

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2020, №2, Том 7 / 2020, No 2, Vol 7 <https://t-s.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/20SATS220.pdf>

DOI: 10.15862/20SATS220 (<http://dx.doi.org/10.15862/20SATS220>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

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

For citation:

Berlov S.A., Ovchinnikov I.I. (2020). Comparative analysis of ways to protect bridge structures from external influences. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/20SATS220.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/20SATS220

УДК 624.21/.8

Берлов Станислав Анатольевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Магистрант, 2 курс

E-mail: berlovstanislav@yandex.ru

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия

Доцент

Доцент, кандидат технических наук

E-mail: bridgeart@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8370-297X>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177132

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191523104>

Сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий

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. Авторы статьи разбирают эти способы на основе общедоступных данных от компаний, занимающихся производством конструкций, препятствующих внешним воздействиям, а также на основе современных нормативных документов. В статье приведены такие способы защиты как: деформационные швы, опорные части, демпферы различных модификаций и гасители колебаний вант. Чтобы выбрать оптимальный метод защиты мостового сооружения, как с экономической стороны, так и с технической, необходимо произвести проверочные расчеты на статическое, динамическое и сейсмическое воздействие, изучить геологические характеристики площадки строительства, в обязательном порядке провести испытания применяемых конструкций, а также использовать нормативные документы и руководства по тестированию и использованию сейсмоизолирующих устройств. Также, авторы статьи делают акцент на том, что важно изучать способы защиты мостовых сооружений не только в отечественной практике, но и в зарубежной.

Ключевые слова: мостовое сооружение; деформационный шов; опорная часть; демпфирующее устройство; диссипация энергии; системы активной сейсмозащиты; внешнее воздействие

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 (АСЗ) [1]. Эти системы активной сейсмозащиты (АСЗ) 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 (АСЗ) 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.

Анализ состояния проблемы

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

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:

1. Обеспечивает надёжную работу мостовых сооружений в районах с повышенной сейсмической активностью.
2. Позволяет сэкономить значительные средства (материал, бюджет и т. д.).

При расчете 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 расчете 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, повреждениях 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. 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.

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].

В целом, проектирование и расчет конструкций искусственного сооружения, условно разъединенного на основание и непосредственно сооружение в районах с повышенным сейсмическим воздействием, опирается на следующие принципы:

Диссипация (рассеивание) энергии, вызванной землетрясением или другим внешним воздействием, через неупругий (нелинейный) отклик в отдельных элементах конструкции самого искусственного сооружения¹. 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.

¹ Seismic isolation of bridges – 2007, – 451 с.

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

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 [2].

Постановка задачи, методы решения и результаты

В данной работе выполняется сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий.

В качестве методов защиты будут рассматриваться:

- Деформационные швы.
- Опорные части.
- Демпферы и другие гасители колебаний.

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 [3]. Роль такого рода устройств в современном мостостроении выполняют **деформационные швы** [5]. Подробное изучение поведения и применения конструкций деформационных швов представлены в [6–14].

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 пролётных 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 движения².

Рассмотрим для примера деформационные швы для автодорожных мостов компании «MAURER». Деформационные швы MAURER для автодорожных мостов предназначены для дорожного движения и позволяют воспринимать любые воздействия, в том числе и связанные с изменениями температуры.

Однопрофильные деформационные швы

Деформационные швы данного типа обладают простой конструкцией и обеспечивают достаточную плавность проезда (рис. 1)³.



Рисунок 1. Однопрофильный деформационный шов XC1 с пониженной шумовой эмиссией (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Однопрофильный деформационный шов XC1 обладает пониженной шумовой эмиссией (до 60 %) за счет устройства специальных шумоподавляющих пластин, он предназначен для перемещений до 110 мм (рис. 2, 3).

² Expansion Joints for Use in Highway Bridge Decks – 1994, – 18 с.

³ MAURER: сайт. – URL: <https://www.maurer.eu/ru/index.html> (дата обращения 12.05.2020). – Текст: электронный.

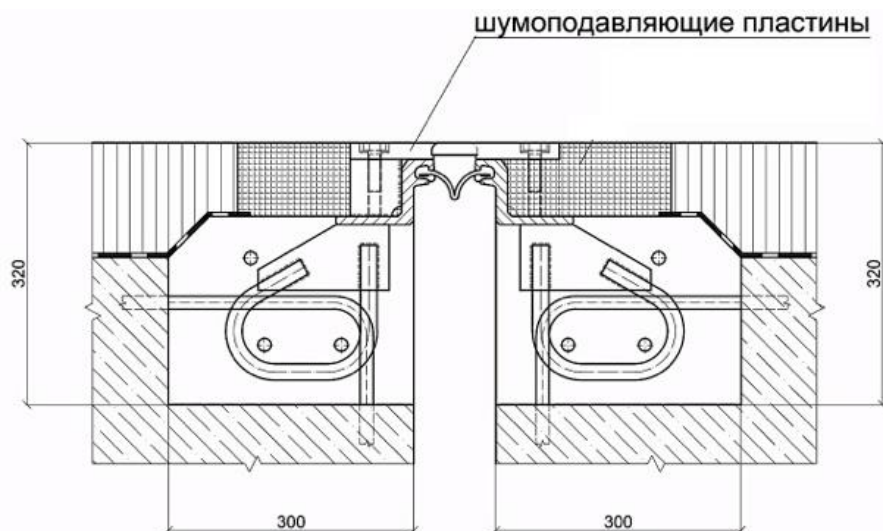


Рисунок 2. Однопрофильный деформационный шов ХС1 с шумоподавляющими пластинами (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

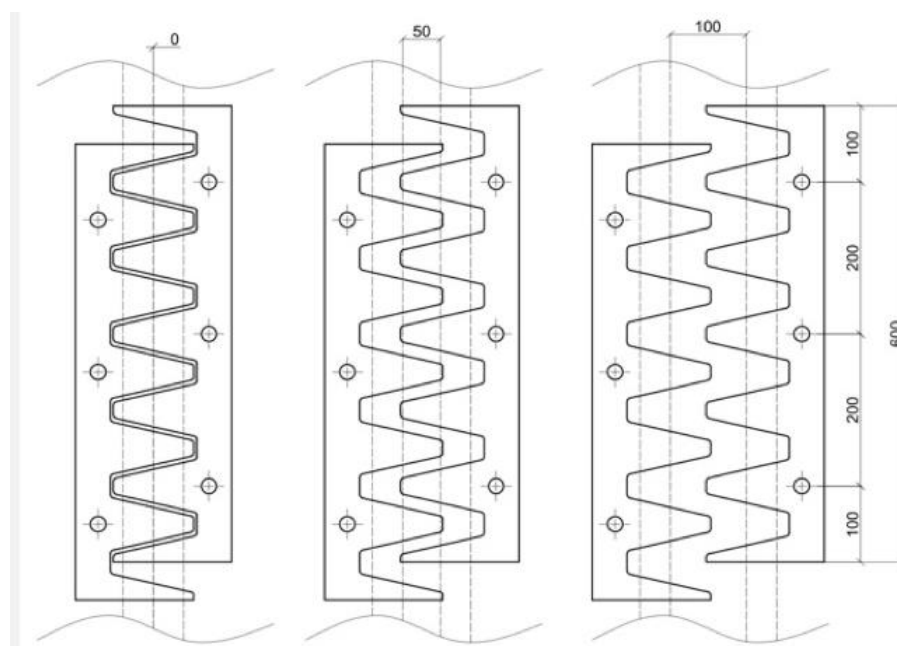


Рисунок 3. Вид сверху на шумоподавляющие пластины (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Применение конструкций однопрофильных деформационных швов с резиновыми компенсаторами получили большое распространение за рубежом, так как использование резины позволило обеспечить в ряде конструкций полную герметичность, создать более надежные конструкции для малых и больших перемещений, увеличить срок службы деформационных швов и уменьшить эксплуатационные затраты, а также исключить устройство сложных водоотводных лотков [5]. Деформационные швы с резиновыми компенсаторами в различных странах применяют в пролетных строениях с перемещениями от 10 мм (Франция, Германия), от 15–20 мм (США, Швейцария), причем для перемещений от 20–25 мм устраивают стальное окаймление (механическое крепление резинового компенсатора без применения клея) (рис. 4).

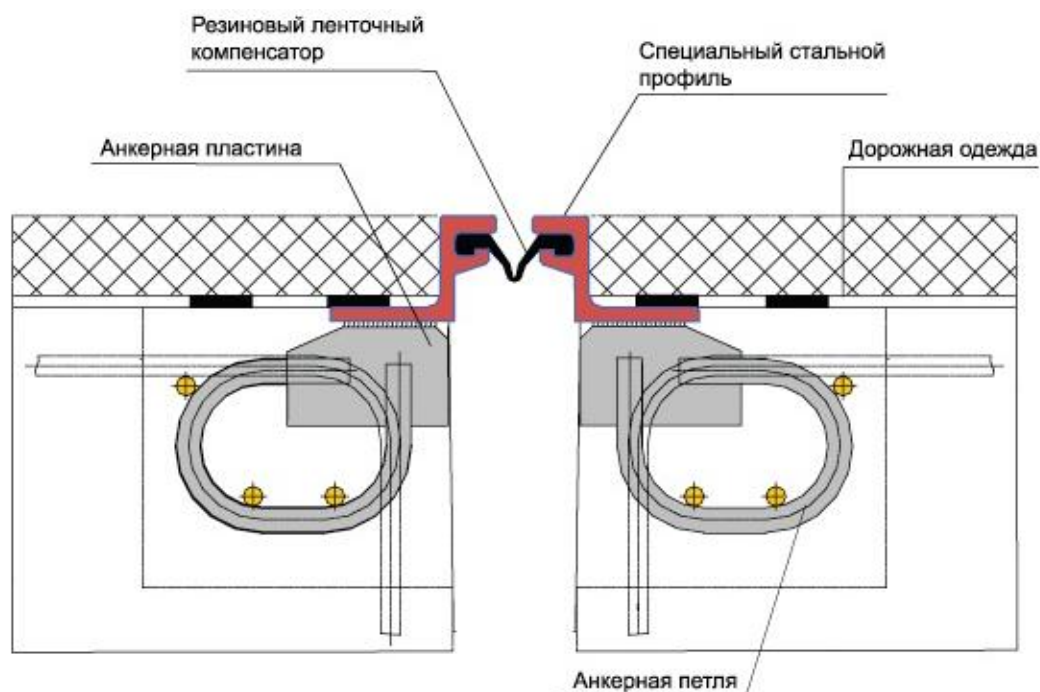


Рисунок 4. Поперечный разрез деформационного шва (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

В таблице 1 приведены основные характеристики резиновых компенсаторов по характеру работы резины и способу ее крепления к металлу [5].

Таблица 1

Характеристики резиновых компенсаторов

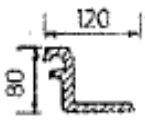
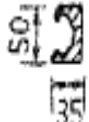
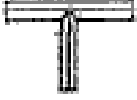









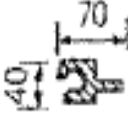





Характер работы резины	Способ крепления резины к металлу				Максимальное реактивное усилие кН/пог.м
	Обжатие без крепления	Обжатие с холодной приклежкой	Горячая приклежка	Механическое крепление	
	Допускаемые перемещения, % от ширины шва				
Сжатие	20	20	25	-	100
Растяжение	-	-	25	25	20
Сжатие + растяжение	-	-	33	28	30
Сдвиг	-	-	30	4	
Изгиб	-	50	60	100	10

В таблице 2 приведены основные элементы однопрофильных деформационных швов компании «MAURER» [5].

Таблица 2

Основные элементы однопрофильных деформационных швов Maurer с приведенными типоразмерами (в скобках)

Промежуточный несущий профиль №7.1002. Вес: 46,6 кг/м		Крайний несущий профиль EB №7.0009. Вес: 19,0 кг/м		X-деталь 80 №2.0080. Вес: 3,1 кг/м	
--	--	---	--	---------------------------------------	--

Крайний несущий профиль №7.0001. Вес: 18,2 кг/м		Крайний несущий профиль EB №7.0026. Вес: 7,5 кг/м		T-деталь 80 №2.0081. Вес: 2,3 кг/м	
Крайний несущий профиль 120 №7.1100. Вес: 27,3 кг/м		Крайний несущий профиль SS (легир. сталь) №7.0078. Вес: 2,8 кг/м		L-деталь 80 №2.0082. Вес: 1,5 кг/м	
Крайний несущий профиль 40 №7.0003. Вес: 8,1 кг/м		Крайний несущий профиль AL (алюминий) №7.0073. Вес: 1,64 кг/м		<-деталь 80 Вес: 1,5 кг/м	
Крайний несущий профиль 75 №7.0146. Вес: 10,7 кг/м		Ленточный профиль 80 №7.0011. Вес: 1,65 кг/м		Гибкий блок 80 (100) №7.0016. Вес: 5,5 кг/м	
Крайний несущий профиль BF №7.0112. Вес: 10,2 кг/м		Ленточный профиль 100 (200) №7.0012. Вес: 1,75 кг/м		Ковровый профиль 40 (80 и 130) №7.0143. Вес: 13,4 кг/м	
Крайний несущий профиль 70 №7.0008. Вес: 10,8 кг/м		Ленточный профиль 80 G №7.0130. Вес: 1,45 кг/м		Компактный профиль 30 (50) 7.0117. (7.0120) Вес: 2,0 (2,5) кг/м	

Преимуществами данного типа деформационных швов являются:

1. Простота конструкции самого шва.
2. Обеспечение плавности проезда.
3. Улучшенное шумоподавление.
4. Уменьшенная трудоемкость монтажа конструкции.
5. Относительно небольшая себестоимость.

Недостатками данного деформационного шва являются:

1. Относительно небольшая возможность перемещения (≤ 100 мм), что не позволяет устанавливать такой шов в сейсмически активных районах строительства.
2. При недостаточной квалификации бригады монтажников возможны недочеты в процессе монтажа конструкции, которые повлекут за собой нарушения в работе резинового ленточного компенсатора.

Модульные деформационные швы

Представляют собой широко распространенные деформационные швы, которые используются повсеместно во всем мире. Конструкция модульного деформационного шва представляет собой систему балочных элементов (центральных и крайних балок), расположенных вдоль шва, в промежутки между которыми вставлены специальные ленточные профили. Эта конструкция позволяет перекрывать необходимую величину зазора между пролетными строениями.

Модульные деформационные швы Maurer подразделяются на два вида:

1. Балочно-решетчатые деформационные швы (Girder Grid Joints).
2. Деформационные швы с поворотными траверсами (Swivel-Joints).

В конструкциях деформационных швов балочно-решетчатого типа (рис. 5) центральная балка приварена к своему опорному элементу (опорной балке), который, также, может перемещаться по принципу скользящей заделки. Упругие элементы (компенсаторы) в этой конструкции отвечают за контроль величины продольного перемещения между соседними опорными балками в определенных границах, что позволяет достигать равномерного раскрытия зазоров между центральными балками, т. е. обеспечивает равномерность раскрытия деформационного шва. Для деформационных швов балочно-решетчатого типа характерное количество ленточных профилей составляет от 2 до 8 штук [5]. При увеличении количества элементов заполнения и величинах раскрытия деформационного шва применяются швы второго вида, а именно *деформационные швы с поворотными траверсами (Swivel-Joints)*.

Балочно-решетчатые деформационные швы допускают большие продольные перемещения. Перемещения в поперечном направлении ограничены величиной ± 20 мм, а в вертикальном направлении до ± 10 мм в каждом модуле.



Рисунок 5. Решетчатый деформационный шов (источник:

<https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Деформационные швы MAURER с поворотными траверсами (рис. 6) особо часто применяются при сложных перемещениях. Благодаря свободным перемещениям каждого отдельного модуля (ламеля), эти конструкции могут воспринимать общие перемещения в продольном и поперечном направлениях величиной от 16 до 120 см и более [5].



Рисунок 6. Поворотный поперечный деформационный шов (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Деформационные швы MAURER со скользящими модулями (рис. 7) предназначены для специального соединения с плитой проезжей части моста. Этот деформационный шов предназначен для конструкций, в которых стандартная установка невозможна.



Рисунок 7. Деформационный шов скольжения (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Преимущества модульных деформационных швов:

1. Доставляются на строительную площадку готовыми конструкциями (сборка на месте не требуется). Это минимизирует количество ошибок, допущенных при производстве работ.
2. Большая экономия временного ресурса.
3. Допускают большие по величине продольные и поперечные перемещения.
4. Ввиду того, что конструкция модульных деформационных швов допускает большие по величине как продольные, так и поперечные перемещения, имеется возможность применения данных конструкций в сейсмически активных районах.

Недостатки модульных деформационных швов:

1. Высокая себестоимость конструкций деформационных швов.
2. Большие трудозатраты на ремонтные работы, в случае получения повреждений в процессе производства работ.

Но, не смотря на все преимущества и недостатки приведенных выше конструкций деформационных швов, в сейсмически активных районах строительства применяют деформационные швы, предназначенные для восприятия перемещений от сейсмических воздействий.

На примере компании-производителя деформационных швов MAURER рассмотрим несколько вариантов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий.

Сейсмостойкие деформационные швы MAURER воспринимают сейсмические перемещения либо с помощью модульной системы, либо с использованием специальной системы Fuse Box (устройство с заданным местом разрушения)³. Применение этих двух систем позволяет избежать или ограничить возможные повреждения сооружения. Это гарантирует безопасность и возможность проезда во время и после землетрясения.

Fuse Box (устройство с заданным местом разрушения)

Благодаря шарнирному ходу со встроенным блоком предохранителей (предопределенное разрывное устройство) деформационный шов компенсирует все сдвиги от рабочих нагрузок, но не все сейсмические сдвиги. Система предохранителей MAURER активируется в случае сейсмических движений, выходящих за пределы смещения поворотного хода. В зависимости от конструкции блока предохранителей, поворотная перекладина перемещается либо вертикально, либо горизонтально в определенной области. В случае открывания, вызванного землетрясениями, блок предохранителей защищает деформационный шов от падения в зазор между пролетными строениями. После землетрясения можно быстро и легко отремонтировать деформационный шов и дорожное полотно (рис. 8).



Рисунок 8. Деформационный шов по системе Fuse Box (источник:

<https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Системы предохранителей MAURER Fuse Box позволяют конструктивно воспринимать движения закрытия пролетного строения до предполагаемого предельного состояния (Ultimate Limit State) и, возможно, даже за его пределами. В зависимости от системы предохранительной коробки результирующее перемещение поглощается: либо через наклонную, отклоняющуюся

вверх плоскость движения, либо через вертикальное опускание конструкции с последующим скольжением в балочной коробке. Для чрезмерных боковых перемещений система боковых предохранителей позволяет поглощать неограниченные величины перемещения независимо от геометрической конструкции поперечного сечения пролетного строения. Система плавких предохранителей защищает пролетное строение моста от чрезмерных нагрузок и разрушений. Активированный блок предохранителей может обеспечить безопасность движения аварийно-спасательных служб по мосту. При этом возможен быстрый и простой ремонт конструкции шва и прилегающего дорожного покрытия⁴.

Три основных преимущества блока предохранителей:

1. Защита пролетного строения моста во время землетрясения от горизонтального перенапряжения, вызванного перемещениями, закрывающими зазор.
2. Избегание открытых конструкционных зазоров, вызванных чрезмерными перемещениями, увеличивающими зазор.
3. Мостовое сооружение допускает движение по нему аварийных и вспомогательных транспортных средств после землетрясения.

Недостатки блока предохранителей:

1. Высокая стоимость конструкции деформационного шва.
2. Высокая трудоемкость процесса монтажа конструкции.
3. Высокая точность монтажа должна уравниваться высоким профессионализмом бригады монтажников.

Деформационные швы с поворотными траверсами типа DS

Поворотные траверсы MAURER типа DS являются конструкционной платформой для сейсмостойких деформационных швов. Поворотная траверса типа DS разрабатывается индивидуально для конкретного проекта и учитывает его особенности для любых горизонтальных перемещений, что позволяет либо ограничить, либо вовсе исключить возможность повреждения сооружения (рис. 9).



Рисунок 9. Поворотная траверса типа DS (источник:

<https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

⁴ MAURER Earthquake Protection Systems – 28 с.

Примером реального использования может быть поворотная траверса типа **DS**, установленная на мосту Рион-Антирион через Коринфский залив (рис. 10).



Рисунок 10. Мост Рион-Антирион (источник: <https://www.proektant.ru/content/1297.html>)

При расчёте и проектировании данного моста учитывались сейсмическая активность района строительства, а также вероятность цунами. Сложность в расчётах заключалась в том, что из-за движения тектонических плит расстояние между полуостровом Пелопоннесом и материковой Грецией, которое соединяет мост, ежегодно увеличивается на 30 мм. Результатом расчёта стала возможность моста «раздвигаться» на 35 мм в год¹.

Компенсаторы типа **DS** с запасами на экстремальные ситуации нужны для того, чтобы гарантировать, что пороговые нагрузки не будут перенесены на мостовую конструкцию.

Основные преимущества поворотных траверс типа **DS**:

1. Защита мостового сооружения в любом горизонтальном направлении.
2. Мостовое сооружение может допускать движение аварийных и вспомогательных транспортных средств после землетрясения.

Недостатки поворотных траверс типа **DS**:

1. Высокая стоимость конструкции деформационного шва.
2. Высокая трудоемкость процесса монтажа конструкции.
3. Высокая точность монтажа должна уравниваться высоким профессионализмом бригады монтажников.

Если рассматривать этот вопрос более детально, то деформационные швы нужны для того, чтобы компенсировать перемещения между соседними пролетными строениями при одновременной передаче транспортных нагрузок.

Они должны быть запроектированы с учетом степеней свободы конструктивных элементов и быть способными постоянно выдерживать внешние воздействия в своем рабочем состоянии. Основные факторы, влияющие на перемещения деформационного шва в рабочем состоянии:

- Колебания температуры.
- Ползучесть/усадка бетона.

- Дополнительные нагрузки (ветер, торможение).

Последствия землетрясений порождают дополнительные, в некоторых случаях значительные, прогибы и перемещения, которые отличаются по своим размерам, направлению и скорости от тех, которые возникают в условиях нормальной эксплуатации⁴.

К деформационным швам, работающим в области землетрясений, выдвигается ряд требований:

1. Кинематическое поведение (возможность беспрепятственного перемещения) деформационного шва в продольном и поперечном направлении.
2. Работа при скорости до 1,5 м/с и действии ускорения.
3. Кинематика перемещений деформационного шва должна быть проверена при испытаниях.
4. Требуется четкое соблюдение требуемых расстояний между конструктивными элементами.
5. Возможность обслуживания конструкций деформационных швов после землетрясений.
6. Разумный объем ущерба после землетрясения.
7. Безопасность дорожного движения во время землетрясения.

Для примера рассмотрим ряд деформационных швов с возможной работой в районах с активным сейсмическим воздействием (деформационные швы расположены по возрастанию степени сейсмической защиты) (табл. 3).

Таблица 3

Конструкции деформационных швов

Тип конструкции	Особенности
Балочно-решетчатый деформационный шов DT 160/240 (Girder Grid Joint Type DT 160/240)	подходит для комбинированных перемещений 240 мм в продольном направлении и 60 мм в боковом направлении к конструкции моста
Деформационные швы с поворотными траверсами Swivel-Joist Expansion Joints of Type DS	неограниченная пригодность, даже для комбинированных перемещений продольно и поперечно к конструкции моста
Балочно-решетчатый деформационный шов DT 160/240 с центральной балкой предохранителя (Girder Grid Expansion Joint of Type DT 160/240 with Fuse Centre Beam (MFC))	устройство, пригодное как при больших перемещениях от землетрясений, так и при небольших перемещениях в рабочем состоянии; пригодное для гребенчатых перемещений в продольном направлении и макс. 60 мм в боковом направлении к конструкции
Fuse Edge Beam (MFE)	устройство, пригодное для восприятия перемещений до 240 мм в рабочем состоянии и меньших перемещений при землетрясении
Fuse Box Ramp (MFBR)	устройство, пригодное для уменьшения количества ламелей в случае крупных землетрясений (для соединения с железобетонными пролетными строениями)
Fuse Box Shear (MFBS)	устройство, пригодное для уменьшения количества ламелей в случае крупных землетрясений (для соединения с металлическими пролетными строениями)
Fuse Box Lateral (MFBL)	устройство, пригодное для поглощения чрезмерных боковых перемещений

Составлено авторами

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.

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 [4].

Для примера рассмотрим и сравним опорные части компании «MAGEBA», а также других производителей, предназначенные для восприятия и передачи сверхнормативных воздействий, возникающих в сейсмически активных районах.

Резиновые опорные части (РОЧ) высокого демпфирования LASTO®HDR

Опорные части данного вида состоят из слоев резины (натурального каучука) и металлических листов (прокатная углеродистая сталь). Резина нужна для того, чтобы обеспечивать поперечную податливость, а металлические листы – вертикальную жёсткость. Также резина выполняет функцию защиты металлических листов от коррозии, так как она покрывает все внешние поверхности опорной части. РОЧ высокого демпфирования устанавливают на устои или на промежуточные опоры под пролётными строениями [2].

Принцип действия РОЧ высокого демпфирования LASTO®HDR заключается в том, что опорные части отделяют сооружение от грунта во время землетрясений, таким образом ограничивая воздействие сейсмической энергии. Они похожи на обычные резиновые опорные части со стальными анкерными пластинами, но применяемый эластомерный материал имеет специальный состав, в итоге гасящий сейсмическую энергию за счёт деформации (перемещения) и выделения тепла (рис. 11)⁵.

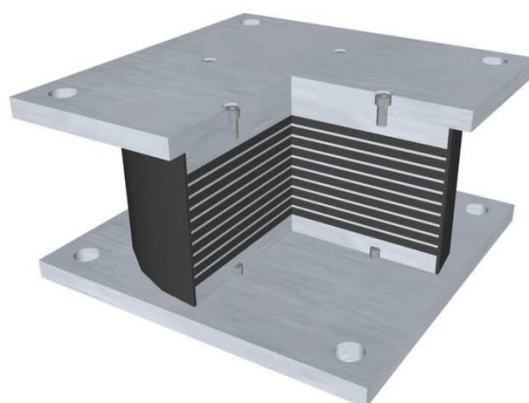


Рисунок 11. РОЧ высокого демпфирования **LASTO®HDR** (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Buildings/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm>)

Резиновые опорные части высокого демпфирования **LASTO®HDR** применяются как при строительстве новых сооружений, так и на существующих сооружениях для увеличения сопротивления сейсмическим воздействиям (рис. 12).

⁵ Mageba: сайт. – URL: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/> (дата обращения 15.05.2020). – Текст: электронный.



Рисунок 12. РОЧ высокого демпфирования **LASTO®HDR** перед установкой (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Buildings/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm>)

До установки РОЧ их подвергают динамическим испытаниям для определения точных характеристик, при которых опорные части испытывают постоянно действующую вертикальную нагрузку и гармоническую поперечную силу (рис. 13). Результатом таких испытаний служат петли гистерезиса, площади которых пропорциональны энергии, рассеиваемой опорной частью за цикл колебаний (рис. 14) [2].

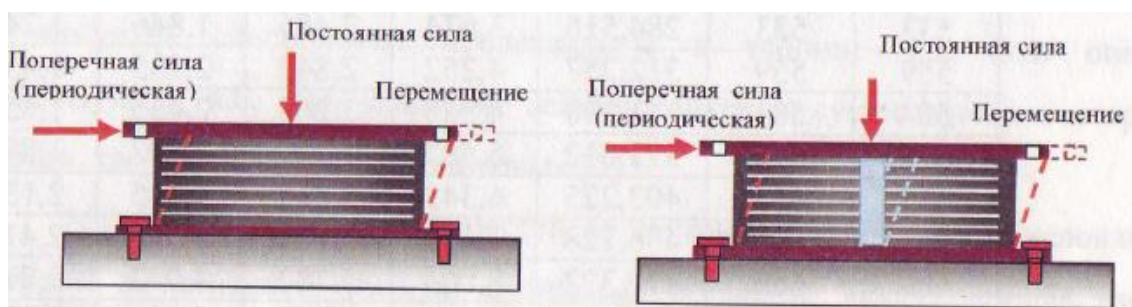
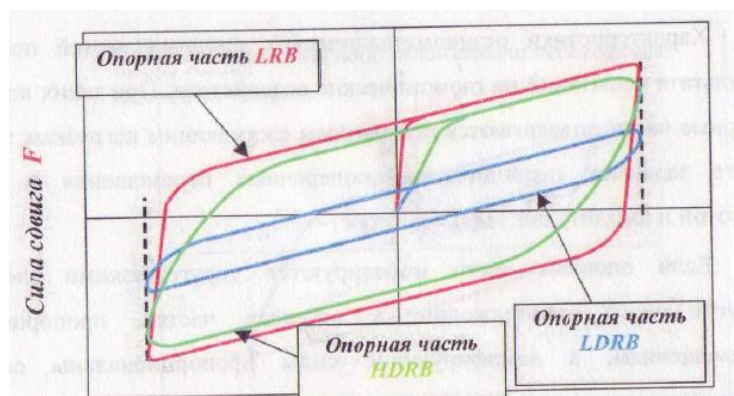


Рисунок 13. Схемы приложения нагрузок для определения демпфирующих свойств опорных частей [2]



LDRB – РОЧ из натуральной или синтетической резины с малым коэффициентом демпфирования
HDRB – РОЧ из натуральной или синтетической резины с большим коэффициентом демпфирования
LRB – РОЧ из резины с малым коэффициентом демпфирования и свинцовым стержнем

Рисунок 14. Гистерезисные кривые опорных частей различного типа [2]

Основные свойства и преимущества РОЧ **LASTO®HDR** с большим коэффициентом демпфирования:

1. Допускаемые деформации сдвига – 200÷350 %.
2. Коэффициент демпфирования в диапазоне от 10 до 20 % при деформации сдвига порядка 100 % (возрастание величины демпфирования достигается путем добавления в резину тонкодисперсной сажи, канифоли и других добавок).
3. Модуль сдвига в диапазоне от 0.4 до 1.4 МПа.
4. Эффективная жёсткость и величина, определяющая демпфирование, зависят от типа эластомера и наполнителей, от величины сжатия и скорости нагружения.
5. На вертикальную нагрузку эти устройства работают как обычные опорные части, на горизонтальную сейсмическую нагрузку – как сейсмоизоляторы [2].
6. В нормальных условиях работают как обычные РОЧ и поэтому особенно пригодны для сооружений с ограниченным пространством под пролетами на опорах, где установка отдельных опорных частей и сейсмозащитных систем невозможна.
7. Значительное рассеивание энергии во время землетрясений приводит к оптимизации размеров конструкций мостового сооружения и снижению их стоимости.
8. Комбинированная передача постоянных, временных и сейсмических нагрузок приводит к минимальной потребности в пространстве для размещения устройств.
9. Эффективное решение для широкого спектра типов мостовых конструкций.
10. Эффективное решение для модернизации существующих мостовых конструкций.
11. Возможность повторного центрирования после сейсмического воздействия.
12. Могут быть изготовлены как для железобетонных (ниже- и вышележащих) конструкций, так и для металлических⁶.

Основные недостатки:

1. Высокая стоимость относительно обычных РОЧ, не предназначенных для работы в экстремальных условиях.

Резиновые опорные части со свинцовым сердечником LASTO®LRB.

Они похожи на обычные армированные резиновые опорные части **LASTO®HDR** со стальными анкерными пластинами, но имеют свинцовый сердечник. Этот сердечник воспринимает пластические деформации во время землетрясений, выделяя тепло и рассеивая сейсмическую энергию (рис. 15)⁵.

Опорные части с впрессованным свинцовым стержнем (Lead rubber bearing) были изобретены и запатентованы в далеком 1975 году, однако до сих пор широко используются в районах с повышенным сейсмическим воздействием [2]. Резиновые слои из материала, имеющего малый коэффициент демпфирования, обеспечивают поперечную податливость.

⁶ Mageba seismic protection devices for reliable preservation of structures, LASTO®HDRB High Damping Rubber Bearing – 2019. – 4 с.

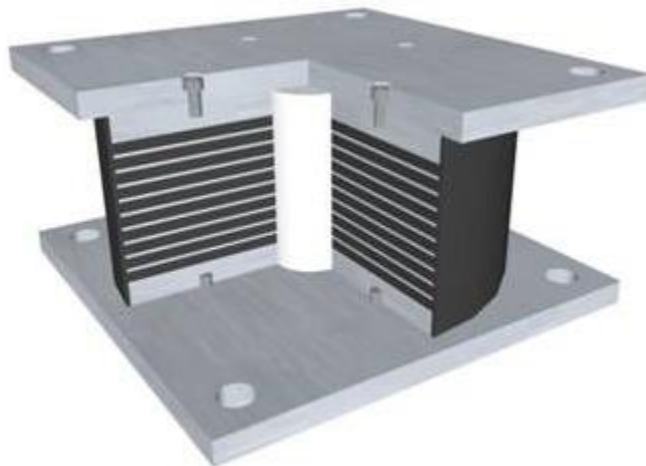


Рисунок 15. РОЧ **LASTO@LRB** со свинцовым сердечником (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Buildings/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm>)

Вследствие текучести свинца свинцовый стержень, впрессованный в опорную часть, обеспечивает рассеивание энергии. Напряжение текучести свинцового стержня в начальный момент равно 10.5 МПа.

До установки, РОЧ со свинцовым стержнем также подвергают динамическим испытаниям для определения точных характеристик, при которых опорные части испытывают постоянно действующую вертикальную нагрузку и гармоническую поперечную силу (рис. 16). Результатом таких испытаний служат петли гистерезиса, площади которых пропорциональны энергии, рассеиваемой опорной частью за цикл колебаний (рис. 14). Гистерезисная кривая строго зависит от перемещений.



Рисунок 16. Испытание опорной части **LASTO@LRB** со свинцовым сердечником (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Buildings/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm>)

Типовые размеры этих опорных частей и значения их несущей способности представлены в таблице 4 [2].

Таблица 4

Величины максимальных нагрузок на опорные части (кН) [2]

Размеры в плане		Площадь (мм) ²	Толщина слоёв резины (мм)			
A (мм)	B (мм)		6,5	9,5	12,5	19
229	229	52.258	236	160	125	85
254	254	64.516	338	227	173	120
279	279	78.064	463	311	236	165
305	305	92.903	614	414	311	214
330	330	109.032	796	534	405	276
336	336	126.451	1.01	676	512	351
381	381	145.161	1.263	845	641	436
406	406	165.161	1.552	1.041	783	529
432	432	186.451	1.882	1.259	952	641
457	457	209.032	2.255	1.508	1.139	770
483	483	232.903	2.678	1.793	1.348	912
508	508	258.064	3.149	2.104	1.583	1.068
533	533	284.516	3.674	2.455	1.846	1.241
559	559	312.257	4.252	2.842	2.135	1.437
584	584	341.29	4.888	3.265	2.455	1.65
610	610	371.612	5.582	3.727	2.802	1.882
635	635	403.225	6.343	4.234	3.185	2.135
660	660	436.128	7.17	4.786	3.598	2.411
686	686	470.322	8.064	5.382	4.043	2.713
711	711	505.805	9.029	6.027	4.528	3.034
737	737	542.58	10.07	6.721	5.048	3.38
762	762	580.644	11.187	7.464	5.609	3.754
787	787	619.999	12.383	8.264	6.205	4.154
813	813	660.644	13.66	9.118	6.845	4.581
838	838	702.579	15.025	10.026	7.53	5.04
864	864	745.805	16.48	10.995	8.255	5.524
889	889	790.321	18.023	12.023	9.029	6.04
914	914	836.127	19.66	13.117	9.848	6.587

Основные свойства и преимущества РОЧ **LASTO®LRB** со свинцовым сердечником:

1. Модуль сдвига – 0,6÷0,7 МПа при деформации сдвига 100 %.
2. Максимальные деформации сдвига лежат в диапазоне 125÷200 %.
3. На вертикальную нагрузку эти устройства работают как обычные опорные части, на горизонтальную сейсмическую нагрузку – как сейсмоизоляторы.
4. В нормальных условиях работают как обычные РОЧ и поэтому особенно пригодны для сооружений с ограниченным пространством, где установка отдельных опорных частей и сейсмозащитных систем невозможна.
5. Значительное рассеивание энергии во время землетрясений приводит к оптимизации размеров конструкций мостового сооружения и снижению их стоимости.
6. Комбинированная передача постоянных, временных и сейсмических нагрузок приводит к минимальной потребности в пространстве для устройств.
7. Эффективное решение для широкого спектра типов конструкций.
8. Эффективное решение для модернизации существующих конструкций.
9. Могут быть изготовлены как для железобетонных (ниже- и вышележащих) конструкций, так и для металлических⁶.

10. Большая вариативность геометрических размеров.
11. Такая опорная часть ведёт себя как упругопластический элемент.

Основные недостатки:

1. Высокая стоимость относительно обычных РОЧ, не предназначенных для работы в экстремальных условиях.

Фрикционные опорные части

В последние годы одним из наиболее популярных методов защиты мостовых сооружений от сейсмических воздействий является использование фрикционных опорных частей.

Принцип действия таких опорных частей заключается в поглощении энергии за счёт работы сил трения и рассеяния ее в виде тепла в окружающее пространство [2]. Также, у таких опорных частей 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.

Для примера, рассмотрим резино-фрикционную опорную часть под маркой R-FBI (рис. 17).

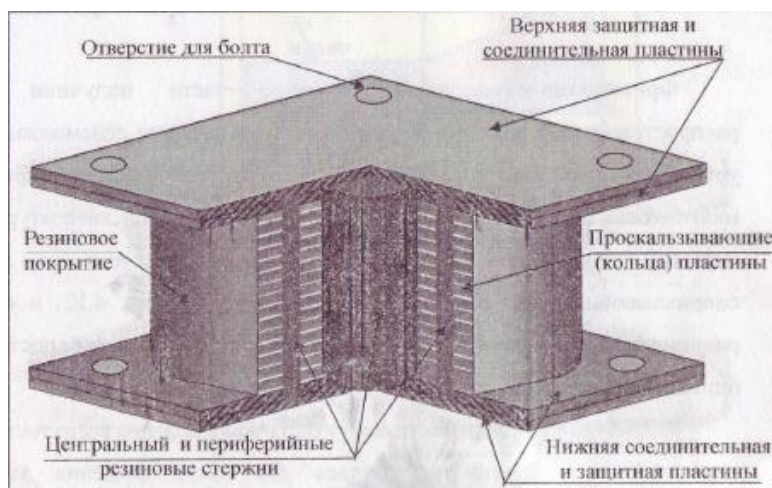


Рисунок 17. Фрикционная опорная часть марки R-FBI [2]

Данная модель опорной части состоит из набора концентрических стальных пластин с тефлоновым покрытием. Внутри опорной части (в её центре) резиновый сердечник и несколько резиновых стержней, расположенных на некотором расстоянии от центра.

Резиновые стержни, расположенные внутри опорной части (центральный и периферийные) не несут вертикальной нагрузки, вследствие чего вулканизируются и обеспечивают распределение относительных перемещений пластин по высоте. Такая комбинация подвижных резины и пластин обладает упругими и фрикционными свойствами. Характеристики таких опорных частей, а именно упругие и демпфирующие, определяются путем лабораторных испытаний.

Основные свойства и преимущества фрикционных опорных частей марки R-FBI:

1. Широкий диапазон частот.
2. Резиновые стержни не несут вертикальной нагрузки.
3. Наличие упругих и фрикционных свойств.
4. Эффективное решение для широкого спектра типов конструкций;

Основным недостатком использования только фрикционных опорных частей является необходимость добавления упругих элементов из-за того, что отсутствуют силы, возвращающие сейсмоизолированную часть мостового сооружения в первоначальное положение, а также из-за отсутствия определённости и предсказуемости величины реакции. В качестве таких дополнительных упругих элементов, возвращающих пролётное строение в исходное положение и рассеивающих энергию от сейсмического воздействия, могут послужить фрикционно-маятниковые опорные части [2].

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.

Стоит отметить, что в ряде стран уже разработаны современные руководства и требования, которые необходимо выполнять при испытаниях демпфирующих устройств, например, в Германии, Швейцарии, Великобритании [2].

На примере компаний-производителей «**MAURER**» и «**MAGEBA**», находящихся на «передовой» научного прогресса в области защиты мостовых сооружений от сейсмических воздействий, рассмотрим несколько вариантов.

Гидравлический демпфер MHD (производитель «MAURER»)

Гидравлические демпферы MHD могут дополнять системы защиты мостовых сооружений от землетрясений изоляторами для достижения еще лучшего поведения системы в отношении меньших сил и смещений для случаев сейсмической нагрузки и случая рабочей нагрузки. Такие демпферы рассеивают энергию, используя вязкие свойства жидкостей, которые отличаются от обычных линейных вязких демпферов тем, что их сила реакции практически не зависит от скорости при быстрых движениях³. Это обеспечивает оптимальное демпфирование и позволяет избежать превышения проектных предельных значений. В случае землетрясения интеллектуальная система потока жидкости допускает относительные перемещения и поддерживает силу отклика на постоянном уровне (рис. 18).



Рисунок 18. Гидравлический демпфер MHD (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Преимущества:

1. Отсутствие утечки гидравлической жидкости, благодаря системе тройного уплотнения.
2. Немедленная блокировка после сдвига с помощью рабочих сил (не менее $1\div 3$ мм) из-за высокой плотности гидравлической жидкости и из-за низкой сжимаемости масла.
3. Возможность использования при больших изменениях температуры (от -40 °C до $+40$ °C).
4. Система ограничения силы действует через специальную систему клапанов.

Недостатки:

1. Высокая стоимость конструкции.
2. Высокая трудоёмкость работ по монтажу демпфера.
3. Ограниченный спектр конструкций, к которым применяется данный вид демпфера.
4. Высокая специализация монтажной бригады.

Стальной гистерезисный демпфер MSHD (производитель «MAURER»)

Пластическая деформация стали является одним из наиболее эффективных механизмов рассеивания энергии, как с экономической, так и с технической точки зрения. В 1970-х годах появилась идея использовать стальные гистерезисные демпферы внутри зданий для рассеивания значительных частей сейсмической энергии. Стальные рассеиватели были спроектированы и изготовлены в большом количестве вариантов. Их сильные стороны: хорошая надежность, функциональность независимо от температуры и скорости, высокая устойчивость к старению, отсутствие обслуживания, ограниченные затраты. Однако их серьезным недостатком является ограниченная способность приспосабливаться к большим перемещениям, как это требуется в конструкциях, построенных в районах с высокой

сейсмической активностью, особенно в мостовых конструкциях. В ответ, компания «MAURER» разработала и экспериментально проверила два типа стальных гистерезисных демпферов. Рассеяние энергии достигается за счет воздействия на элементы гистерезиса двух различных движений, осевого движения и кручения³.

1. Компактный стальной демпфер MCSD (производитель «MAURER»).

Демпфер данного типа работает в одном направлении «тянуть» и «толкать» и обладает упругими свойствами (рис. 19).



Рисунок 19. Стальной демпфер MCSD (источник:

<https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

К основным свойствам данного типа можно отнести:

- Компактный дизайн.
- Надежность.
- Упругое смещение (до ± 50 мм).
- Срок службы до 100 лет.
- Высокая устойчивость к старению и отсутствие износа.
- Высокая жесткость под рабочей нагрузкой.
- Сопротивление до трех оценённых землетрясений.
- Экономически эффективный.

Основное преимущество стального демпфера MCSD по сравнению с обычными «скобами с ограничением устойчивости» заключается в том, что требуемое пространство для установки в три раза более компактно в продольном направлении.

2. Стальной демпфер MRSD с центрированием в двух направлениях (производитель «MAURER»).

Стальные демпферы MRSD используются в мостостроении и строительстве зданий и могут сочетаться с обычными подшипниками скольжения для передачи нагрузки. Сравнительно высокое рассеяние энергии происходит через стальные элементы специальной геометрии, которые пластически деформируются в зависимости от величины смещения. Они генерируют необходимое восстановление структуры с соответствующей деформацией. Чрезвычайно высокие силы (2000 кН и более) могут быть достигнуты при очень больших смещениях до $\pm 1,5$ м и более. Из-за изменяющейся жесткости в зависимости от амплитуды смещения и значительного увеличения силы в конце грузоподъемности структурные смещения снижаются на 30 % по сравнению с обычными гистерезисными демпферами, гидравлическими демпферами или подшипниками скольжения (рис. 20).



Рисунок 20. Стальной демпфер MRSD с центрированием в двух направлениях (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

3. Изоляторы со скользящей поверхностью и стальные гистерезисные демпферы с задней центровкой MARTI (производитель «MAURER»).

MARTI (адаптивный перецентрирующий торсионный изолятор MAURER) представляет собой комбинацию изолятора со скользящей поверхностью и гистерезисного демпфера. Изолятор со скользящей поверхностью обеспечивает вертикальную передачу нагрузки, горизонтальную гибкость и низкое демпфирование благодаря трению. Гистерезисный демпфер дополняет функциональность MARTI дополнительным демпфированием и задней центровкой. Демпфер идентичен MRSD (рис. 21).

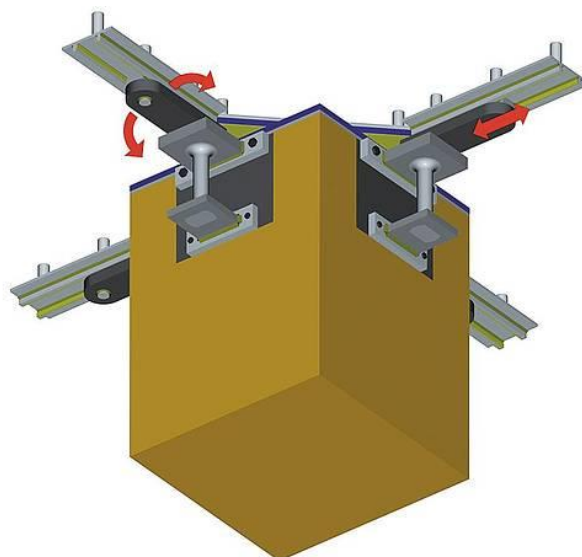


Рисунок 21. Изоляторы со скользящей поверхностью и стальные демпферы гистерезиса с задней центровкой MARTI (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Стальной гидравлический демпфер RESTON®SA (производитель «MAGEBA»)

Демпферы данного вида используются для гашения большого количества энергии, возникающей в результате внезапных динамических нагрузок, будь то землетрясение, резкое

торможение поездов или тяжелого транспорта и другие. При работе в нормальных условиях, они допускают беспрепятственное перемещение частей конструкции между собой (рис. 22)⁵.



Рисунок 22. Стальной гидравлический демпфер **RESTON@SA** (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Buildings/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm>)

Гидравлические демпферы используются для рассеивания больших по величине горизонтальных сил. Они используются как при строительстве новых сооружений, так и для усиления или упрочнения уже существующих конструкций, а также для увеличения сопротивления сейсмическим воздействиям.

«Живым» примером является устройство демпферов данного типа на мосту Vasco da Gama в Португалии (рис. 23).



Рисунок 23. Мост Vasco da Gama, Португалия (источник: <https://discoverportugal.ru/что-посмотреть/современная-архитектура/мост-васко-да-гاما>)

Преимущества:

1. Не увеличивают жёсткость конструкции мостового сооружения.
2. Демпфирующие силы отличаются по фазе от упругих сил, возникающих в конструкциях.
3. Возможность использования при больших величинах сил и перемещений.

Недостатки:

1. Высокая стоимость.
2. Сложность в определении границ линейного поведения при расчёте на сильные землетрясения, что влечет за собой использование нелинейных моделей.
3. Так как в показатель степени, определяющий зависимость силы от скорости меньше единицы, то также необходимо использовать нелинейные расчёты.

Стальной канатный демпфер (производитель «MAURER»)

Применяется для демпфирования (гашения) вибрации канатов вантовых и висячих конструкций мостов. Эти вибрации в основном вызваны движением самого мостового сооружения, транспортом, дождем, ветром или иным внешним воздействием (рис. 24)³.

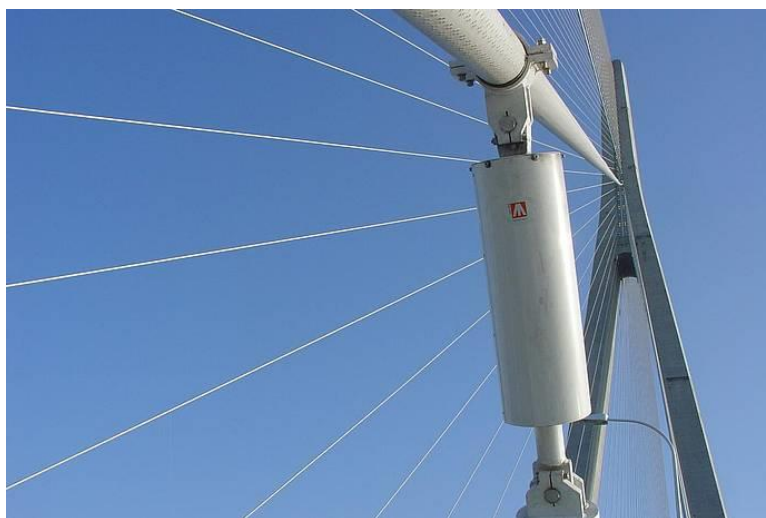


Рисунок 24. Канатный демпфер MAURER (источник: <https://www.maurer.eu/de/produkte/dehnfugen/dehnfugen-fuer-strassenbruecken/index.html>)

Преимущества:

1. Очень короткое время реакции благодаря низкой сжимаемости.
2. Высокая эффективность при очень малой высоте закрепления на канате для обеспечения архитектурных требований.
3. Для обеспечения максимальной эффективности поставляется также и в полуактивном исполнении.

Недостатки:

1. Высокая стоимость.
2. Использование нелинейных моделей при расчетах.

Заключение

На основе анализа способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий была скомпонована сводная таблица 5.

Таблица 5

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. 2. На выбор деформационного шва влияет топография строительной площадки (сейсмически активная или нет). 3. Деформационный шов должен быть способен выдерживать нагрузки и перемещения без повреждения поверхности или несущей конструкции в течение всего срока их службы. 4. В сейсмически активных районах строительства компенсатор должен допускать большие по величине продольные и поперечные перемещения. 5. Должен отвечать требованиям проектной и нормативной документации.
Опорные части	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. 2. Должны обладать определённой жесткостью. 3. Должны обладать способностью рассеивать энергию.
Демпферы	1. Не должны увеличивать жёсткость конструкции. 2. Должны иметь возможность использования при больших величинах сил и перемещений.

Составлено авторами

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раевская А.А. Технические решения сейсмозащиты мостов / А.А. Раевская, А.О. Быков, А.И. Платицына // Сборник статей международного научно-практического 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. Hithesh K Naik. Nonlinear Analysis of the Bridge Expansion Joint Sealing / Hithesh K. Naik, Dr.B. Ravindra, H.S. Manjunath // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) – 2018, – page 1281–1284.
4. Богданов Г.И. Опорные части мостов. Ч. 1: учеб. пособие для студентов вузов / Г.И. Богданов, С.С. Ткаченко, С.А. Шульман. – СПб.: Петербургский гос. университет путей и сообщения, 2006. – 32 с.

5. Овчинников И.Г., Раткин В.В., Макаров В.Н., Пискунов А.А. Деформационные швы автодорожных мостов (учебное пособие). Казань. Изд-во КазГАСА 2003. 136 с.
6. Ефанов А.В., Овчинников И.Г., Шестериков В.И., Макаров В.Н. Деформационные швы автодорожных мостов: особенности конструкции и работы: (учебное пособие). Саратов: СГТУ, 2005. – 174 с.
7. Ефанов А.В., Овчинников И.Г. Деформационные швы мостов: современное состояние проблемы // Вестник Саратовского государственного технического университета. Саратов. СГТУ 2006. №4(16), выпуск 1, с. 81–86.
8. Ефанов А.В., Иванов О.К., Овчинников И.Г. Проблемы применимости и эксплуатационной надежности деформационных швов мостовых сооружений // Транспортное строительство. 2007, №4. с. 15–20.
9. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Ефанов А.В., Старовойтов Г.В. Деформационные швы: перемещения от температур концов пролетных строений // Мир дорог, март 2009, №39, с. 50–53.
10. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Ефанов А.В., Старовойтов Г.В. Деформационные швы: перемещения от температур концов пролетных строений // Мир дорог, март 2009, №40, с. 28–29.
11. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Ефанов А.В., Старовойтов Г.В. Деформационные швы: влияние опорных частей и опор // Мир дорог, март 2009, №41, с. 52–55.
12. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Отечественные деформационные швы мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-41.pdf>. – М. с. 1–17.
13. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Рекомендуемые конструкции деформационных швов мостовых сооружений и рациональная область их применения // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-42.pdf>. – М. с. 1–7.
14. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Требования к деформационным швам мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-43.pdf>. – М. с. 1–6.

Berlov Stanislav Anatolievich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: berlovstanislav@yandex.ru

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: bridgeart@mail.ru

Comparative analysis of ways to protect bridge structures from external influences

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 impacts are permanent, there is an urgent question of protecting the structure from these impacts. This article is devoted to the analysis of ways to protect the bridge structure from external influences. The author analyzes these methods on the basis of publicly available data from companies engaged in the production of structures that prevent external influences, as well as on the basis of modern regulatory documents. The article presents such methods of protection as: deformation seams, support parts, dampers of various modifications and vibration dampers of shrouds. To choose the optimal method, both from the economic side and from the technical side, it is necessary to make verification calculations for static, dynamic and seismic effects, study the geological characteristics of the construction site, conduct mandatory tests of the structures used, as well as use regulatory documents and guidelines for testing and using seismic isolation devices. Also, the author of the article emphasizes that it is important to study ways to protect bridge structures not only in domestic practice, but also in foreign practice.

Keywords: bridge construction; expansion joint; bearing part; damping device; energy dissipation; active seismic protection systems; external influence

REFERENCES

1. Raevskaya A.A., Bykov A.O., Platitsyna A.I. (2017). Technical solutions for seismic protection of bridges. *Collection of articles of the International Scientific and Practical Competition of the ICSN "Science and Education"*, 2(1), pp. 211–239 (in Russian).
2. Kurbatskiy E.N. (2010). Seysmoizoliruyushchie ustroystva dlya mostov. [*Seismic isolation devices for bridges.*] Moscow: Moscow Institute of Transport Engineers, p. 73.
3. Hithesh K. Naik, Dr.B. Ravindra, H.S. Manjunath (2018). Nonlinear Analysis of the Bridge Expansion Joint Sealing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, pp. 1281–1284.
4. Bogdanov G.I., Tkachenko S.S., Shul'man S.A. (2006). Opornye chasti mostov. Chast' 1. [*Basic parts of bridges. Part 1.*] Saint Petersburg: Petersburg State University of Railway Transport, p. 32.
5. Ovchinnikov I.G., Ratkin V.V., Makarov V.N., Piskunov A.A. (2003). Deformatsionnye shvy avtodorozhnykh mostov. [*Expansion joints of road bridges.*] Kazan: Publishing house Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering, p. 136.

6. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G., Shesterikov V.I., Makarov V.N. (2005). Deformatsionnye shvy avtodorozhnykh mostov: osobennosti konstruktsii i raboty. [*Expansion joints of road bridges: design and operation features.*] Saratov: Saratov State Technical University, p. 174.
7. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G. (2006). Expansion joints of bridges: current state of the problem. *Bulletin of the Saratov State Technical University*, 4(16), pp. 81–86 (in Russian).
8. Efanov A.V., Ivanov O.K., Ovchinnikov I.G. (2007). Problems of applicability and operational reliability of expansion joints of bridge structures. *Transport construction*, 4, pp. 15–20 (in Russian).
9. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovchinnikov I.I., Efanov A.V., Starovoytov G.V. (2009). Expansion joints: displacements from temperatures of the ends of spans. *World of Roads*, 39, pp. 50–53 (in Russian).
10. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovchinnikov I.I., Efanov A.V., Starovoytov G.V. (2009). Expansion joints: displacements from temperatures of the ends of spans. *World of Roads*, 40, pp. 28–29 (in Russian).
11. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovchinnikov I.I., Efanov A.V., Starovoytov G.V. (2009). Expansion joints: the influence of supporting parts and supports. *World of Roads*, 41, pp. 52–55 (in Russian).
12. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. (2012). Domestic expansion joints of the bridge buildings. *Naukovedenie*, [online] 3(4), pp. 1–17. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-41.pdf> (in Russian).
13. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. (2012). Advisable designs expansion joints of the bridge buildings and rational area of their using. *Naukovedenie*, [online] 3(4), pp. 1–7. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-42.pdf> (in Russian).
14. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. (2012). Requirements to expansion joints of the bridge buildings. *Naukovedenie*, [online] 3(4), pp. 1–6. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-43.pdf> (in Russian).