

М. М. БРЕСЛЕР (компания «Maurer Soehne», Мюнхен, Германия),
В. Н. КОСЯК (ДИИТ)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ, И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Представлено концепцію та нові розробки компанії «Maurer Soehne», призначені для захисту транспортних споруд від впливів, викликаних переміщеннями, та забезпечення їх безпечної тривалої експлуатації.

Представлена концепция и новые разработки компании «Maurer Soehne», предназначенные для защиты транспортных сооружений от воздействий, вызванных перемещениями, и обеспечении их безопасной долговечной эксплуатации.

The conception and new developments of Company «Maurer Soehne» intended for protection of transport structures from influences caused by displacements and for providing of their safe long-term exploitation are presented.

Введение

Системы защиты транспортных сооружений от воздействий, вызванных перемещениями, широко применяются в настоящее время во всем мире.

Компания «Maurer Soehne» основана Фридрихом Маурером в 1876 г., ныне является признанным мировым лидером в разработке, производстве и внедрении подобных систем. Более 70 % объемов продукции составляют деформационные швы, опорные части, гасители колебаний и сейсмозащитное оборудование всех существующих систем для мостов и промышленно-гражданских сооружений.

Решать сложные технические задачи, возникающие в постоянно меняющихся условиях строительства и эксплуатации все более сложных сооружений компания «Maurer Soehne» способна благодаря взаимодействию с известными исследовательскими институтами Европы.

Высокое качество всех мостовых конструкций, производимых компанией «Maurer Soehne», гарантирует высокие показатели качества и надежности, а так же долговечность сооружений в целом.

Основная концепция

Продукция, выпускаемая «Maurer Soehne», предназначена для обеспечения защиты сооружений от воздействий, вызванных перемещениями. Многообразные деформации и переме-

щения на мосту создаются внутренними и внешними напряжениями, которые должны учитываться во время проектирования устройств конструкционной защиты.

С одной стороны компенсация перемещения моста гарантируется сложной системой опорных частей, а с другой стороны конструкционными зазорами между смежными секциями пролетных строений моста, соединенных, как правило, деформационными швами, несущими транспортную нагрузку.

Для защиты сооружений, подверженных риску повреждения вследствие вибрации, например, мостов, стальных дымовых труб, оснований транспортных сооружений и т.д., используются антисейсмические устройства, демпферы и вибропоглотители.

В данной статье особое внимание уделено новым разработкам, которые предназначены для защиты транспортных сооружений от сейсмических воздействий. За последние годы было сделано несколько значительных разработок в сейсмической технологии. Прогресс обусловлен развитием и внедрением новых проектных стратегий (например, обеспечение сейсмической изоляции).

Деформационные швы

Для защиты несущих конструкций сооружения, расположенных ниже проезжей части, от агрессивных смесей, особенно зимой при посыпке проезжей части солевыми смесями, и обеспечивать прочность и выносливость торцов

пролетных строений, необходимы элементы сопряжения, обеспечивающие безопасный проезд и защиту сооружения от динамических воздействий.

Одним из основных отличительных признаков деформационных швов является водонепроницаемость. Деформационные швы фирмы «Maurer Soehne» состоят из металлических деталей, обеспечивающих жесткую анкеровку в пролетных строениях, и специального резинового компенсатора – герметика. Конструкции швов позволяют производить замену компенсатора с проезжей части и состыковывать резиновые элементы путем горячей вулканизации.

При проектировании и производстве систем защиты сооружений от воздействий, вызванных перемещениями, учитываются все параметры условий монтажа и эксплуатации конструкций.

При ремонтах и заменах деформационных швов учитываются особенности проектов производства работ, и предусматривается возможность замены конструкций по полосам движения.

Землетрясения могут вызывать конструкционные перемещения, которые значительно больше, во много раз быстрее и намного сложнее по своему направлению, чем возникающие в обычных рабочих условиях.

Для транспортных сооружений, которые могут быть подвержены сейсмическим воздействиям, целесообразно применение особых деформационных швов.

Стандартные требования, установленные для рабочих условий, являются несущественными во время сейсмических действий. Однако особое значение имеют следующие положения:

- поддержание эксплуатационной пригодности конструкции после землетрясения, по крайней мере, для аварийных транспортных средств, а также
- защита конструкции от ударных повреждений, вызываемых перемещениями, закрытыми деформационными швами во время землетрясения.

Интенсивные исследования и разработки в сочетании с опытом, приобретенным благодаря монтажу более миллиона метров встроенных деформационных швов, позволили разработать специальную конструкцию шва для применения на сооружениях в сейсмически опасных районах.

С учетом требований долгосрочной и безотказной работы в нормальных условиях экс-

плуатации, деформационные швы с поворотными траверсами были дополнительно усовершенствованы с тем, чтобы отвечать и вышеупомянутым сейсмическим требованиям. Когда деформационный шов или конструкционный зазор закрывается, это может привести к повреждениям или разрушению конструкции.

Для лучшей защиты мостовой конструкции в дополнение к сейсмическому деформационному шву разработан «предохранительный блок» нового типа. Если деформационный шов должен закрыться в случае землетрясения, будут активизированы предварительно определенные точки разрушения. Система анкеровки разъединяется вдоль рампы в соответствии с определенной нагрузкой разрушения, и возвращается в свое первоначальное положение после завершения землетрясения. Стопоры обеспечивают временную фиксацию положения.

Аварийные транспортные средства могут проходить через деформационные швы. Однако анкеровка должна быть восстановлена. Применение предохранительного блока, если это происходит, значительно снижает количество требуемых элементов уплотнения.

При использовании специальных сейсмических устройств на мостах могут быть установлены деформационные швы MAURER с поворотными траверсами (рис. 1).



Рис. 1. Деформационный шов с поворотными траверсами

Универсальная подвижность таких швов делает их пригодными для компенсации переменных деформаций вдоль конструкции моста. Шов может не только следовать главному перемещению моста в направлении продольной оси проезжей части, но и заметным перемещениям в двух пространственных направлениях,

перпендикулярных основному направлению. Швы легко воспринимают даже вращение моста вокруг трех пространственных осей.

Железнодорожные деформационные швы

На федеральных железных дорогах Германии используют три различных типа деформационных швов на мостовых конструкциях:

- соединительные плиты, первично для продольных швов между двумя элементами верхнего строения пути, где перемещение небольшое;
- водонепроницаемые деформационные швы для перемещений среднего размера;
- открытые деформационные швы для больших перемещений, в основном в качестве перекрестных (поперечных) деформационных швов на больших равнинах и речных мостах.

В качестве ведущего производителя водонепроницаемых деформационных швов для строительства дорожных мостов, компания «Maurer Soehne» разработала подобную систему поперечных и продольных деформационных швов для железнодорожных мостов.

Деформационные швы типа MAURER DB состоят из пяти основных элементов:

1. Секция сплошного фундамента, которая поглощает перемещение конструкции.
2. Зажимная секция, которая обеспечивает предварительное натяжение секции сплошного фундамента и, таким образом, водонепроницаемое крепление.
3. Верхнее строение пути, анкерванное к смежным конструкциям, в форме угловых секций, которые заливаются бетоном или укрепляются сваркой.
4. Винтовое крепление, которое обеспечивает предварительное натяжение.
5. Эластомерное уплотнение для закрытия шва, с целью герметизации конструкции.

Опорные части

В опорных частях скольжения с применением нового материала «MSM®» коэффициент трения был снижен до рекордных 2 %, что позволило существенно снизить фактические горизонтальные воздействия как на опоры и их основания, так и на пролетные строения. Практически нулевая истираемость материала «MSM®» в условиях эксплуатации позволяет обеспечить долговечность опорных частей, равную долговечности самого сооружения.

Для снижения уровня шума разработана опорная часть MAURER VK, а для применения

в сейсмически активных районах – сейсмические опорные части MAURER.

Функцию демпфирования сейсмических воздействий выполняют эластомерные опорные части со свинцовыми сердечниками. Совершенно новыми в этом направлении являются Maurer-сферические маятниковые опорные части скольжения, предназначенные для сейсмоизоляции сооружений. В отличие от известных в этой области маятниковых опорных частей трения американского производства, опорные части с применением в них материала «MSM®» обладают очень низким трением и, как следствие, очень высокой степенью изоляции.

В общем случае, используются четыре различных типа упрочненных эластомерных опорных частей:

- тип 1: упрочненная эластомерная опорная часть без анкеровки;
- тип 2: упрочненная эластомерная опорная часть с анкеровкой;
- тип 1/2: однонаправленная упрочненная эластомерная опорная часть с анкеровкой;
- тип 5: как тип 2, но с использованием стальных рифленых листов.

На рис. 2 представлена конструкция сферической опорной части с примененным материалом «MSM®».



Рис. 2. Конструкция опорной части с применением материала «MSM®»

Материал «MSM®» может подвергаться в два раза большему сжимающему напряжению, может воспринимать, по крайней мере, пятикратное аккумулированное скользящее смещение, и в 7,5 раз более высокую скорость скольжения.

Скользкий материал «MSM®» способен воспринимать экстремальные смещения в случае землетрясения, а также воспринимать высокие аккумулированные скользящие смещения и скорости скольжения, которые возникают на этом мосту на стадии эксплуатации.

Изоляторы. Антисейсмические устройства. Гидравлические демпферы

В течение десятилетий вибропоглотители и сейсмические устройства MAURER использовались для защиты конструкций, испытывающих риск повреждений от вибрации. Защита от вредных вибраций, создаваемых пешеходным движением, ветром и землетрясениями, обеспечивается оборудованием, специально разработанным для каждого конкретного применения. Применяются методы рассеяния энергии и изолирования конструкции.

Современные передовые конструкции, защищенные от воздействия землетрясений, используют новейшие технологические достижения. Гибкое соединение между конструкцией и ее фундаментами значительно снижает количество сейсмической энергии, поступающей в конструкцию. Разъединение зоны контакта сооружения и сотрясаемого подстилающего слоя грунта с помощью изоляторов позволяет конструкции оставаться в своем положении без возникновения ускорений и деформацией, вызываемых землетрясением. Для увеличения амортизирующей способности и рассеяния сейсмической энергии могут быть установлены дополнительные амортизирующие устройства.

Система изолирования предназначена для:

- передачи вертикальных нагрузок;
- обеспечения гибкого горизонтального соединения между конструкцией и фундаментом;
- повторного центрирования конструкции во время и после землетрясения;
- обеспечения возможности рассеяния (диссипации) энергии.

На выбор типа изолятора, используемого в сооружении, существенно влияют следующие граничные условия:

- тип ожидаемого сейсмического события;
- тип конструкции;
- тип/состав подстилающего слоя грунта;
- максимально допустимые конструкционные деформации и усилия.

К современным изоляторам, рекомендуемым компанией «Mauger Soehne», относятся:

- резиновые опорные части с различными собственными свойствами амортизации;
- опорные части из просвинцованной резины (LRB);
- скользящие изоляторы маятникового типа (SIP).

Все конструкции и устройства успешно прошли несколько полномасштабных испытаний и обязательную сертификацию, гарантирующую высокое качество. Исследования были выполнены в признанных европейских институтах, например, в испытательных институтах Университетов Сан-Диего, Беркли, Бохума, Мюнхена.

Устройства Mauger могут быть снабжены датчиками и оборудованием для передачи данных, обеспечивающими настройку системы мониторинга, что позволяет проводить дистанцированное наблюдение за сооружением.

Системы контроля вибрации сокращают частоты структур или отдельных частей сооружения. Для известных диапазонов частот могут быть применены адаптивные демпферы Mauger, которые приспособливают элементы к возникающим колебаниям.

В случае сейсмического воздействия при землетрясениях специальные механические устройства выполняют следующие функции:

- воспринимают и передают дополнительную вертикальную нагрузку;
- изолируют конструкции от горизонтальной составляющей сейсмически атакованного подстилающего слоя грунта, когда лишь небольшая часть сейсмической энергии воздействует на конструкцию (в идеальном случае достигается полное изолирование объекта);
- поглощают конструкционное возбуждение колебаний, соответственно, контролируемые перемещения конструкции с рассеянием сейсмической энергии, которая была передана с грунта;
- горизонтальное повторное центрирование конструкции во время и после сейсмического воздействия, с целью исключения как повреждения конструкции (например, моста), так и последующего требуемого механического повторного центрирования конструкции.

В рамках защиты сооружений от сейсмических воздействий разработаны высокоэффективные гидравлические демпферы, позволяющие ограничить воздействующие усилия на заданном проекте расчетном уровне.

Гидравлический амортизатор MHD MAURER (рис. 3) внешне мало отличается от многих других устройств, разработанных ранее. Существенное техническое отличие – наличие классического гидравлического цилиндра, в котором сила противодействия является функцией от расхода жидкости, перетекающей между его камерами. Такая система обеспечивает практически неизменную силу противо-

действия, независимо от внешней действующей скорости и температуры. При этом возможность рассеяния механической энергии, которая передается землетрясением на конструкцию, будет максимизирована, что гарантирует значительную степень защиты конструкции.

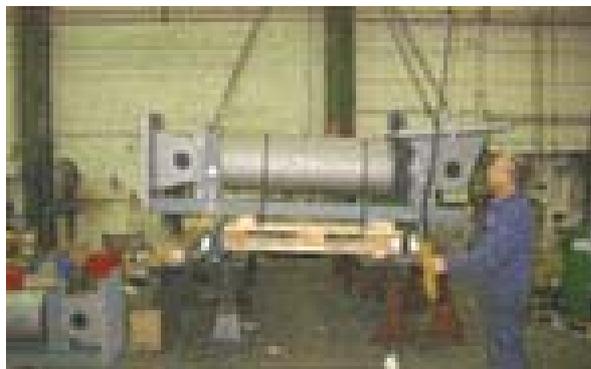


Рис. 3. Гидравлический амортизатор MHD MAURER

Гидравлический амортизатор MHD от компании «Maurer Soehne» может рассматриваться как устройство, обладающее способностью поглощать объемные колебания гидравлической жидкости, которые создаются изменением температуры окружающей среды, и, прежде всего, наиболее значительные колебания, возникающие во время землетрясения. Это устройство представляет собой интегральную внутреннюю часть всего устройства гидравлического амортизатора. Амортизатор MHD компактен и не имеет каких-либо выступающих наружу и уязвимых деталей.

Устройство передачи ударных воздействий MSTU MAURER является гидравлическим устройством для обеспечения жесткого соединения конструкционных частей, которые в обычных условиях являются подвижными, без значительного усилия.

Очень малые смещения, обусловленные температурными изменениями и ползучестью/усадкой, вызывают небольшие силы противодействия в устройстве MSTU. При возникновении неожиданных ударных ускорений, что наблюдается при землетрясениях или торможении транспортных средств, сопровождающихся повышенными скоростями относительного смещения между пролетными строениями и ниже расположенными конструкциями, которые превышают, примерно 0,1 мм/с, устройство MSTU реагирует значительным увеличением силы противодействия. После чего устройство блокирует любое относительное смещение между соединенными деталями конструкции.

Устройство MSTU имеет следующие характеристики:

- два направления действия;
- отсутствует предварительное напряжение, поскольку при обслуживании внутреннее давление равно нулю;
- все компенсирующие контейнеры и клапаны расположены внутри;
- нет необходимости регулировки;
- максимальное усилие может быть точно ограничено, в случае возникновения непредвиденных высоких нагрузок, конструкция и устройство MSTU не получают существенных повреждений;
- отсутствует необходимость проведения работ по техническому обслуживанию; рекомендуется проводить визуальный осмотр в рамках периодического осмотра моста;
- малые размеры и простота установки;
- диапазон температур: от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$.
- сферические шарниры на обоих концах устройства для подгонки с учетом монтажных допусков.

Полуактивный амортизатор Maurer разработан в рамках Европейского исследовательского проекта для обеспечения строительства с учетом современных технологий. Область их применения – очень узкие конструкции (например, пешеходные мосты, филигранные конструкции покрытий), сооружения в регионах с высокой сейсмической активностью, – т.е. случаи, когда необходимо использовать специальные стратегии для преодоления динамической реакции конструкции.

При проектировании основной конструкции необходимо обеспечить соответствие динамической реакции допустимому уровню деформаций и внутренних реакций, или применение дополнительных амортизирующих элементов, снижающих деформации и реакции до допустимых значений.

Полуактивные амортизаторы, включающие требуемые компоненты – алгоритмы управления и оборудование, магнетореологические жидкости, аппаратуру, были успешно испытаны как в лабораторных условиях, так и на эксплуатируемых сооружениях.

Фрикционные амортизирующие вибропоглотители.

Многодисковые фрикционные вибропоглотители MAURER разработаны в двух версиях:

- многодисковый фрикционный вибропоглотитель с одиночной массой маятника;

- многодисковый фрикционный вибропоглотитель с кольцевой массой маятника.

При проектировании многодискового фрикционного вибропоглотителя, особое внимание было уделено надежной, не требующей ухода работе в течение длительного срока эксплуатации. Все элементы защищены от атмосферных воздействий. Принцип наложенных фрикционных дисков исключает опасность образования льда на поверхности трения. Бесшумная работа гарантируется расположением изолирующих слоев.

Для последующего восстановления конструкций, подвергающихся опасным вибрациям, транспортируемые элементы вибропоглотителей могут быть собраны на площадке. Более того, конструкция позволяет адаптацию к существующим условиям благодаря регулируемой длине маятника и переменной массе маятника.

Вязкостные амортизаторы.

Как правило, конструкция вязкостного амортизатора состоит из гидравлического цилиндра, окружающего поршень, головка которого формирует две камеры. Последние соединены соплами или клапанами, которые могут быть установлены внутри или снаружи цилиндра. Устройство оборудуется аккумулятором, принцип функционирования которого состоит в компенсации разницы распространения температуры между гидравлической жидкостью и стальными элементами.

Каждый тип амортизатора аккумулирует или рассеивает энергию. Вязкостный аккумулятор, например:

- аккумулирует энергию упругой деформации посредством деформирования механических компонентов и сжатия гидравлической жидкости;

- аккумулирует кинетическую энергию в своих подвижных компонентах (т.е., поршнях);

- рассеивает энергию гистерезиса посредством трения в уплотняющих элементах;

- рассеивает гидравлическую энергию через сопла и клапаны.

В основном превалирует последний из перечисленных тип рассеяния, в соответствии с которым устройство классифицируется как вязкостный амортизатор. Амортизаторы такого типа используются как на пешеходных мостах, так и канатных висячих мостах и арочных мостах.

Для вантовых мостов могут быть применены демпферы для гашения колебаний вант. В этой области разработано решение, позволяющее изменять параметры гашения в зависимости от величины воздействия и таким образом существенно снизить время гашения.

Для пешеходных мостов разработаны специальные гасители колебаний. Их конструкция позволяет корректировать параметры гашения в соответствии с фактическими значениями собственных колебаний пролетных строений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бреслер, М. Анализ применения новых конструктивных решений в области систем защиты мостовых сооружений от воздействий, вызванных перемещениями [Текст] / М. Бреслер // Дороги і мости: зб. наук. пр. в 2 т: Т. 1 / ДерждорНДІ. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 48-52.
2. Косяк, В. М. Розвиток конструктивних форм елементів мостів для роботи в умовах сейсмічних впливів [Текст] / В. М. Косяк // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 5. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005.
3. Килимник, Л. Ш. Методы целенаправленного проектирования в сейсмостойком строительстве [Текст] / Л. Ш. Килимник. – М.: Наука, 1985.

Поступила в редколлегию 09.04.2010.

Принята к печати 16.04.2010.