Научная статья
УДК 699.841

СЕЙСМОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ

В.Д. Кудрявцева[1], Я.В. Афанасьева[1,2, *]

[1] Российский университет транспорта, Москва, Россия
[2] Российская инженерная академия, Москва, Россия
[*] E-mail: info.tupolev@yandex.ru

Аннотация. В статье отражена важность транспорта и транспортной инфраструктуры в современном мире; приведены исторические аспекты, касающиеся проведенных исследований и внедрению разработок по улучшению конструкции мостов, устойчивых к сейсмическому воздействию; представлены данные о действиях, предпринимаемых для защиты объектов инфраструктуры от сейсмической активности; рассмотрено применение новых решений в использовании сейсмозащитных устройств при строительстве мостов в регионах, с повышенной сейсмической активностью; указаны методы зашиты мостовых сооружений от сейсмических воздействий; приведены данные из Свода правил СП 14.13330.2018, касающиеся строительства в сейсмических районах; дана ссылка на расчет прочности и устойчивости несущих конструкций мостов с учетом сейсмических нагрузок; сделаны выводы, касающиеся защиты мостовых сооружений от внешних воздействий.

Ключевые слова: *сейсмозащитные устройства; сейсмическая активность; транспорт; транспортная инфраструктура; мостовые сооружения; мосты.*

Для цитирования: Кудрявцева В.Д., Афанасьева Я.В. Сейсмозащитные устройства при строительстве мостов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10. №2. С. 103–110.

Original article

SEISMIC PROTECTION DEVICES IN BRIDGE CONSTRUCTION

V.D. Kudryavtseva [1], Ya.V. Afanasyeva[1,2, *]

[1] Russian University of Transport, Moscow, Russia
[2] Russia; Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia
[*] E-mail: info.tupolev@yandex.ru

Abstract. The article reflects the importance of transport and transport infrastructure in the modern world; provides historical aspects related to the research and implementation of developments to improve the design of bridges resistant to seismic effects; presents data on actions taken to protect infrastructure facilities from seismic activity; considers the application of new solutions in the use of seismic protection devices in the construction of bridges in the regions, with increased seismic activity; methods of protection of bridge structures from seismic influences are indicated; data from the Code of Rules of SP 14.13330.2018 concerning construction in seismic areas are presented; a reference is given to the calculation of the strength and stability of bearing structures of bridges taking into account seismic loads; conclusions are drawn regarding the protection of bridge structures from external influences.

Key words: *seismic protection devices; seismic activity; transport; transport infrastructure; bridge structures; bridges.*

© Кудрявцева В.Д., Афанасьева Я.В. 2024

For citation: Kudryavtseva V.D., Afanasyeva Ya.V. Seismic protection devices in bridge construction. Journal of Science and Education of North-West Russia. 2024. V.10, No.2, pp. 103–110.

Транспорт и транспортная инфраструктура имеют очень важное значение для жизнеобеспечения территорий, подверженных частым сейсмическим воздействиям, особенно в густонаселенных районах, с развернутой инфраструктурой. Экологические и природные аспекты, а также определенные параметры объектов, строящихся в районах, подверженных частым сейсмическим воздействиям, требуют индивидуального подхода и использования определенных сейсмозащитных устройств. Меры по защите объектов необходимо принимать на этапах проектирования и строительства, а также контролировать возможные разрушения уже возведенных объектов. При проектировании объектов, предназначенных для строительства в районах с повышенной сейсмикой, их сейсмостойкость стандартно обеспечивается путем повышения несущей способности конструкций за счет увеличения размеров несущих элементов и прочности материалов, а также прочих конструктивных мероприятий. При сильных землетрясениях такие объекты строительства, как мосты, часто подвержены значительным разрушениям. Транспортировка людей и грузов при этом замедляется или останавливается вовсе. Усиление конструкций должно способствовать исключению любых повреждений при незначительных сейсмических воздействиях, ограничить повреждаемость объектов при сейсмических воздействиях средней интенсивности и дать возможность быстро восстановить поврежденные объекты после сейсмических воздействий значительной, разрушающей силы. В настоящее время данная проблема актуальна и поиск ее решений имеет высокую значимость.

Самые ранние данные о действиях, предпринимаемых для защиты объектов инфраструктуры от сейсмической активности относятся к Японии. После мощнейшего землетрясения, произошедшего в 1891 году, в Японии началось строительство массивных опор мостов с контурированием боковых граней в виде парабол (рис. 1, 2).



Рисунок 1 - Железнодорожный мост через реку Нагара-гаву, Япония, разрушенный землетрясением 1891 года.
Источник: https://earth-chronicles.ru/news/2018-12-04-122696;



Рисунок 2 - Мост через реку Нагара-гаву в настоящее время.
Источник: https://structurae.net/en/structures/nagaragawa-bridge

Поперечные сечения опор были увеличены в размерах и это позволило повысить стойкость и выносливость конструкций от разрушений при значительных сейсмических воздействиях [1].

После землетрясения 1923 года, которое привело к значительным разрушениям зданий и сооружений, в Японии стали активно использовать опоры с уменьшенной массой в виде железобетонных столбов, объединенных поверху ригелем. В США, после Калифорнийского землетрясения 1906 года, разрушившего многие крупные и значимые здания и сооружения, также стали проводить на ранних этапах строительства, определенные мероприятия, способствующие защите мостовых конструкций. А в Италии, при строительстве мостов, были применены необычные технические решения, которые прошли практическую проверку на сейсмостойкость во время землетрясений в областях Фриули (1976 год) и Кампания (1980 год).

Во времена СССР уделялось значительное внимание обеспечению сейсмической безопасности объектов. Исследования и разработки по конструкциям мостов, устойчивым к сейсмическому воздействию, в Советском Союзе выполнялись в отраслевых научно-исследовательских и проектных институтах. Специалистами того периода были созданы сверхнадежные, и в то же время экономичные, конструкции сейсмостойких опор и опорных частей, а также облегченных пролетных строений и антисейсмических устройств. Эксплуатация подобных конструкций значительно уменьшала расход материалов на защиту сооружений от землетрясений, сохраняя при этом их высокую надежность. В 1981 году, в соответствии с проектом Гипротрансмоста был построен совмещенный мост из металла рамной системы, в сложнейших ландшафтных условиях, где ширина преодолеваемого каньона поверху достигала 260 м, глубина - 100 м, а высокая сейсмичность района – 8-ми баллов (рис. 3). Все эти аспекты предопределили выбор конструктивных решений - при строительстве было возведено сквозное пролетное строение рамной системы из металла, преимущество которого заключалось в отказе от сооружения высоких промежуточных опор с объемом железобетона примерно 2400 м³. Железнодорожный путь был пропущен по без балластной железобетонной плите, а движение автомобилей осуществлялось по металлической ортотропной плите. Устойчивость моста против опрокидывания сейсмической нагрузкой, действующей поперек оси пути, обеспечивалась расширением наклонных стоек в нижней части до 24 м. На опорах были установлены антисейсмические

устройства, которые препятствовали приподниманию опорных узлов ригеля и поперечному сдвигу рамы.



Рисунок 3 - Нор-Ачинский мост через ущелье реки Раздан, Армения, 1981 год.
Источник: https://bangkokbook.ru/poezdki/mosty-armenii.html

При строительстве мостов в СССР также большое распространение получили сборно-монолитные опоры по типовым проектам, а также опоры из нетиповых блоков. Такие конструкции применялись не только в безопасных, не подверженных сейсмике районах, но и в сейсмически опасных (рис. 4). В период распада Советского Союза и далее, по причине снижения финансирования и ряда других проблем, сейсмическая безопасность не рассматривалась как остро актуальная проблема и многие проекты и разработки были «заморожены» на неопределенное время.



Рисунок 4 – Бетонные опоры моста установленные по типовому проекту.
Источник: https://stroiteh-msk.ru/obzory/ustrojstvo-betonnyh-opor-mostov.html

Мост является одной из важнейших составляющих транспортной инфраструктуры. Все мостовые сооружения, без исключения, а в особенности широко пролётные, являются очень уязвимыми для внешних воздействий. Мосты имеют малое демпфирование (≤ 5 % от критического), а диапазон собственных частот мостовых сооружений находится в области доминирующих частот сейсмических воздействий. В соответствии с СП 14.13330.2018. Свод

правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81 (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 N 309/пр), расчет мостов с учетом сейсмических нагрузок следует выполнять на прочность и устойчивость несущих конструкций, а также по несущей способности грунтовых оснований фундаментов мостовых опор и по предельным относительным линейным и угловым перемещениям в плане смежных секций моста, разделенных деформационным швом. При разработке мер антисейсмической защиты мостов следует учитывать постоянные нагрузки (воздействия), нагрузки от подвижного состава, включая силы торможения, силы трения в подвижных опорных частях и сейсмические нагрузки. С порядком расчетов на сейсмические нагрузки, прочность и устойчивость несущих конструкций и т. п. можно ознакомиться в Своде правил, указанном выше.

На сегодняшний день, главным способом защиты мостов от негативных внешних воздействий, считается сейсмоизоляция опор за счет устройства податливых сейсмоизолирующих опорных частей [2-5]. Одними из самых важных и жизненно необходимых конструктивных элементов мостовых сооружений являются опорные части. Для всех конструкций они обеспечивают расчетные условия работы. Тангенциальные скользящие или шаровые сегментные опорные части, используемые в качестве опоры для пролетных строений, не имеют мелких деталей и способствуют свободному перемещению строения относительно опоры исключая деформации каких-либо элементов (рис. 5).

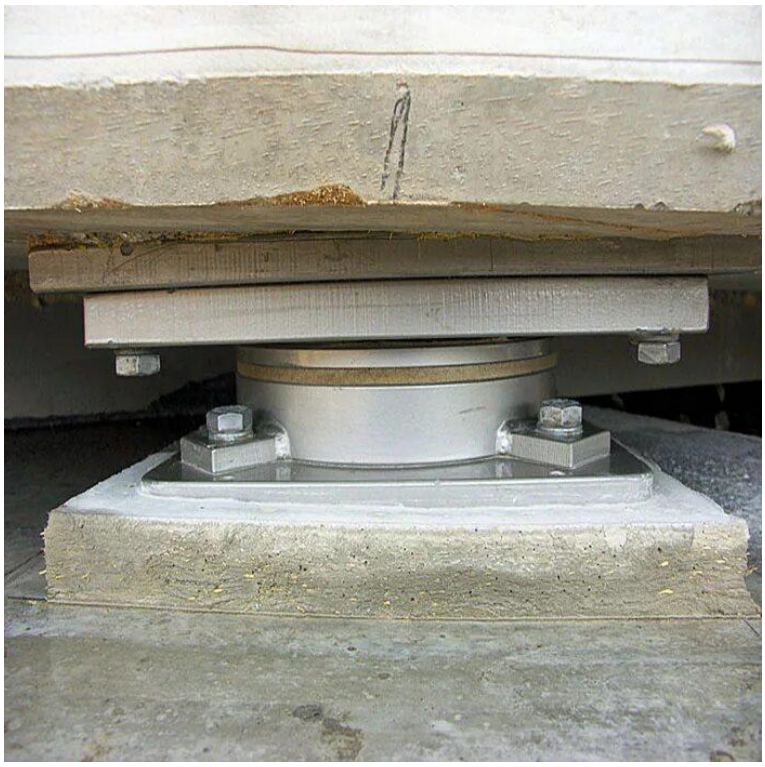


Рисунок 5 – Шарово-сегментная опорная часть моста.
Источник: https://avatars.mds.yandex.net/i?id=698347d887549a12bf633ef270e7ca84_l-4255244-images-thumbs&n=13

Их эффективность при совместной работе с амортизаторами, демпферами и другими антисейсмическими устройствами очень высока, также при их использовании минимизируются ремонтные и восстановительные работы и прочие затраты на обеспечение сейсмостойкости объектов. Резиновые или шаровые сегментные металлические опорные части широко используются в мировой практике (рис. 6).



Рисунок 6 - Пример современного мостостроения – мост Благовещенск — Хэйхэ, 2022 год.
Источник: https://prim.rbc.ru/prim/freenews/6567f57e9a79471b56d88fa8

В последние время одним из наиболее используемых методов зашиты мостовых сооружений от сейсмических воздействий является использование фрикционных опорных частей. Принцип действия заключается в поглощении энергии за счёт работы сил трения и ее рассеяния в виде тепла в окружающее пространство. У таких опорных частей присутствует широкий диапазон частот, в котором они уменьшают амплитуды колебаний элементов конструкций мостового сооружения. Фрикционные опорные части уменьшают силы, передающиеся на пролётное строение, за счет того, что пролётное строение перемещается на опорных частях с малым коэффициентом трения. Максимальная сила между поверхностями, по которым происходит скольжение, является предельной, передающейся на сейсмоизолированную часть сооружения [6; 7].

Применение любых способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий является правильным путем для достижения требуемого уровня сейсмостойкости сооружения. 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 Российской Федерации разработкой систем защиты объектов инфраструктуры от сейсмических воздействий занимаются ООО «СК Стройкомплекс-5» совместно с ОАО «Трансмост», ЗАО «Машстроймост-СПб» и специалистами ПГУПС. Для установки сейсмоизолирующих устройств в конструкцию мостовых сооружений в настоящее время используются нормативные документы и руководства, разработанные для зданий и подобных им сооружений, причем в России, США и других странах до недавнего времени отсутствовали четкие руководства по расчёту, проектированию и установке подобных устройств [8-10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абовский Н.П., Инжутов И.С., Сибгатулин В.Г. и др. Сейсмозащитные устройства: актуальные проблемы сейсмобезопасности // Под редакцией Н.П. Абовского. Красноярск: Изд-во: Сибирского федерального университета, 2013. 98 с.
2. Курбацкий Е.Н., Пестрякова Е.А., Зернов И.И. Сейсмостойкость мостов. Теория и приложения // Москва: Изд-во АСВ, 2021. 276 с.

3. Богданов Г.И., Ткаченко С.С., Шульман С.А. Опорные части мостов: учебное пособие для студентов вузов // Ч.1. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2006. 32 с.

4. Дробышевский Б.А. Опоры мостов сборно-монолитной конструкции: учебное пособие // Москва: Изд-во РИОР, 2020. 109 с.

5. Чигринская Л.С. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие // Ангарск: Изд-во АГТА, 2009. 107 с. URL: https://studfile.net/preview/5284061/page:6/ (дата обращения: 27.05.2024).

6. Курбацкий Е.Н. Сейсмоизолирующие устройства для мостов: учебное пособие // Москва: Изд-во МИИТ, 2010. 73 с.

7. Кузнецова И.О., Уздин А.М., Долгая А.А., Фрезе М.В., Шульман С.А. Обеспечение сейсмостойкости железнодорожных мостов // Наука и транспорт. Транспортное строительство, 2012. №4. С. 43–47.

8. Миралимов М.Х., Оспанов Р.С. Сейсмостойкость опор мостовых сооружений, современные проблемы мостовых сооружений // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации, 2023. №4. С. 26–33.

9. Раевская А.А., Быков А.О., Платицына А.И. Технические решения сейсмозащиты мостов // Сборник статей международного научно-практического конкурса МЦНС «Наука и просвещение», 2017. Т. 1. №2. С. 211–239.

10. Берлов С.А., Овчинников И.И. Сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020. №2. URL: https://t-s.today/PDF/20SATS220.pdf (дата обращения: 27.05.2024).

REFERENCES

1. Abovskij N.P., Inzhutov I.S., Sibgatulin V.G. i dr. *Sejsmozashhitnye ustrojstva: aktualnye problemy sejsmobezopasnosti* [Seismic protection devices: current problems of seismic safety]. Pod redakciej N.P. Abovskogo. Krasnoyarsk: Izd-vo: Sibirskogo federal`nogo universiteta, 2013. 98 p.

2. Kurbaczkij E.N., Pestryakova E.A., Zernov I.I. *Sejsmostojkost mostov. Teoriya i prilozheniya* [Seismic resistance of bridges. Theory and applications]. Moskva: Izdatelstvo ASV, 2021. 276 p.

3. Bogdanov G.I., Tkachenko S.S., Shulman S.A. *Oporny`e chasti mostov: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov* [Supporting parts of bridges: a textbook for university students]. Ch.1. SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya. 2006. 32 p.

4. Drobyshevskij B.A. *Opory mostov sborno-monolitnoj konstrukcii: uchebnoe posobie* [Bridge supports of prefabricated monolithic construction: a tutorial]. Moskva: Izd-vo RIOR, 2020. 109 p.

5. Chigrinskaya L.S. *Sejsmostojkost zdanij i sooruzhenij: uchebnoe posobie* [Earthquake resistance of buildings and structures: a tutorial]. Angarsk: Izd-vo AGTA, 2009. 107 p. URL: https://studfile.net/preview/5284061/page:6/ (data obrashheniya: 27.05.2024).

6. Kurbaczkij E.N. *Sejsmoizoliruyushhie ustrojstva dlya mostov: uchebnoe posobie* [Seismic isolating devices for bridges: a tutorial]. Moskva: Izd-vo MIIT. 2010. 73 p.

7. Kuzneczova I.O., Uzdin A.M., Dolgaya A.A., Freze M.V., Shulman S.A. *Obespechenie sejsostojkosti zheleznodorozhny`x mostov* [Ensuring seismic resistance of railway bridges]. *Nauka i transport. Transportnoe stroitelstvo*, 2012. No. 4, pp. 43–47.

8. Miralimov M.X., Ospanov R.S. *Sejsmostojkost` opor mostovy`x sooruzhenij, sovremenny`e problemy` mostovy`x sooruzhenij* [Seismic resistance of bridge supports, modern problems of bridge structures]. *Zheleznodorozhnyj transport: aktualnye zadachi i innovacii.* 2023. No. 4, pp. 26–33.

9. Raevskaya A.A., Bykov A.O., Platicyna A.I. *Texnicheskie resheniya sejsmozashhity mostov* [Technical solutions for seismic protection of bridges]. *Sbornik statej mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa MCzNS «Nauka i prosveshhenie»*, 2017. Vol. 1. No.2, pp. 211–239.

10. Berlov S.A., Ovchinnikov I.I. *Sravnitel`ny`j analiz sposobov zashhity` mostovy`x sooruzhenij ot vneshnix vozdejstvij* [Comparative analysis of ways to protect bridge structures from external influences]. *Internet-zhurnal «Transportny`e sooruzheniya»*, 2020. No.2. URL: https://t-s.today/PDF/20SATS220.pdf (date of application: 27.05.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Кудрявцева Виктория Давидтбеговна – Кандидат технических наук Российского университета транспорта, И.о. зав. кафедрой «Строительные материалы и технологии» (127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, e-mail: ruslavik@rambler.ru)	*Kudryavtseva Victoria Davidtbegovna* – Candidate of Technical Sciences of the Russian University of Transport, Acting Head of the Department of Construction Materials and Technologies (127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, p. 9, e-mail: ruslavik@rambler.ru)
Афанасьева Яна Владимировна – Аспирант Российского университета транспорта, Академический советник Российской инженерной академии (125009, Россия, г. Москва, Газетный пер., дом 9, строение 4, e-mail: info.tupolev@yandex.ru).	*Afanasyeva Yana Vladimirovna* – Postgraduate student of the Russian University of Transport, Academic Advisor of the Russian Academy of Engineering (125009, Russia, Moscow, Gazetny Lane, building 9, building 4, e-mail: info.tupolev@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024, принята к публикации 30.05.2024.
The article was submitted 15.05.2024; approved after reviewing 24.05.2024; accepted for publication 30.05.2024.