

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Асрор Чориевич Хуррамов

Институт механики и сейсмостойкости им. М. Т. Урозбоева младший научный сотрудник

asrorbekxuramov@mail.ru

Илхомжон Юсуфжонович Мирзаолимов

Ташкентский государственный транспортный университет ассистент

Шахзод Шухратович Сафаров

Ташкентский государственный транспортный университет ассистент

АННОТАЦИЯ

В связи с тем, что современное мостостроение ставит перед собой задачу строительства новых мостовых сооружений в сейсмически активных районах, где землетрясения или другие внешние воздействия носят постоянный характер, встает острый вопрос о защите сооружения от этих воздействий. Статья посвящена анализу способов защиты мостового сооружения от внешних воздействий.

Ключевые слова: мостовое сооружение; опорная часть; диссипация энергии; системы активной сейсмозащиты; внешнее воздействие.

METHODS OF PROTECTION OF BRIDGE STRUCTURES FROM EXTERNAL INFLUENCES AND THEIR COMPARATIVE ANALYSIS

ABSTRACT

Due to the fact that modern bridge construction sets itself the task of building new bridge structures in seismically active areas where earthquakes or other external influences are permanent, an acute question arises about the protection of the structure from these influences. The article is devoted to the analysis of ways to protect a bridge structure from external influences.

Keywords: bridge structure; supporting part; energy dissipation; active seismic protection systems; external impact.

ВВЕДЕНИЕ

Мостовое сооружение является одной из важнейших составляющих транспортной инфраструктуры, и без него функционировать она не будет.

В настоящее время современное мостостроение ставит перед собой «задачу» строительства мостовых сооружений, будь то эстакада, виадук или же экодук, в регионах с повышенным сейсмическим воздействием (сейсмичность в таких районах достигает 7 баллов и более). Встает вопрос об устройстве специальных дополнительных систем активной сейсмозащиты [1]. Эти системы активной сейсмозащиты используются, как некая альтернатива обеспечению сейсмостойкости конструкций сооружения. До усовершенствования технологий по защите мостовых сооружений от сейсмических воздействий сейсмозащиту конструкций увеличивали путем, к примеру, увеличения сечений основных несущих элементов, воспринимающих нагрузку. Затем, пошла деконструкция основных способов решения данной «задачи». Путем устройства систем активной сейсмозащиты снижаются инерционные сейсмические нагрузки. На выбор способа защиты конструкций от внешних воздействий влияет множество различных факторов, в связи с этим необходимо выбрать максимально эффективный способ защиты [2].

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

Научные теоретические и экспериментальные исследования по современной сейсмостойкости сооружений проведены такими крупными учеными мира, занимающимися сейсмогашением и сейсмоизоляции на мостах, как M. Bio, D. Kelly, K. Kubo, Sh. Okamoto, M.N. Fardis, D.J. Barr, B. Robinson, R. Skinner, D. Kollings, R. Gomes, X. Iemura, P. Huber, S. Infanti, E. Djenarimo, L. Di Sarno, Хознер и др., а в постсоветском пространстве, А.Д. Абакаров, В.А. Быховский, М.Ф. Барштейн, Г.Н. Карцивадзе, Ш.Г. Напетваридзе, И.Л. Корчинский, С.В. Медведев, В.С. Поляков, А.М. Уздин, Т.А. Белаш, В.А. Ильичев, В.И. Смирнов, Э.Е. Хачиян, Е.Н. Курбацкий, Г.С. Шестоперов, И.О. Кузнецова, С.А. Шульман, З.Г. Хучбаров, Б.Г. Коренев, А.А. Никитин, А.Ю. Симкин, Т.В. В нашей республике научно-исследовательские работы по вопросам сейсмостойкости искусственных сооружений проводились В.Т. Рассказовским, М.Т. Уразбаевым, К.С. Абдурашидовым, Т. Рашидовым, Г.Х. Хожметовым, А.Х. Абдужабаровым, А.А. Ишанходжаевым, М.Х. Миралимовым и другими учеными [3].

В качестве методов защиты будут рассматриваться:

- Деформационные швы.
- Опорные части.
- Демпферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Абсолютно все мостовые сооружения, а в особенности большепролётные, являются уязвимыми для внешних воздействий, например, землетрясений [2]. На это есть две основные причины [4]:

1. Мосты обладают малым демпфированием ($\leq 5\%$ от критического).

2. Диапазон собственных частот мостовых сооружений находится в области доминирующих частот сейсмических воздействий.

Исходя из этого, а также из-за печальных зачастую последствий землетрясений за последние годы по всему миру, анализ внешних воздействий привел к тому, что были полностью пересмотрены базовые методы расчёта мостов на сейсмостойкость. Данным вопросом всерьёз занимались научные и проектные институты по всему миру, вследствие чего появилось нововведение, которое получило распространение при совершенствовании зарубежных норм. Этим нововведением является переход на многоуровневое проектирование сейсмостойких конструкций. В западных нормах, например, расчёт производится на воздействие землетрясения 2 различных уровней, в Японии – 3 уровней. Этот подход имеет преимущества с двух сторон [4]:

1. Обеспечивает надёжную работу мостовых сооружений в районах с повышенной сейсмической активностью.

2. Позволяет сэкономить значительные средства (материал, бюджет и т. д.).

При расчёте мостового сооружения на воздействие землетрясений первого типа эти сооружения должны рассчитываться таким образом, чтобы при таком сейсмическом воздействии не появилось повреждений, нарушающих эксплуатационные характеристики конструкций. Данный уровень землетрясения в отечественной практике называется проектным землетрясением (все элементы конструкций должны работать в упругой стадии и не должно возникнуть необходимости в ремонте).

При расчёте мостового сооружения на воздействие землетрясений второго типа (значительно выше первого) эти сооружения должны рассчитываться таким образом, чтобы при таком сейсмическом воздействии не произошло разрушений основных несущих конструкций, при возможных, в

свою очередь, повреждения отдельных элементов мостового сооружения (при этом сохраняется ремонтпригодность сооружения). Данный уровень землетрясения в отечественной практике носит название «максимальное расчетное землетрясение».

На предварительном этапе расчёта для выбора систем защиты искусственных сооружений от внешних воздействий (сейсмоизолирующих) используются статические расчёты с эффективными эквивалентными характеристиками устройств [5]. Окончательный расчёт выполняется с использованием нелинейных характеристик. Расчёт искусственных сооружений с учётом нелинейного и пластического поведения материала требует серьезной подготовки инженеров-проектировщиков, а также применения сложных расчётных моделей. С прогрессом строительной отрасли также появились мощные программные комплексы, способные производить такого рода расчеты, например, такие как: Lira, Midas, Stark ES, CREDO МОСТ, ABAQUS, SOLID EDGE и другие [5].

Основной концепцией сейсмоизоляции является процесс разъединения основания и самого искусственного сооружения. К сожалению, это практически не реализуемая идея. Возможно установить сооружение на упругие опоры и частично снизить энергию, передаваемую сооружению, однако полностью разъединить сооружение и его основание не представляется возможным, поэтому колебания основания всегда будут передаваться сооружению [2].

Деформационные швы

Мостовое сооружение, а также дорожное покрытие на мосту нуждаются в специальных устройствах, обеспечивающих возможность пропуска транспортного потока по мостовому сооружению. Эти устройства также должны предотвращать просачивание воды, пыли, грязи и мусора для увеличения срока службы мостового сооружения в целом. Роль такого рода устройств в современном мостостроении выполняют **деформационные швы**. Подробное изучение поведения и применения конструкций деформационных швов представлены в [6,7].

В соответствии с эксплуатационными, технологическими, эстетическими параметрами и нормативами надежности и долговечности, к деформационным швам предъявляется ряд требований, а именно:

1. Деформационные швы должны обеспечивать хорошее качество проезда по ним, устойчивость к скольжению, не должны представлять опасности для

любого класса участников дорожного движения, включая велосипедистов, пешеходов и животных.

2. Соответствие условиям безопасности (исключение буксования и прокалывания шин).
3. Возможность осмотра и технического.
4. Деформационные швы должны обеспечивать возможность перемещения концов пролётных строений без перенапряжения и повреждения как пролетных строений, так и элементов самих швов в течение их проектного срока службы.
5. Должны быть грязе- и водонепроницаемые.
6. Возможность работы конструкции деформационного шва в заданных диапазонах температур.
7. Невосприимчивость поверхности деформационного шва к воздействию солнечных лучей, нефтепродуктов, солей, а также стойкость к воздействию льда, снега и песка [5].
8. Деформационный шов должен быть един по всей ширине мостового сооружения, включая пешеходную зону.
9. Монтаж и крепление деформационного шва к пролетному строению должно осуществляться строго в соответствии с инструкциями изготовителя.
10. Сопротивление скольжению деформационного шва должно быть по меньшей мере равно минимальному требованию к покрытию прилегающей проезжей части в течение всего срока его эксплуатации.
11. Все ограниченные по расчетному сроку службы компоненты шва должны быть спроектированы таким образом, чтобы их можно было легко заменить с минимальными задержками для участников дорожного движения [6].

Опорные части

Опорные части являются одними из самых важных и жизненно необходимых конструктивных элементов мостовых сооружений. Они обеспечивают расчетные условия работы всех конструкций – пролетных строений, опор, примыкающих к мосту насыпей подходов [4].

Опорные части – это конструктивные элементы мостового сооружения, предназначенные для передачи опорных реакций от пролетных строений на опоры и обеспечение угловых и поступательных перемещений опорных сечений пролетных строений в соответствии с расчетной схемой опорных закреплений.

Демпфирующие устройства

Демпферы – это дополнительные конструктивные элементы в мостовом сооружении, которые непрерывно и специально уменьшают энергию, вносимую в конструкцию в результате воздействия внешних факторов (в нашем случае землетрясения), тем самым предотвращая появление повреждений из-за горизонтального ускорения и скачков движения. Для этого используются демпфирующие свойства различных материалов и жидкостей. На сегодняшний день доступны как деформационные и зависящие от скорости, так и адаптивные системы.

В виду того, что в России, США и других странах мира до недавнего времени отсутствовали четкие руководства по расчёту, проектированию и установке сейсмоизолирующих устройств для мостовых сооружений, в частности демпферов, то использовались нормативные документы и руководства, разработанные для зданий и подобных им сооружений. Так как демпфирующие устройства появились и стали использоваться в последнее время, то их рабочие характеристики определяются в результате испытаний [7].

Стоит отметить, что в ряде стран уже разработаны современные руководства и требования, которые необходимо выполнять при испытаниях демпфирующих устройств, например, в Германии, Швейцарии, Великобритании.

ОБСУЖДЕНИЕ

Диссипация (рассеивание) энергии, вызванной землетрясением или другим внешним воздействием, через неупругий (нелинейный) отклик в отдельных элементах конструкции самого искусственного сооружения [5]. Такая реакция связана со структурными повреждениями, ведущим к ряду последствий, а именно:

1. Прямые (капитальные) потери (стоимость ремонтных работ).
2. Косвенные потери (возможное закрытие или перенаправление путей сообщения, что ведет к экономическим потерям).
3. Жертвы среди населения (травмы и гибель людей).

Важно отметить, что традиционные методы сейсмического анализа и проектирования не позволяют точно оценить структурные деформации и повреждения, что делает невозможным прогнозирование вероятности прямых и косвенных потерь и жертв. Для этого используют методы анализа сейсмически изолированных мостов, которые состоят из:

- Одномодового или упрощенного метода.
- Многомодового или спектрального метода отклика.
- Метода анализа истории отклика.

Метод анализа истории отклика является наиболее точным методом анализа и может быть реализован в различных программных комплексах разной сложности [7].

Резюмируя изложенное, можно сказать, что расчёт, проектирование и конструирование сейсмоизоляции заключается в следующих действиях:

1. В выборе конструкции сооружения, собственные частоты которого не попадают в область доминирующих частот сейсмических воздействий.
2. В установке сооружения на упругие опоры, минимизирующие передачу энергии на сооружение.
3. В установке дополнительных демпфирующих устройств, рассеивающих энергию, поступающую в сооружение при землетрясениях или других внешних воздействиях [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение данной работы следует отметить, что применение любых способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий является рациональным путём достижения требуемого уровня сейсмостойкости сооружения, а также, приведенные выше способы защиты мостовых сооружений от внешних воздействий должны приниматься на основе:

- конкретных данных о геологии строительной площадки;
- расчётов на сейсмические воздействия;
- нормативных документов, руководств по тестированию и использованию сейсмоизолирующих устройств;
- в обязательном порядке после проведения натурных испытаний.

На основе анализа способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий была скомпонована сводная таблица.

Сводная таблица способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий

Способ защиты	Описание ключевых факторов
Деформационные швы	1. Одним из важных факторов является уровень допускаемых повреждений мостового сооружения при воздействии на него не нормативных нагрузок извне.

	<p>2. На выбор деформационного шва влияет топография строительной площадки (сейсмически активная или нет).</p> <p>3. Деформационный шов должен быть способен выдерживать нагрузки и перемещения без повреждения поверхности или несущей конструкции в течение всего срока их службы.</p> <p>4. В сейсмически активных районах строительства компенсатор должен допускать большие по величине продольные и поперечные перемещения.</p> <p>5. Должен отвечать требованиям проектной и нормативной документации.</p>
Опорные части	<p>1. Предъявляемые к сейсмоизолирующим опорным частям требования должны включать в себя ограничения на максимальные допускаемые поперечные перемещения при воздействии обычных термальных и сейсмических, а также ветровых нагрузок.</p> <p>2. Должны обладать определённой жесткостью.</p> <p>3. Должны обладать способностью рассеивать энергию.</p>
Демпферы	<p>1. Не должны увеличивать жёсткость конструкции.</p> <p>2. Должны иметь возможность использования при больших величинах сил и перемещений.</p>

REFERENCES

1. Раевская А.А. Технические решения сейсмозащиты мостов / А.А. Раевская, А.О. Быков, А.И. Платицына // Сборник статей международного научнопрактического конкурса МЦНС «Наука и просвещение» – 2017. – Т.1, №2. – С. 211–239.
2. Курбацкий Е.Н. Сейсмоизолирующие устройства для мостов. Учебное пособие: М.: МИИТ, 2010. – 73 с.
3. Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. Features of the theory of a two-mass system with a rigidly connected end of the bridge, in consideration of seismic influence on high-speed railways // European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 2020. Vol.7, Issue 2 – Pp. 1160-1166. (№3. Scopus. IF=8.1).

4. Берлов С.А., Овчинников И.И. Сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №2, <https://t-s.today/PDF/20SATS220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/20SATS220.
5. Mars Berdibaev, Batir Mardonov and Asror Khurramov. Vibrations of a Girder on Rigid Supports of Finite Mass Interacting With Soil under Seismic Loads. E3S Web of Conferences 264, 02038 (2021). CONMECHYDRO – 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402038>.
6. Бердибаев М. Ж., Намозов Ш. З., Хуррамов А. Ч., Эгамбердиев И. Б. Причины возникновения солевой коррозии железобетонных элементов конструкции. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2020. № 42 (332). С.: 23–25. URL: <https://moluch.ru/archive/332/74187/> (дата обращения: 25.08.2021).
7. Nematilla Nishonov, Diyorbek Bekmirzaev, Akbar Ergashov, Ziyoviddin Rakhimjonov and Asror Khurramov. Underground polymeric l-shaped pipeline vibrations under seismic effect. E3S Web of Conferences 264, 02037 (2021). CONMECHYDRO – 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402037>.