкости дорожных сооружений используют различные методы:

- применение сейсмоизоляции использованием резины, скользящего материалов мостах, труб, галереях, подпорных стенах и др.
- армирование высоких насыпей геотекстилем и другими материалами или уположажение откосов насыпи.
- укрепление откосов и склонов подпорными стенками.

Обеспечение необходимой сейсмостойкости дорожных сооружений является задачей комплексной, решение ее связано с многими факторами, оказывающими влияние на сейсмостойкость инженерных сооружений, однако необходимой основной предпосылкой является глубокий комплексный анализ поведения сооружений при землетрясении. На основе такого анализа в практике проектирования сейсмостойких мостов выработаны определенные формы защитных антисейсмических мероприятий, соблюдение которых в определенной степени обеспечивает сейсмостойкость моста.

В настоящее время, как за рубежом, так и в нашей стране получают распространение специальные опорные части, созданные на основе принципа изоляции сейсмических воздействий. В качестве примера, заслуживающего внимания, можно привести конструктивные решения, которые были приняты в Италии при строительстве виадуков на автомобильных дорогах, проходящих через районы, где в 1976 и 1980 гг. были сильные землетрясения [9].

Один из виадуков выполнен по схеме 20x40 м с пролетным строением в виде неразрезной коробчатой трапецеидальной балки из предварительно напряженного бетона, опертым на скользящие в любом направлении подушки на всех опорах. Швы расширения устроены только на устоях. Продольные сейсмические воздействия воспринимаются на одном из устоев упругопластическим амортизатором, работающим сначала в упругой стадии, а затем в пластической. Поперечные сейсмические воздействия воспринимаются на каждой опоре упругими резиновыми подушками, не препятствующими продольному скольжению.

Аналогичные, но более усовершенствованные конструктивные решения получило применение на строительстве мостов и виадуков на автостраде, проходящей на границе между Италией и Австрией. Уменьшение продольных нагрузок на пилоны достигается путем применения демпферов, поглощающих энергию колебаний при сейсмическом воздействии. Демпферы размещены в зонах опирания на береговые устои концевых участков пролетных строений мостов и виадуков. Каждый демпфер представляет собой полый неопреновый цилиндр диаметром 1 м со стальными пластинами по торцам. При нагружении цилиндрические демпферы деформируются, причем их диаметр может увеличиться до 2,6 м. При сейсмическом воздействии каждый демпфер воспринимает усилие до 100 т. Количество демпферов определяет протяженность сооружения.

В странах СНГ обеспечение сейсмостойкости сооружений в основном осуществляется путем устройства конструктивных дополнительных элементов, не участвующих в работе сооружения на эксплуатационные усилия. К таким конструктивным элементам относятся специальные дополнительные шарнирные устройства, закрепленные в шкафной стенке устоя, или устройство по концам насадок стоечных опор ограничителей бокового смещения пролетных строений и др.

Получившие в последнее время большое распространение резиновые опорные части могут обеспечить надежную работу моста на сейсмическую нагрузку, снижая сейсмические воздействия на опору и на пролетные строения.

Повышенной сопротивляемостью к сейсмическим воздействиям обладают резиновые опорные части с цилиндрической поверхностью. Применение их в определенной степени исключает соскакивание пролетных строений с опор, но достигается это за счет снижения податливости опорных частей горизонтальному воздействию, что приводит к повышению сейсмического воздействия на опору. Опорные части такого типа применены на путепроводе в г. Бишкек.

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

По предложению и рекомендации Фрунзенского политехнического института проектным институтом Киргиздортранспроект 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.

Подферменная плита выполнена из железобетона и помещена в нишу оголовка опоры. На дно уложен стальной лист с хромированной наружной поверхностью. Боковая поверхность ниши выложена по всему периметру демпфером. Опирается подферменная плита на дно ниши через фторопластовые антифрикционные прокладки. На опорной плите размещаются опорные части. К поверхности оголовка опоры жестко крепятся стальные пластины, имеющие отверстия над подферменной плитой. Через отверстие пластины в стальную трубку, запрессованную в плиту, вставляется металлический стержень. Подферменная плита становится подвижной после среза штырей во время сильного землетрясения. Опорная часть такого типа получила применение на мостовом переходе через р. Чу на автомобильной дороге ущелье Кувак – урочище Тюкдук в районе с

сейсмичностью 9 баллов.

Применение описанной конструкции опорной части позволило снизить расчетную сейсмичность на один балл.

В нашей республике и за рубежом предложены многие конструкции сейсмостойких опор и опорных частей для балочных мостов.

Предлагаемые конструкции направлены на снижение воздействия сейсмической нагрузки на опоры и пролетные строения путем их изоляции сооружения от сейсмического воздействия. В работах 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 огибают высокопрочный трос, закрепленный по концам сжимами. В работах предложены сейсмоизолирующие устройства, которые после землетрясения над опорной частью сооружения примут первоначальное положение за счет восстанавливающей гравитационной силы. В работах предложены 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.

В работе предложены конструкции трубы и лавинозащитной галереи с сейсмоизолирующими узлами. В качестве сейсмоизолирующего материала применен фторопласт. Предложенные конструкции снижают сейсмическое воздействие на оголовок трубы и на лавинозащитную галерею соответственно. Конструкция лавинозащитной галереи снижает не только сейсмическое воздействие, но и воздействие камнепадов и лавин.

В заключении можно отметить, что при строительстве дорожных сооружений (дорог, мостов, железнодорожных путей, подпорных стен и др.) в сейсмических районах надо соблюдать требования СНиП по сейсмостойкому строительству или применять специальные конструктивные мероприятия, снижающие сейсмические воздействия на дорожные сооружения в целом.

#### Литература:

1. **Джанузаков, К.Д.** Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики [Текст] / О.К. Федия, К.Е. Абрахматов, А.Т. Турдуканов // Бишкек: Илим, 1996. 24 с.
2. **Жунусов, Т.Ж.** Основы сейсмостойкого сооружений. Алма-Ата, 1990.
3. **Жунусов, Т.Ж.** Повреждение зданий и сооружений в Джамбуле при землетрясениях 10 мая 1971 года [Текст] / Аубакиров А.Т. и др. // Алма – Ата, Казахстан 1974. 139 с.
4. **Карцивадзе, Г.Н.** Повреждение дорожных сооружений при сильных землетрясениях [Текст] М.: Транспорт, СУБД, 56 с.
5. **Карцивадзе, Г.Н.** Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений [Текст] М.: Транспорт, 1974, 263 с.
6. **Абдужабаров, А.Х.** Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог [Текст] Бишкек, 1996, 226 с.
7. **Карцивадзе, Г.Н.** Сейсмостойкое строительство за рубежом [Текст] / С.В. Медведев, Ш.Г. Напетваридзе // М. 1962. 223с.
8. **Дорман, И.Я.** Сейсмостойкость транспортных тоннелей [Текст] М.: Транспорт 1986. – 175 с.
9. **Гольденблат, И.И.** Проектирование гидротехнических, транспортных и специальных сооружений. [Текст] / Завриев К.С. и др.// Москва, Издательство литературы по строительству, 1971. 280с.
10. **Хучбаров, З.Г.** Сейсмостойкий мост. А.с. № 990935, 1983, А.с. № 1041616, 1983. а.с. №1090786, 1985

11. **Хучбаров, З.Г.** Сейсмоизоляция автодорожных мостов [Текст] Фрунзе, КиргИНТИ.1986.60с.
12. **Чуднецов, В.П.** Опорная часть моста. А.с. № 579371, 1977, А.с. № 779497, 1980, А.с. № 781256, 1980, А.с. № 804754, 1980.
13. **Чуднецов, В.П.** Опора моста. А.с. № 114654, 1985, решение Госкомизобретений на выдачу а.с., заявка № 3506149/29-33, 1984. [Текст] / Хучбаров З.Г.//
14. **Шестоперов, Г.С.** Сейсмостойкость мостов. [Текст] М.: Транспорт, 1984, с.143.
15. **Ценов, Л.** Система с включищи ее врезки, подложена на реалносенулично воздействие. Механика [Текст] / С. Димова // 1985, с. 492-496.
16. **Саргсян, Г.А.** Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами [Текст] / Джинчвелашвили Г.А. //Транспортное строительство. №11, 1998. с19-22.
17. **Чуднецов, В.П.** Фундамент опоры моста. А.с. СССР №1726634 от 15.04.92, бюлл.№14. [Текст] / М.Ч. Апсеметов //
18. Чуднецов В.П., Опорная часть моста А.С. СССР №1812264 от 30.04.93, бюлл.№16. [Текст] / М.Ч. Апсеметов //
19. **Апсеметов, М.Ч.** Фундамент опор моста. А.с. СССР №1717694 от 07.03.92 г. бюлл.№9. [Текст] / В.П. Чуднецов //
20. СНиП КР 20 – 02: 2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирование. – Бишкек, 2009, С. 48-50.
21. СНиП П–7–81\*«Строительство в сейсмических районах» – М.:ФГУП, 2007, - 44 с.
22. Анализ последствий землетрясений при обследовании объектов транспортного строительства (США) //Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. М.: ВНИИС, сер. 14, вып.9, 1982, с.29-33.