

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/02SATS226.pdf>

DOI: 10.15862/02SATS226 (<https://doi.org/10.15862/02SATS226>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Алексеева, Д. В. Современное состояние деформационных швов автодорожных мостов / Д. В. Алексеева, Н. М. Быкова // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://t-s.today/PDF/02SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/02SATS226.

For citation:

Alexeeva D.V., Bikova N.M. The current state of expansion joints of highway bridges. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(2): 02SATS226. Available at: <https://t-s.today/PDF/02SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/02SATS226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 004.942:624.21

Алексеева Дарья Владимировна

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия
Аспирант кафедры «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
E-mail: darya-alex603@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1844-5125>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1340852

Быкова Наталья Михайловна

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия
Доцент кафедры «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bikovanm@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0676-4752>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=518344

Современное состояние деформационных швов автодорожных мостов

Аннотация. Деформационные швы автодорожных мостов являются критически важным элементом транспортного сооружения и функционируют в условиях интенсивных динамических нагрузок, перепадов температур и воздействия окружающей среды. Совокупность данных факторов зачастую приводит к их преждевременному выходу из строя, снижению безопасности движения и росту эксплуатационных затрат. Цель обзора — проанализировать современное состояние конструкций деформационных швов, систематизировать основные эксплуатационные проблемы и причины их возникновения, а также оценить перспективы повышения надежности этих элементов с учетом зарубежного опыта и региональных особенностей. Авторами рассмотрены назначение, основные эксплуатационные требования и классификация конструкций по способу перекрытия зазора. Приведены преимущества и недостатки каждого типа, а также эволюция применения швов в Российской Федерации с акцентом на импортозамещение после 2022 года. В статье рассматривались основные типы эксплуатационных отказов и систематизированы причины их возникновения. Обобщен зарубежный опыт: европейский подход к испытаниям модульных деформационных швов, японские разработки по сейсмозащите.

На основе анализа 179 мостов и путепроводов Иркутской области выявлена региональная специфика отказов, обусловленная резко континентальным климатом, высокой сейсмической активностью. По результатам исследования определены три основные группы причин отказов и предложены направления повышения надежности деформационных швов в сложных природно-климатических условиях.

Сделан вывод, что для повышения надежности деформационных швов необходимо совершенствование методик расчетов с учетом реальных перемещений, строгий контроль монтажа и адаптация конструкций к региональным природным условиям.

Ключевые слова: деформационный шов; автодорожные мосты; классификация; эксплуатационные отказы; зарубежный опыт; сейсмическое воздействие; региональные особенности

Введение

Деформационные швы представляют собой критически важные конструктивные элементы мостовых сооружений на автомобильных дорогах, которые функционируют в условиях интенсивных динамических транспортных нагрузок и природных воздействий. От их работы напрямую зависят безопасность, комфорт движения и долговечность мостового перехода в целом.

В связи с увеличением интенсивности движения автомобильного транспорта возрастают требования к эксплуатационным показателям моста (грузоподъемность, безопасность движения, долговечность), соответственно, существует необходимость совершенствования конструкций деформационных швов для удовлетворения современным требованиям эксплуатации мостовых сооружений. В таких условиях деформационные швы испытывают повышенные динамические воздействия [1]. Свой вклад в конъюнктуру конструкций вносит политика и наложение санкций.

Средний срок службы мостового перехода в зависимости от конструкции составляет от 70 до 100 лет. Рекомендуемый минимальный срок службы деформационных швов определен как 10–20 лет¹, но опыт их эксплуатации свидетельствует об уменьшении даже этого срока.

Целью исследования является анализ существующих конструкций деформационных швов, основных проблем их эксплуатации и причин возникновения этих проблем, а также, анализ состояния деформационных швов на мостах Иркутской области.

Основные свойства и назначение деформационных швов

Согласно ОДМ 218.2.025-2012, деформационный шов представляет собой конструктивный элемент мостового полотна, предназначенный для перекрытия или заполнения зазора между пролетными строениями, а также пролетным строением и опорой. Его главная функция заключается в обеспечении взаимных перемещений сопрягаемых элементов. Фиксация шва к несущим конструкциям осуществляется с помощью анкерных креплений.

С учетом требований ГОСТ Р 71330-2024², конструкции деформационных швов должны обладать следующими потребительскими свойствами, определяющих их надежность и эффективность:

¹ ОДМ 218.2.025-2012 "Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах", 2012.

² ГОСТ Р 71330-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Швы деформационные с резиновым компенсатором пролетных строений автодорожных мостов.» Общие технические условия: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 01.06.2024. — Москва: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024.

- эксплуатационно-технологические свойства: обеспечение безопасности и комфортности движения транспортных средств за счет создания плавного, беспрепятственного сопряжения между элементами моста без недопустимых перепадов уровней;
- герметичность: предотвращение проникновения через шов влаги и противогололедных химических реагентов к опорным частям и в подмостовое пространство, что является важным фактором защиты от коррозии и сохранения долговечности конструкций;
- обеспечение перемещений: способность беспрепятственно компенсировать изменения ширины деформационного зазора, вызванные температурными воздействиями, усадкой, ползучестью бетона, а также, динамическими нагрузками от транспорта;
- ремонтпригодность и обслуживаемость: конструкция должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить доступ для регулярного осмотра, очистки от засорений и замены изношенных элементов без существенного нарушения работы конструкции;
- долговечность: устойчивость всех элементов шва к комплексу климатических и эксплуатационных воздействий: экстремальным перепадам температур, циклам замораживания-оттаивания, ультрафиолетовому излучению, сейсмическим воздействиям и другим факторам.

Указанные функции должны сохраняться на протяжении всего жизненного цикла сооружения. Деформационный шов является критически важным элементом сооружения, от корректной работы которого напрямую зависят безопасность и долговечность мостового перехода.

Классификация деформационных швов

Разнообразие инженерно-технических решений, применяемых при проектировании мостовых сооружений, а также широкий спектр внешних условий и эксплуатационных требований привели к формированию различных типов деформационных швов [2–5].

Классифицировать деформационные швы с учетом величины воспринимаемых перемещений можно по ряду различных признаков, таких как: тип материала, конструктивное исполнение.

В мостостроении одним из основных критериев классификации деформационных швов является способ перекрытия зазора, поэтому принято их разделять на следующие типы:

- *Открытые* — зазор между торцами пролетных строений или между пролетными строениями и устоем никак не перекрыт в уровне дорожной одежды. Конструкция представляет собой прямой или профильный зазор, заполненный только эластичным герметиком (мастикой) для защиты конструкций ниже шва от воды и мусора. На сегодняшний день данная конструкция практически не используется на автомобильных дорогах и мостах из-за низких эксплуатационных качеств.

- *Закрытые* — данная конструкция характеризуется закрытым зазором в уровне дорожной одежды, что позволяет создать сплошное покрытие. В зазор устанавливается специальный эластичный профиль из резины или другого полимера. Профиль герметично закрепляется с помощью специализированных систем крепления на бетоне дорожной одежды с обеих сторон. Сверху шов может иметь дорожное покрытие или выполнен в виде износостойкого слоя. Стоит отметить, что данная конструкция применяется на мостах, эстакадах, путепроводах с малой и средней величиной перемещений.

- *Заполненные* — зазор заполнен по всей глубине упругим, но не несущим нагрузку от колес, материалом (рис. 1). Сверху материал перекрыт прочным элементом, воспринимающим нагрузку. В зазор укладывается сжимаемый наполнитель, основная задача которого — обеспечить свободное перемещение и служить основой для герметичности. Сверху заливается или укладывается прочный, но эластичный герметик, который непосредственно контактирует с колесами. Иногда сверху может быть металлическая или армированная защитная полоса.

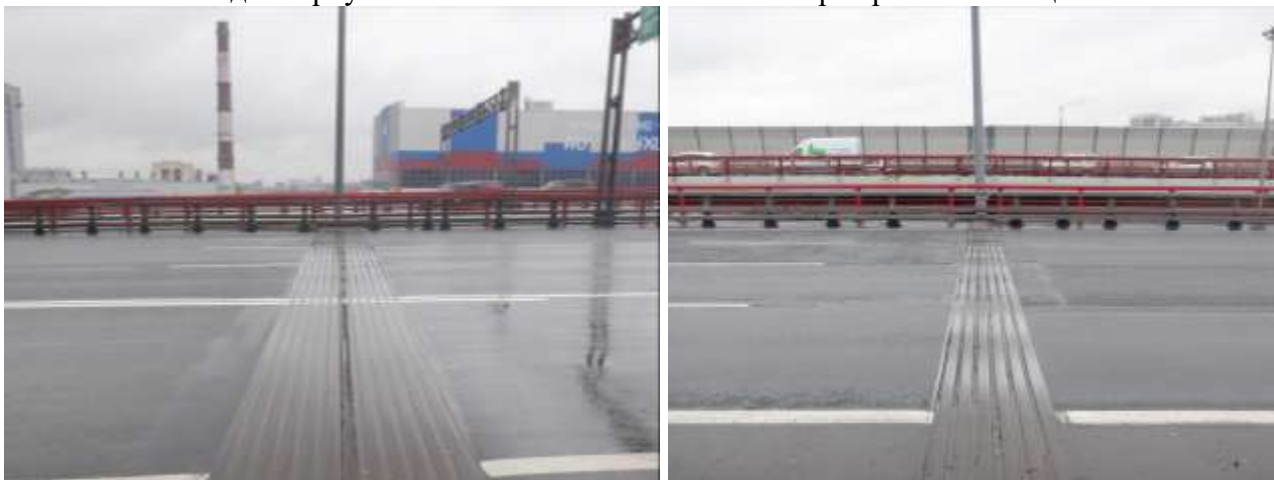


Рисунок 1. Заполненные деформационные швы на федеральных автомобильных дорогах между большими пролетами (разработано авторами)

- *Перекрытые* — зазор перекрыт сверху системой взаимоперекрывающихся металлических элементов (гребенок, пальцев плит), которые скользят друг относительно друга (рис. 2). Конструкции пальцевые (гребенчатые), на торцах смещаемых конструкций закреплены металлические «пальцы» (пластины), которые входят в промежутки между пальцами противоположной стороны, образуя гребенку, между пальцами оставляют зазор для движения. Плитные (балочные) состоят из отдельных поперечных балок или плит, которые перекрывают зазор и опираются на элементы с обеих сторон. Плиты могут быть соединены шарнирно и иметь компенсаторы. Применяются на больших мостах со значительными деформационными перемещениями.



Рисунок 2. Деформационные швы перекрытого типа (разработано авторами)

- *Откатного типа* — это усовершенствованные и сложные перекрытые швы, в которых подвижная часть не просто скользит, а осуществляет направленное выдвижение (откат) по принципу телескопической системы. Предназначены для очень больших перемещений. Конструкция состоит из нескольких уровней (ярусов) металлических балок или рам, которые

вложены друг в друга и перемещаются по направляющим. Верхние элементы перекрывают зазор и связаны с одним пролетным строением, ниже с другим. Для них характерно обязательное наличие надежных уплотнителей между ярусами для защиты от воды и мусора. Деформационные швы откатного типа являются разновидностью швов перекрытого типа.

В таблице 1 приведены преимущества и недостатки основных конструкций деформационных швов.

Таблица 1

Преимущества и недостатки основных конструкций деформационных швов

Тип шва	Преимущества	Недостатки
Открытые	— низкая стоимость; — простота обустройства; — большая устойчивость к деформациям.	— шум и динамические нагрузки; — снег, лед, грязь попадают прямо на опорные части и другие элементы ниже шва; — низкая герметичность; — отсутствует возможность задержать воду и противогололедные реагенты.
Закрытые	— плавность хода и бесшумность; — высокая герметичность; — защита подмостовых конструкций от воды и грязи; — комфорт движения.	— сложность монтажа, требующая высокого качества работ; — ограниченная деформационная способность.
Заполненные	— лучшая герметичность и защита, чем у открытых швов; — высокая деформационная способность; — простота ремонта.	— износ верхнего герметизирующего слоя от колес и погоды требует периодического восстановления; — уступает закрытым или перекрестным системам по ровности и долговечности.
Перекрытые	— высокая прочность и долговечность; — способность воспринимать большие нагрузки и перемещения; — бесперебойный отвод воды через специальные каналы.	— относительно низкая ровность (удар колеса о металл), высокий шум при движении транспорта; — сложность конструкции и высокая стоимость.; — требуют надежной защиты от коррозии.
Откатного типа	— способность компенсировать большие продольные перемещения; — высокая несущая способность; — более контролируемая и плавная работа по сравнению с простыми гребенчатыми швами.	— высокая сложность и стоимость изготовления и монтажа; — требуют тщательного обслуживания и защиты систем скольжения и уплотнений.

Составлено авторами

Эволюция применения деформационных швов на федеральных автомобильных дорогах Российской Федерации характеризуется наличием двух этапов. Первый, охватывающий период с 1960-х годов по 2010-е годы, отличался наличием преимущественно импортных конструкций. Зарубежные технологические решения обладали высокими эксплуатационными характеристиками, что позволило им получить широкое распространение в отечественной дорожной сети. Принципиальное изменение вектора развития произошло с активацией политики импортозамещения в транспортном строительстве. Начиная с 2022 года российская строительная индустрия была вынуждена пересмотреть производственные цепочки, что привело к активному развитию новых технологий и налаживанию выпуска отечественных материалов.

До введения санкционных ограничений значительная часть деформационных швов для автомобильных дорог импортировалась из стран Европы и Азии. Преобладающую долю занимала продукция швейцарской компании Magera и немецкой компании Maurer, они отличались высокой надежностью и способностью компенсировать широкий диапазон перемещений.

Отечественные научные институты на протяжении длительного времени вели исследования деформационных швов в различных областях, а также накапливали опыт эксплуатации различных систем в условиях перепада температур и сложных грунтов. При создании новых конструкций за основу были взяты зарубежные разработки, однако с учетом имеющихся знаний они были адаптированы к особенностям отечественных конструкций мостового полотна и дорожной одежды. В частности, изменениям подверглись форма и размеры конструктивных элементов деформационных швов. Стальные элементы теперь имеют высоту, равную толщине дорожной одежды, что обеспечивает их большую долговечность. Кроме того, стальные элементы изготавливают цельными по сечению, в отличие от зарубежных сварных аналогов, которые разрушаются при наезде колеса.

Одной из ключевых организаций, изготавливающей деформационные швы в Российской Федерации, является компания ООО «Деформационные швы и опорные части». Данная фирма изготавливает такие деформационные швы:

- однопрофильные деформационные швы — предназначены для перемещений до 80 мм;
- многопрофильные (модульные) деформационные швы — модульная контракция для перемещений свыше 350 мм. Состоит из нескольких параллельных стальных профилей, соединенных резиновыми мембранами. Обеспечивает компенсацию перемещений до 800 мм и применяется для крупных мостовых переходов;
- резинометаллические деформационные швы — применяются при перемещениях 80–350 мм;
- Щебечно-мастичный Торма-Джоинт ВJ — деформационный шов закрытого типа, устраиваемый по горячей технологии. Основу составляет полимерно-битумная мастика с минеральным наполнителем, укладываемая в подготовленную нишу при высокой температуре.

Ключевыми преимуществами современных конструкций являются:

- повышенная долговечность: современные методы герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог позволяют значительно увеличить срок службы конструкций;
- технологичность монтажа: конструкции предусматривают упрощенные методы установки, что сокращает время проведения ремонтных работ и минимизирует перекрытие движения. При выборе конструкции шва необходимо правильно определить перемещения и назначить установочные размеры требуемого расстояния;
- экономическая эффективность: импортозамещение в производстве деформационных швов позволяет снизить стоимость материалов по сравнению с зарубежными аналогами, при сохранении высокого качества;
- такие конструкции разрабатываются с учетом климатических условий различных регионов России и способны выдерживать экстремальные температурные колебания от -60 до +70 °C.

Эксплуатационные проблемы и их причины

Деформационные швы автодорожных мостов представляют собой ответственные и одновременно уязвимые элементы мостовых сооружений, которые в процессе эксплуатации подвергаются комплексному воздействию климатических, механических и сейсмических

факторов, что приводит к развитию различных отказов. Вопросами работы деформационных швов активно занимались Овчинников И. Г, Овчинников И. И. и Валиев Ш. Н. [6–10]. В своих работах они предложили детальную классификацию отказов, которая включает следующие основные группы:

- *механические повреждения*: коррозионное разрушение анкерных элементов и крепежных узлов; излом и деформация металлических компонентов; выкрашивание и разрушение бетонного основания в зоне шва;
- *эксплуатационные отказы*: нарушение герметичности с последующим прониканием воды и противогололедных реагентов; образование колеи в зоне деформационного шва из-за повышенной интенсивности движения; заклинивание подвижных элементов шва посторонними предметами; износ рабочих поверхностей;
- *конструктивные недостатки*: несоответствие расчетных и фактических перемещений вследствие крена опоры (рис. 3); недостаточная жесткость анкеровки при динамических воздействиях; неправильный выбор типа шва для конкретных условий эксплуатации; нарушение температурного режима работы шва.



Рисунок 3. Несоответствие конструкции деформационного шва диапазону возможных перемещений сопрягаемых конструкций (разработано авторами)

Коррозионное разрушение элементов проявляется в виде обрыва анкерных стрежней, отслоения защитного слоя бетона в пришовной зоне и потери связи между швом и пролетным строением. Ускоряет процесс коррозии применение противогололедных материалов, циклическое замораживание-оттаивание влаги в полостях шва и высокая влажность атмосферного воздуха.

На заклинивание шва влияют неправильная оценка амплитуды температурных деформаций при проектировании, накопление посторонних материалов (щебень, лед, дорожная пыль) в рабочей полости шва, а также пластические деформации или смятие металлических профилей после экстремальных температурных или сейсмических воздействий. Заклинивание приводит к передаче температурных напряжений на пролётное строение или плиту проезжей части, что вызывает образование трещин.

При протечках деформационных швов вода проникает на опорные части моста, вызывая их коррозию и преждевременный выход из строя. Кроме того, влага, попадая на пролётное строение, вымывает цементный камень, что приводит к коррозии рабочей арматуры и снижению несущей способности конструкции.

Эксплуатационные отказы деформационных швов, как правило, вызваны совокупным воздействием факторов, возникающих на различных этапах жизненного цикла мостового сооружения: проектировании, строительстве и эксплуатации. К наиболее значимым причинам можно отнести следующие:

- *технологические нарушения при устройстве*: некачественная анкеровка конструкций является одной из главных причин их последующего разрушения. Даже при значительном отклонении от технологии монтажа (недостаточная глубина анкеровки, нарушение защитного слоя бетона, использование некачественных материалов) приводят к сокращению срока службы деформационных швов в 2–3 раза;
- *климатические и агрессивные воздействия*: многие используемые материалы не обладают достаточной морозостойкостью и химической стойкостью в условиях российского климата;
- *проектные ошибки*: неправильный выбор типа деформационного шва для конкретного моста или недостаточный запас по перемещениям часто становятся причиной аварийных ситуаций.

Зарубежный опыт эксплуатации деформационных швов

История развития деформационных швов в зарубежном мостостроении насчитывает более полувека. Если в середине XX века основной задачей было просто перекрыть зазор между пролетами, то сегодня деформационный шов превратился в высокотехнологичную систему. Эволюция подходов шла по пути снижения шума, обеспечения водонепроницаемости и ремонтпригодности без перекрытия движения.

Каждая страна с развитой дорожной инфраструктурой прошла свой путь к современным стандартам. В Германии это привело к созданию долговечных материалов, в Швейцарии — к системам быстрой замены швов, в Японии — к конструкциям, выдерживающим сильные землетрясения. Важным этапом было проведение испытаний и моделирования работы деформационных швов для оценки их характеристик, этим занимались ученые из разных стран [11; 12].

Одной из причин выхода из строя деформационных швов является усталость металла из-за динамических нагрузок от транспорта, превышающих проектные значения. В Японии, где плотность движения крайне высока, зафиксированы случаи разрушения центральных балок модульных швов из-за резонансных колебаний. Японский опыт фокусируется на защите от усталостных разрушений через применение демпфирующих элементов и строгий контроль весовых параметров транспорта на подъездах к мосту. Так же применяется система мониторинга нагрузок в реальном времени, сопоставляемых с данными о состоянии шва [13].

Рассматривая вопрос о дефектах разрушения переходных зон деформационных швов, можно выделить несколько решений. Первым является необходимость использования ультра-высокопрочного фибробетона (УНРС). Исследования института строительных конструкций университета Касселя подтвердили, что УНРС обладает трещиностойкостью в 5–10 раз превышающей показатели обычного бетона, что критически важно для зон высоких динамических нагрузок [14]. Так же данным вопросом занимались I.A. Izmaylov, T.A. Rozovskaya and E.N. Dolinnaya, ученые в своем исследовании предложили использовать новый материал переходных зон Мапориг 336, основой которого является полиуретановая смола [15]. Данный материал показал хорошие характеристики, что может значительно снизить среднегодовые затраты на эксплуатацию сооружения.

Большое исследование деформационных швов провели ученые из Китая. В статье Li J. и его соавторов представлены результаты экспериментального исследования влияния повреждений различных элементов модульных деформационных швов (центральной балки, опорного стержня и бетона в зоне анкеровки) на их собственные частоты колебаний [16]. В результате эксперимента установлено, что собственная частота колебаний образцов увеличивается с ростом прочности бетона в период твердения, и для диагностики состояния модульных деформационных швов целесообразно использовать акселерометры. Авторы статьи заявляют об необходимости отдельного изучения различных элементов шва из-за их различных динамических характеристик, рекомендуют заменить ручной визуальный контроль на методы с использованием высокочувствительных датчиков.

В Европе шло активное создание национальных стандартов [17]. Европейский подход (Германия, Австрия) к конструкциям модульных деформационных швов основывается на испытаниях отдельных узлов без обязательных испытаний, что стало возможным благодаря десятилетиям успешной эксплуатации и доверию к производителям. Американский подход, напротив, отличается чрезвычайно жесткими требованиями к полномасштабным испытаниям. Они включают в себя усталостные циклы, тесты на открытие и закрытие с одновременной вибрацией. Несмотря на региональные различия, мировой опыт испытаний должен быть интегрирован при разработке национальных стандартов для повышения надежности модульных деформационных швов.

Важным вопросом в эксплуатации деформационных швов является работа в сейсмически активных районах, таких как Япония, где происходит много землетрясений с большой интенсивностью. Деформационные швы сильно подвержены такой нагрузке. В работе Abdel Raheem S.E. и Hayashikawa Toshiro на основе конечно-элементного моделирования моста было исследовано влияние соударения соседних пролетов в зоне деформационного шва при землетрясениях [18]. Показано, что относительное перемещение в шве определяется более гибкой секцией, а ударные силы могут создавать пиковые ускорения, значительно превышающие расчетные. В качестве мер смягчения рассмотрены тросовые ограничители трех конфигураций, которые предотвращают сброс пролета, и резиновые амортизаторы, позволяющие сгладить ударные импульсы. Комбинированное применение данных устройств является эффективным и необходимо для учета при проектировании деформационных швов в сейсмически активных зонах.

В статье Берлов С. А. и Овчинникова И. И. рассмотрены способы защиты мостов от сейсмического воздействия [19]. В качестве примера авторы рассматривают конструкции деформационных швов компании Maurer, которые обладают большим диапазоном перемещений в продольном и поперечном направлении, что позволит конструкции не обрушиться в период действия землетрясения.

Анализ отказов деформационных швов

Анализ эксплуатационного состояния деформационных швов проводился на основе данных, полученных в автоматизированной информационной системе АИС ИССО-Н+ (Автоматизированная информационная система «Искусственные сооружения на автомобильных дорогах. Н+»).

Данная система является ключевым инструментом мониторинга состояния мостовых сооружений на сети федеральных автомобильных дорог Российской Федерации и позволяет систематизировать информацию о выявленных дефектах по унифицированным кодам. Оценка выполнялась по основным видам отказов, представленных в таблице 2, при этом код дефекта в таблице соответствует коду из базы данных программы.

Особой группой отказов деформационных швов являются дефекты пришовной зоны, которая включает в себя такие наименования, как выбоины и трещины в покрытии по полосам движения, износ (истирание) поверхностного слоя.

Таблица 2

Рассматриваемые виды отказов

№ п/п	Код дефекта	Наименование дефекта
1	510	Загрязнение пазов перемещения шва
2	1510	Несоответствие конструкции деформационного шва диапазону возможных перемещений сопрягаемых конструкций
3	2090	Отсутствует деформационный шов, предусмотренный проектом
4	2630	Протечки через конструкции шва
5	2780	Разрушение конструкции деформационного шва
6	3000	Расстройство заполнения деформационного зазора
7	3200	Расстройство элементов окаймления шва
8	850	Кустарная конструкция перекрытия деформационного зазора
9	3150	Расстройство элементов компенсирующего профиля
10	3780	Укладка слоя покрытия на перекрывающий элемент в уровне проезжей части
11	2070	Отсутствует конструктивный элемент, предусмотренный проектом
12	1460	Несоответствие геометрических размеров конструкции проектным требованиям
13		Пришовная зона

Составлено авторами

На рисунке 4 приведена статистика отказов деформационных швов на всей сети федеральных автомобильных дорог Российской Федерации. Можно увидеть, что среди всех дефектов наибольшее количество составляет дефект «протечки шва». Стоит отметить, что данный дефект встречается в основном в конструкциях, введенных в эксплуатацию в период до 2000-х годов. В современных конструкциях данный дефект встречается, но значительно реже.



Рисунок 4. Диаграмма распределения дефектов деформационных швов на федеральных автомобильных дорогах Российской Федерации (разработано авторами)

Выполнена оценка влияния геодинамических факторов на частоту возникновения дефекта деформационных швов, которая показывает, что расчетная компенсирующая способность деформационного шва оказалась недостаточной для восприятия перемещения сопрягаемых конструкций. Это приводит к возникновению запредельных напряжений в элементах шва, их деформации, заклиниванию или полному разрушению узлов крепления. На рисунке 5 представлено количественное распределение выявленных случаев несоответствия конструкции шва реальным перемещениям.



Рисунок 5. Карта России с обозначением дефекта «Несоответствие диапазона перемещений деформационного шва» (цифрами обозначено количество дефектов «Несоответствие диапазона перемещений деформационного шва») (разработано авторами)

На основе представленных данных, можно сделать вывод о неравномерности распределения отказов. Выделяются несколько зон с высокой концентрацией данного дефекта: Восточная Сибирь, Урал и Кавказ. В данных зонах присутствуют активные тектонические разломы, и соответственно повышается сейсмическая активность. В таких условиях сопрягаемые конструкции испытывают горизонтальные перемещения вдоль и поперек оси сооружения, вертикальные смещения.

Далее был проведен углубленный анализ состояния деформационных швов на региональном уровне — в Иркутской области, которая относится к зонам с экстремальными природно-климатическими условиями. Анализ проводился по 179 мостам и путепроводам на различных дорогах и управлениях.

Территория области характеризуется резко континентальным климатом с амплитудой годовых температур от $+35^{\circ}\text{C}$ летом до -43°C в зимний период, что приводит к интенсивным температурным деформациям строительных конструкций [20]. Так же применение противогололедных реагентов оказывает влияние на долговечность деформационных швов, ускоряя коррозию стальных элементов.

Для проектировщиков особую роль играет сейсмическая активность региона, так как Иркутская область относится к зонам с расчетной сейсмичностью 7–9 баллов по шкале MSK-64. При землетрясениях деформационные швы подвергаются динамическим воздействиям, превышающим расчетные деформации, что приводит к выходу из строя компенсирующих элементов и анкерных узлов [21].

В северных районах области строительство ведется в условиях многолетней мерзлоты, что создает дополнительные сложности: сезонное протаивание грунтов вызывает неравномерные осадки фундамента, а частый процесс замораживания и оттаивания приводит к деградации материалов.

Значительную роль на работу деформационных швов оказывает интенсивность движения. На федеральной трассе Р-255 «Сибирь» минимальная интенсивность движения достигает 2670 авт./сут.³, а на трассе Р-258 «Байкал» — 5228 авт./сут.⁴ в том числе и грузовой транспорт, что повышает частоту ударных нагрузок на швы при проезде.

На основе изученных данных была составлена диаграмма процентного соотношения отказов деформационных швов на автомобильных дорогах в Иркутской области (рис. 6). На диаграмме можно увидеть, что наибольшее количество отказов приходится на дефект «протечки через конструкции шва» и равно 142, что составляет 79 % от общего количества. Не менее значимым являются отказы «расстройство заполнения деформационного зазора» и «расстройство элементов окаймления шва», которые занимают второе место в статистике.



Рисунок 6. Диаграмма распределения дефектов деформационных швов на мостах федеральных автомобильных дорог Иркутской области (разработано авторами)

³ Федеральное казенное учреждение «Управление автомобильной магистрали Красноярск — Иркутск Федерального дорожного агентства» (ФКУ Упрдор «Прибайкалье»). Автомобильная дорога Р-255 «Сибирь»: [сайт]. — URL: <https://pbk.rosavtodor.gov.ru/departament/dorogi-pbk/p-255-sibir> (дата обращения: 08.07.2026).

⁴ Федеральное казенное учреждение «Управление автомобильной магистрали Красноярск — Иркутск Федерального дорожного агентства» (ФКУ Упрдор «Прибайкалье»). Автомобильная дорога Р-258 «Байкал»: [сайт]. — URL: <https://pbk.rosavtodor.gov.ru/departament/dorogi-pbk/p-258-bajkal> (дата обращения: 08.07.2026).

Анализ процентного отношения показывает, что отказы деформационных швов распределяются неравномерно, образуя группу наиболее часто встречающихся дефектов, на которые приходится основная доля неисправностей. Высокий процент разрушения анкеровки свидетельствует о том, что узлы крепления шва к сопрягаемым конструкциям испытывают нагрузки, превышающие расчетные. Анкера могут вырываться, срезаться или терять несущую способность вследствие усталостных явлений. Такой дефект, как загрязнение пазов перемещения шва, связан с недостаточным уровнем содержания сооружений. Заполнение полостей шва песком, грунтом и мусором приводит к ограничению перемещений.

Выявленная закономерность указывает на необходимость индивидуального подхода к проектированию деформационных швов в геодинамически активных зонах.

Исходя из полученных данных, можно выделить три основные группы причин, приводящих к появлению отказов современных конструкций деформационных швов:

1. Проектно-расчетные ошибки: неверная оценка расчетной длины пролета, не все виды деформаций учтены, использование типовых проектов без привязки к конкретным инженерно-геологическим условиям участка (например, наличие оползней, просадочных грунтов и прочее).
2. Конструктивные особенности монтажа: нарушение технологии установки шва, приводящие к изменению его рабочей характеристики (перекосы, неверная фиксация закладных деталей), применение материалов, не соответствующих климатическим условиям (потеря эластичности компенсаторов при низких температурах, что сокращает подвижность системы).
3. Изменение условий эксплуатации: увеличение интенсивности и грузонапряженности движения (тяжелые транспортные средства создают большие динамические воздействия), деформации земляного полотна или опор моста вследствие локальных геологических процессов (подмыв опор, морозное пучение), что приводит к изменению геометрии сопрягаемых конструкций.

На основе изученных данных и приведенной статистике можно сделать вывод о том, что отказы деформационных швов автодорожных мостов Иркутской области имеют выраженную региональную специфику, обусловленную совокупностью воздействий геодинамических и климатических факторов, в отличие от европейских регионов, где нет сильного перепадов температур и сейсмической активности.

Выводы

1. Деформационные швы являются критически важными элементами мостовых сооружений, от работоспособности которых зависят безопасность движения и долговечность пролетных строений. Современная классификация швов по способу перекрытия зазора позволяет систематизировать их достоинства и недостатки, при этом в условиях политики импортозамещения отечественные производители освоили выпуск конструкций, адаптированных к местным климатическим условиям, что способствует технологической независимости отрасли.

2. Анализ состояния деформационных швов 179 автодорожных мостов и путепроводов Иркутской области выявил выраженную региональную специфику: в условиях резко континентального климата (годовая абсолютная амплитуда до 78°C), высокой сейсмичности (7–9 баллов) и наличия многолетней мерзлоты наиболее распространенными дефектами являются протечки через конструкции шва (зафиксированы на 79 % объектов), расстройство заполнения деформационного зазора и разрушение элементов окаймления и анкеровки.

Установлено, что в зонах более активного геодинамического режима (Восточная Сибирь, Урал, Кавказ) наблюдается повышенная частота несоответствия конструкции шва диапазону перемещений, что требует индивидуального проектирования с учетом геодинамических условий.

3. Обобщение полученных данных позволяет выделить три основные группы причин отказов: проектно-расчетные ошибки, нарушения технологии монтажа и изменение условий эксплуатации. Таким образом, для повышения надежности деформационных швов в сложных природно-климатических условиях необходимо совершенствование методик расчета с учетом реальных перемещений, строгий контроль качества монтажа и применение специализированных конструкций, адаптирован.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смоленкин, В. С. Определение напряженно-деформированного состояния и динамических параметров деформационных швов заполненного типа с резиновым компенсатором / В. С. Смоленкин, Ш. Н. Валиев, М. С. Наумов // Транспортные сооружения. — 2024. — Т. 11, № 4. — DOI 10.15862/11SATS424. — EDN OUNSPS.
2. Трифонова А. А., Алексеев С. В., Егосин А. М. Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов // Транспортные системы и технологии. — 2021. — Т. 7. — № 2. — С. 42–54. doi:10.17816/transsyst20217242-54.
3. Отечественные деформационные швы мостовых сооружений / С. В. Козлачков, И. И. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал Науковедение. — 2012. — № 3(12). — С. 32. — EDN PVUZBH.
4. Рекомендуемые конструкции деформационных швов мостовых сооружений и рациональная область их применения / С. В. Козлачков, И. И. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал Науковедение. — 2012. — № 3(12). — С. 33. — EDN PVUZBR.
5. Глотов, Д. С. Причины образования дефектов в деформационных швах разных типов / Д. С. Глотов // Транспортные сооружения. — 2025. — Т. 12, № 1. — DOI 10.15862/16SATS125. — EDN QENLWR.
6. Ефанов, А. В. Деформационные швы мостов: современное состояние проблемы / А. В. Ефанов, И. Г. Овчинников // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2006. — Т. 4, № 1(16). — С. 82-87. — EDN KVZJFT.
7. Овчинников, И. И. Повреждения зон сопряжения дорожных одежд и деформационных швов на мостовых сооружениях: возможные причины и способы их устранения / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев // Интернет-журнал Науковедение. — 2013. — № 6(19). — С. 148. — EDN SAKRRH.
8. Овчинников, И. И. Анализ причин повреждения деформационных швов типа МММ Д-50 и МММ Д-100 на мостовых сооружениях Автомобильной дороги М-4 "ДОН" / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев // Интернет-журнал Науковедение. — 2013. — № 5(18). — С. 70. — EDN RXOXLB.
9. Валиев, Ш. Н. Особенности работы покрытия проезжей части в зоне деформационных швов мостовых сооружений / Ш. Н. Валиев, В. С. Смоленкин // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 3(22). — С. 96. — EDN STRJHT.
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, № 39, с. 50–53.

11. Валиев, Ш. Н. Деформационные швы мостовых сооружений: зарубежный опыт физического моделирования / Ш. Н. Валиев, В. С. Смоленкин, Е. Б. Рыбникова // Транспортные сооружения. — 2016. — Т. 3, № 2. — С. 6. — EDN WKTSKZ.
12. Busel, A. The design and composition of expansion joints on big-span bridges with intensive heavy-duty traffic / A. Busel, R. Krotau // 6th Transport Research Arena (April 18–21, 2016, Warsaw, Poland). — 2016. — Vol. 141. — P. 3953-3962. — (Transportation Research Procedia). — DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.488 EDN:XNSAYV
13. Sakib Mahmud Khan et al. "Integration of Structural Health Monitoring and Intelligent Transportation Systems for Bridge Condition Assessment: Current Status and Future Direction". In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 17.8 (2016), pp. 2107- 2122. DOI: 10.1109/TITS.2016.2520499.
14. Application of Ultra-High-Performance Concrete in Bridge Engineering: Current Status, Limitations, Challenges, and Future Prospects / S. Abdal, W. Mansour, I. Agwa [et al.] // Buildings. — 2023. — Vol. 13, No. 1. — P. 185. DOI: 10.3390/buildings13010185 EDN: VJJMUM.
15. Izmaylov, I.A. Polyurethane composite mortar for expansion joints on road bridge structures / I.A. Izmaylov, T.A. Rozovskaya, E.N. Dolinnaya // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 709, 4, Issue 3. — Sevastopol: Institute of Physics Publishing, 2020. — P. 044052. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044052 EDN: BCBAEN
16. Li J., Wen F., Chen J., Yang C., Du W., Xu L., Li P. Experimental Study of Bridge Expansion Joint Damage Based on Natural Frequency // Sensors. 2023. Vol. 23, № 16. P. 6437. DOI: 10.3390/s23166437.
17. Spuler T., Ancich E., Savioz P., O'Suilleabhain C. The development of standards for modular bridge expansion joints // Proceedings of the Austroads Bridge Conference. Perth, Australia, 2011.
18. Abdel Raheem S.E., Hayashikawa T. Mitigation measures for expansion joint effects on seismic performance of bridge structures // Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13). — Sapporo, Japan: Hokkaido University, 2013. — Paper No. B-1-1. — 13 p.
19. Берлов, С. А. Сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий / С. А. Берлов, И. И. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2020. — Т. 7, № 2. — С. 17. DOI: 10.15862/20SATS220 EDN: IJWGLQ.
20. Волкова, Е. В. Реконструкция автомобильных дорог в сложных природных условиях Сибири и Дальнего Востока / Е. В. Волкова, Д. С. Сидорова // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2013. — № 7(78). — С. 81-85. — EDN QUUJCH.
21. Быкова, Н. М. Протяженные транспортные сооружения на активных геоструктурах. Технология системного подхода / Н. М. Быкова. — Новосибирске: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН "Издательство "Наука", 2008. — 212 с. — ISBN 978-5-02-023248-8. — EDN RNJFHX.

Alexeeva Darya Vladimirovna

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

E-mail: darya-alex603@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1844-5125>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1340852

Bikova Natalya Mikhailovna

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

E-mail: bikovanm@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0676-4752>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=518344

The current state of expansion joints of highway bridges

Abstract. Expansion joints in highway bridges are a critical element of transport structures, operating under intense dynamic loads, temperature fluctuations, and environmental influences. The combination of these factors often leads to premature failure, reduced traffic safety, and increased operating costs. The objective of this review is to analyze the current state of expansion joint designs, systematize the main operational problems and their causes, and assess prospects for improving the reliability of these elements, taking into account international experience and regional specifics. The authors examine the purpose, main operational requirements, and classification of structures based on the gap bridging method. The advantages and disadvantages of each type are presented, as well as the evolution of joint use in the Russian Federation, with an emphasis on import substitution after 2022. The article examines the main types of operational failures and systematizes their causes. International experience is summarized, including the European approach to testing modular expansion joints and Japanese developments in seismic protection. Based on an analysis of 179 bridges and overpasses in the Irkutsk region, regional failure patterns were identified, driven by the harsh continental climate and high seismic activity. The study identified three main groups of failure causes and proposed ways to improve the reliability of expansion joints in challenging natural and climatic conditions.

It was concluded that improving the reliability of expansion joints requires improved calculation methods that take actual movements into account, strict installation control, and adaptation of structures to regional natural conditions.

Keywords: expansion joint; highway bridges; classification of expansion joints; operational failures; international experience; seismic impact; regional features