

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

2024, Том 11, № 4 / 2024, Vol. 11, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2024.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/11SATS424.pdf>

DOI: 10.15862/11SATS424 (<https://doi.org/10.15862/11SATS424>)

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

Определение напряженно-деформированного состояния и динамических параметров деформационных швов заполненного типа с резиновым компенсатором

¹Смоленкин В.С., ^{1, 2, 3}Валиев Ш.Н., ¹Наумов М.С.

¹ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

³ООО «Малое инновационное предприятие «Научно-Инженерный Центр Мостов и Сооружений», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Смоленкин Владимир Сергеевич, e-mail: v.smolenkin@gmail.ru

Аннотация. Деформационные швы автодорожных мостов являются одними из самых ответственных конструктивных элементов мостового полотна, техническое состояние которых влияет на безопасность движения транспортных средств и долговечность мостов. Элементы деформационных швов испытывают не только статические, но и постоянные динамические нагрузки, которые приводят к их постепенному преждевременному разрушению. Проблема расчета деформационных швов на действие статических и динамических нагрузок привлекает внимание исследователей во всем мире. В статье описываются результаты численного моделирования напряженного состояния конструкции однопрофильного деформационного шва на действие как статических, так и динамических нагрузок. с целью определения динамических коэффициентов в диапазоне скоростей 0–40 км/ч. Контактное воздействие колеса грузового автомобиля на фрагмент конструкции деформационного шва моделируется с помощью программного комплекса ANSYS. Проведенные предварительно статические расчеты показали, что наиболее неблагоприятным случаем для деформационного шва является ситуация, когда контактная зона передает нагрузку на одну переходную зону и деформационный шов с одной стороны. Взаимодействие между

колесами и пролетным строением моделировалось в программном комплексе ANSYS через нелинейный контакт типа Frictionless, т. е. предполагалось свободное скольжение с возможностью отрыва от поверхности. Установлено, что динамический коэффициент в рассмотренном диапазоне скоростей зависит от скорости автомобиля нелинейно. По результатам проведенного численного эксперимента сделаны выводы о применении недостаточного динамического коэффициента для конструкции деформационного шва и необходимости проведения дополнительных как численных, так и физических исследований, и экспериментов с целью с целью: определения влияния жесткости тележки на величину динамического коэффициента; учета нелинейных свойств материала дорожной одежды в околошовной зоне деформационного шва; увеличение диапазона рассматриваемых скоростей.

Ключевые слова: мостовое полотно; деформационный шов; статический анализ поведения деформационного шва; динамическое воздействие на деформационный шов; применение метода конечных элементов для расчета деформационных швов; определение динамического коэффициента; околошовная зона

Definition of the stressed-deformed state and dynamic parameters of filled-type expansion joints with rubber compensators

¹Vladimir S. Smolenkin, ^{1, 2, 3}Sherali N. Valiev, ¹Maxim S. Naumov

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

³Small Innovative Enterprise «Scientific and Engineering Center of Bridges and Structures», Moscow, Russia

Corresponding author: Vladimir S. Smolenkin, e-mail: v.smolenkin@gmail.ru

Abstract. Expansion joints in road bridges are among the most critical structural elements of the bridge deck, whose technical condition affects the safety of vehicle traffic and the longevity of bridges. Components of expansion joints experience not only static but also continuous dynamic loads, leading to their gradual premature failure. The problem of calculating expansion joints under static and dynamic loads attracts researchers' attention worldwide. This article describes the results of numerical modeling of the stress state of a single-profile expansion joint subjected to both static and dynamic loads, aimed at determining dynamic coefficients within a speed range of 0–40 km/h. The contact action between a truck wheel and a segment of the expansion joint structure is modeled using the ANSYS software package. Preliminary static calculations have shown that the most unfavorable scenario for the expansion joint occurs when the contact zone transmits load to one transition zone and the expansion joint on one side. The interaction between the wheels and the bridge span was modeled in ANSYS

through a nonlinear contact type Frictionless, implying free sliding with the possibility of detachment from the surface. It has been established that the dynamic coefficient in the considered speed range depends nonlinearly on vehicle speed. Based on the results of the numerical experiment, conclusions were drawn regarding the application of an insufficient dynamic coefficient for the design of the expansion joint and the necessity for additional numerical and physical research and experiments aimed at: determining the influence of cart stiffness on the magnitude of the dynamic coefficient; accounting for nonlinear material properties in the pavement near the expansion joint; and increasing the range of considered speeds.

Keywords: bridge deck; expansion joint; static analysis of expansion joint behavior; dynamic impact on expansion joints; application of finite element method for calculating expansion joints; determination of dynamic coefficient; near-joint zone

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Деформационные швы автодорожных мостов являются одними из самых ответственных конструктивных элементов мостового полотна, да и всего мостового сооружения, техническое состояние которых прямо пропорционально влияет на безопасность движения транспортных средств и долговечность мостового сооружения в целом [1–9]. Отдельно стоит выделить агрессивное действие противогололедных реагентов, используемых при зимнем содержании автомобильных дорог и оказывающих в случае нарушения герметичности швов активное коррозионное воздействие на торцы балок, являющиеся наиболее уязвимой зоной предварительно напряженных железобетонных пролетных строений, на опорные части и опоры, и даже фундаменты опор мостов. Обеспечение герметичности сложнее всего достигается на мостах с большими пролетами, где большие деформации сочетаются с динамическими нагрузками от тяжелых транспортных средств.

Было установлено, что основными проблемами эксплуатации швов являются:

- преждевременная их разгерметизация вследствие разрушения материалов самой конструкции шва и контактирующих с ним элементов моста, что приводит к поступлению агрессивных сред к несущим конструкциям;
- разрушение и деформации элементов шва, вызывающие нарушение плавности проезда по нему, приводящие к изменению интенсивности динамического воздействия транспортных средств на мостовое полотно;
- недостатки конструкции деформационных швов;
- недостаточно качественное выполнение зон сопряжения деформационных швов с дорожной одеждой;
- ненадлежащее содержание мостовых сооружений в целом и деформационных швов в частности.

Как правило, для решения вышеперечисленных проблем в конструкциях швов принято использовать дорогие качественные материалы, устойчивые к многократному нагружению и коррозионному воздействию, погашающие шумовую эмиссию при проезде транспорта.

Преждевременное разрушение деформационных швов и ранее и в последнее время носит стихийный характер. К сожалению, в настоящее время при выборе конструкции деформационных швов ключевым

критерием является их стоимость. При отсутствии должных квалификационных испытаний производители деформационных швов стремятся изготовить технически сложные конструкции с наименьшими первоначальными затратами, что неизбежно приводит к проблемам с долговечностью и функциональностью. Поэтому многие деформационные швы с резиновыми компенсаторами демонстрируют низкие эксплуатационные характеристики, проявляя разрушение в несущих конструкциях, системах перемещения и системах герметизации. Как правило, для поддержания работоспособности деформационных швов с низкими эксплуатационными характеристиками требуется значительное техническое обслуживание. Во многих случаях таких наблюдений [10–19], деформационные швы работали настолько плохо, что их демонтировали и заменяли до истечения запланированного срока их службы.

Проблемы с долговечностью деформационных швов с резиновым компенсатором можно разделить на четыре основные категории:

- ненадлежащее проектирование конструкции мостового полотна;
- ненадлежащее проектирование конструкции шва;
- износ эластомерных деталей;
- усталостное разрушение стальных элементов шва.

Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний должны учитывать сложное поведение деформационного шва с резиновым компенсатором (в частности модульного) как системы, но при этом должны оставаться этим рентабельными и достаточно простыми в применении, кроме того методы испытаний должны быть достаточно общими, чтобы не исключать возможность применения в конструкциях деформационных швов различного рода инновационных разработок.

Кроме того, важнейшими критериями оценки эксплуатационных характеристик исследуемых деформационных швов должны быть:

- учет всего диапазона перемещений деформационного шва, не превышая рекомендованного производителем зазора на в уровне поверхности настила при максимальном раскрытии;
- надежная анкеровка основных несущих конструкций.

Несмотря на то, что деформационные швы подвергаются широкому спектру расчетов, в т. ч. включающих в себя расчеты на выносливость, а также повышенный динамический коэффициент при расчете по первой группе предельных состояний (согласно ГОСТ 33390-2015¹ динамический

¹ ГОСТ 33390-2015. "Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия" (введен в действие Приказом Росстандарта от 31.08.2016 N 1006-ст).

коэффициент к нагрузке $AK - 1 + \mu = 2,00$), в отечественной практике нет широко известных методик оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) деформационных швов или их элементов. То же касается и методик испытаний, которые обязательны для сертификации деформационных швов, и в общих чертах описаны в ОДМ 218.2.025-2012² и ГОСТ Р 71330-2024.³

Проблема расчета деформационных швов на действие статических и динамических нагрузок привлекает внимание исследователей во всем мире [17–20]. В данной работе приведены результаты расчетов на статическое и динамическое воздействие колесной нагрузки на деформационный шов. Динамическое воздействие рассчитано для скоростей 0–40 км/ч.

Анализ поведения деформационного шва при статической нагрузке

Analysis of the behavior of expansion joints under static load

Для определения напряженно-деформированного состояния основных элементов деформационного шва была построена и численно проанализирована серия расчетных моделей деформационных швов в Программном комплексе ANSYS. В качестве исходных данных для построения расчетных моделей был принят чертеж деформационного шва типа ОПДШ с высотой окаймления 116 мм, предоставленный ООО «ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ И ОПОРНЫЕ ЧАСТИ».

В первом приближении нагрузки были заданы в виде сил, действующих на площадь нормативного отпечатка колеса, однако решение в такой постановке давало явно заниженный результат по напряжениям.

Поэтому в дальнейшем было принято решение выполнить расчет для контактной задачи с воздействием задней тележки 3х-осного автосамосвала типа КАМАЗ, как наиболее распространенного типа грузовых транспортных средств на территории Российской Федерации. Ниже на рисунках 1 и 2 приведены габариты автосамосвала, а также общий вид расчетной модели нагрузки в виде спаренной задней оси КАМАЗ-6580.

² ОДМ 218.2.025-2012 Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах, г. Москва, 2013 г.

³ ГОСТ Р 71330-2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Швы деформационные с резиновым компенсатором пролетных строений автодорожных мостов. Общие технические условия" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 09.04.2024 N 430-ст).

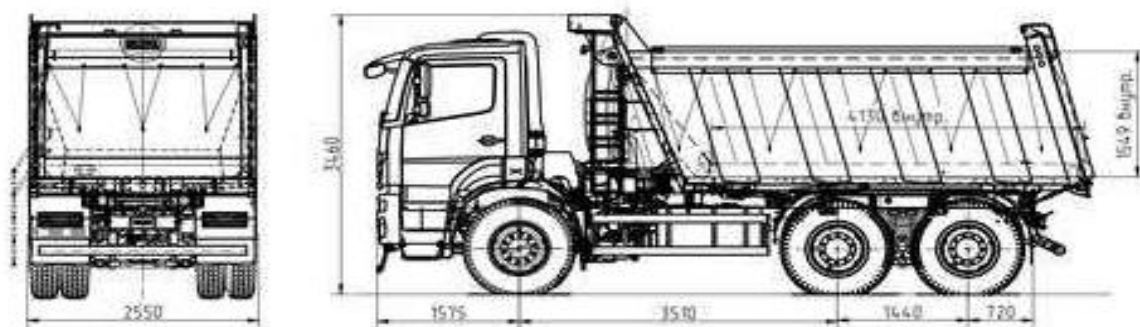


Рисунок 1. Габариты автосамосвала КАМАЗ-6580 (составлено авторами)

Figure 1. Dimensions of the KAMAZ-6580 dump truck (compiled by the authors)

Сама тележка не является объектом исследования и отражает только габаритные параметры передачи нагрузки (рис. 2).

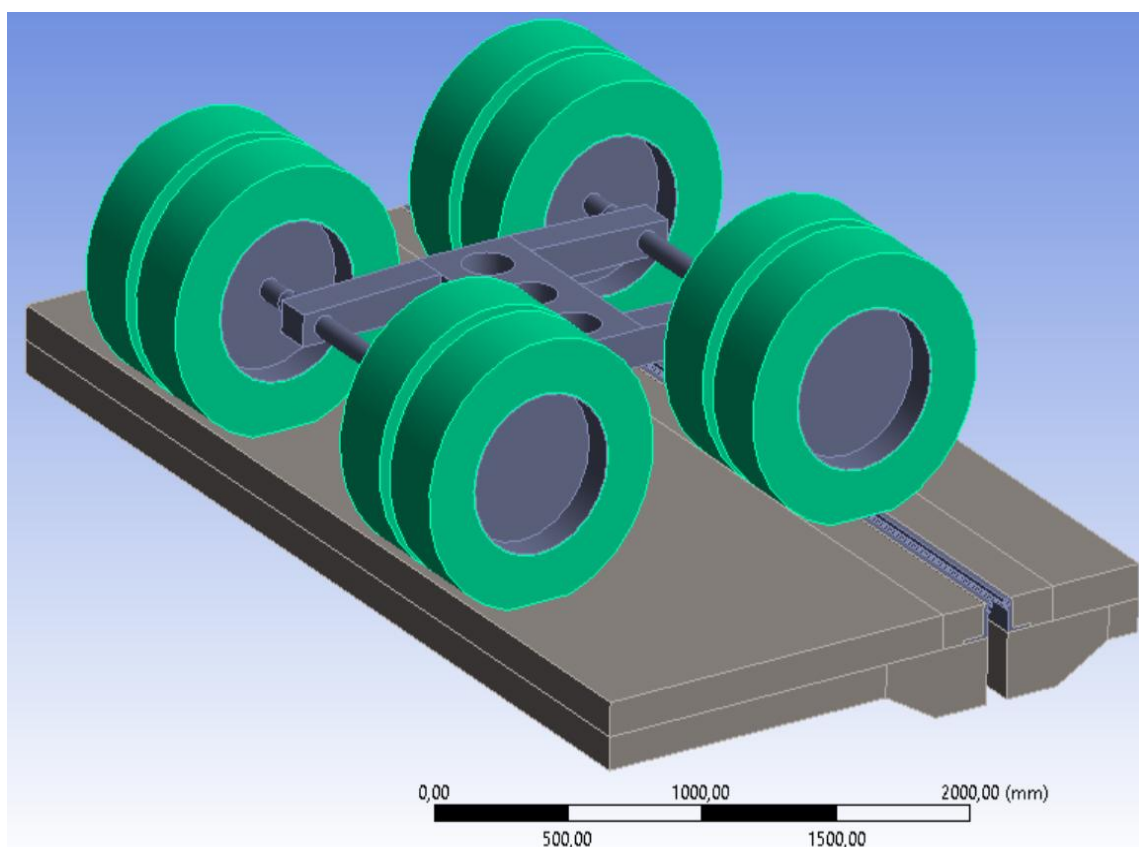


Рисунок 2. Общий вид принятой расчетной нагрузки в виде задней тележки автосамосвала КАМАЗ-6580 (составлено авторами)

Figure 2. General view of the adopted design load in the form of the rear cart of the KAMAZ-6580 dump truck (compiled by the authors)

На рисунке 3 показана конструкция моделируемого деформационного шва, а на рисунке 4 приведен общий вид принятой для расчета в программном комплексе ANSYS расчетной модели деформационного шва.

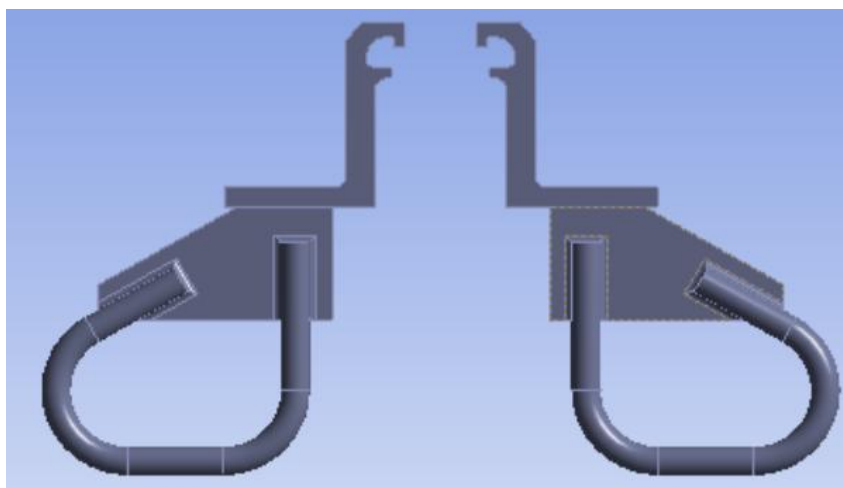


Рисунок 3. Конструкция смоделированного деформационного шва ОП ДШ 80, вид сбоку (составлено авторами)

Figure 3. Design of the simulated expansion joint OP DSh 80, side view (compiled by the authors)

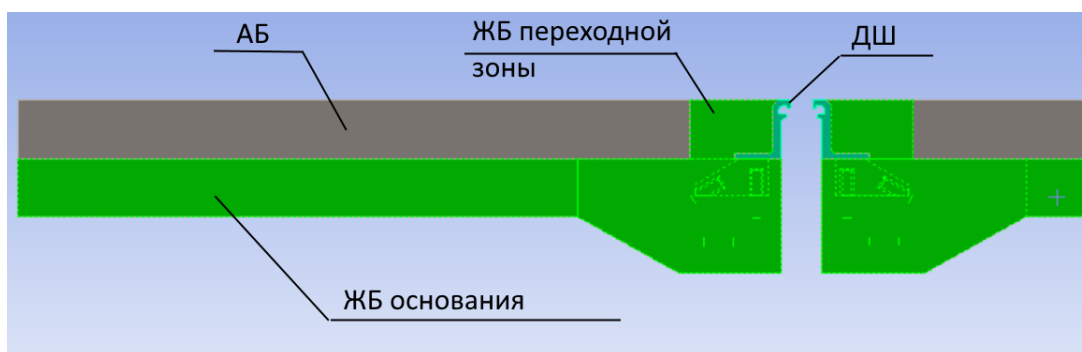


Рисунок 4. Общий вид принятой расчетной модели (составлено авторами)

Figure 4. General view of the adopted computational model (compiled by the authors)

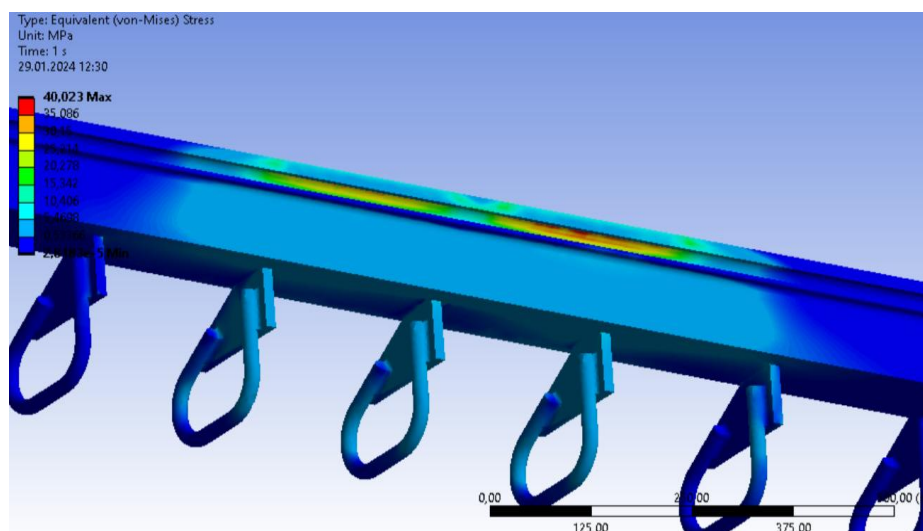


Рисунок 5. Характер напряженно-деформированного состояния деформационного шва в зоне контакта с нагрузкой (составлено авторами)

Figure 5. Character of the stressed-deformed state of the expansion joint in the contact zone with the load (compiled by the authors)

Проведенные предварительно статические расчеты показали, что наиболее неблагоприятным случаем для деформационного шва является ситуация, когда контактная зона передает нагрузку на одну переходную зону и деформационный шов с одной стороны [22]. В этом случае наибольшие напряжения возникают в балке деформационного шва в зоне действия колеса. Полученные результаты показаны на рисунках 5 и 6.

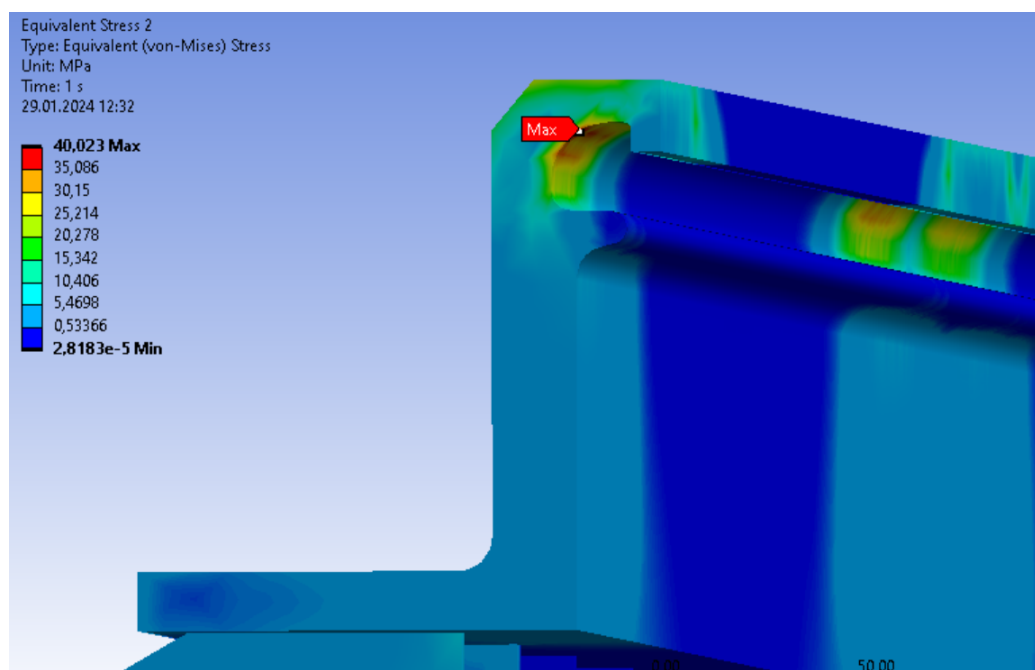


Рисунок 6. Иллюстрация зоны концентрации напряжений в окаймлении профиля деформационного шва, МПа (составлено авторами)

Figure 6. Illustration of the stress concentration zone in the profile surrounding the expansion joint, MPa (compiled by the authors)

В результате статического расчета было установлено, что максимальное напряжение составляет порядка 40,0 МПа.

Результаты проведенного статического расчета принимаются как исходные для последующего динамического анализа.

Анализ динамического поведения деформационного шва

Analysis of dynamic behavior of expansion joints

Динамические расчеты проводились для фрагмента расчетной модели, на который распространяется действие одного колеса.

Взаимодействие между колесами и пролетным строением моделировалось в программном комплексе ANSYS через нелинейный контакт типа Frictionless, т. е. предполагалось свободное скольжение с возможностью отрыва от поверхности. Ниже приводятся результаты

динамического расчета и проводится их сопоставление с результатами статического анализа.

В таблице 1 приведены значения динамического коэффициента при разных скоростях движения автомобиля.

Таблица 1 / Table 1

Динамический коэффициент при разных скоростях

Dynamic coefficients at different speeds

Скорость, км/ч Speed, km/h	Максимальное напряжение*, МПа Maximum stress*, MPa	Динамический коэффициент Dynamic coefficient
0	40,0	1
4	45,7	1,14
10	38,7	0,97
20	68,5	1,71
40	58,5	1,46

Максимальное напряжение определялось для области концентрации напряжений, которая была определена в результате статических расчетов. Составлена авторами / The maximum stress was determined for the area of stress concentration, which was identified as a result of static calculations. Compiled by the authors

На рисунке 7 показаны максимальные напряжения, соответствующие скорости 20 км/ч, а на рисунке 8 представлена градуировочная зависимость максимальных напряжений от скорости движения.

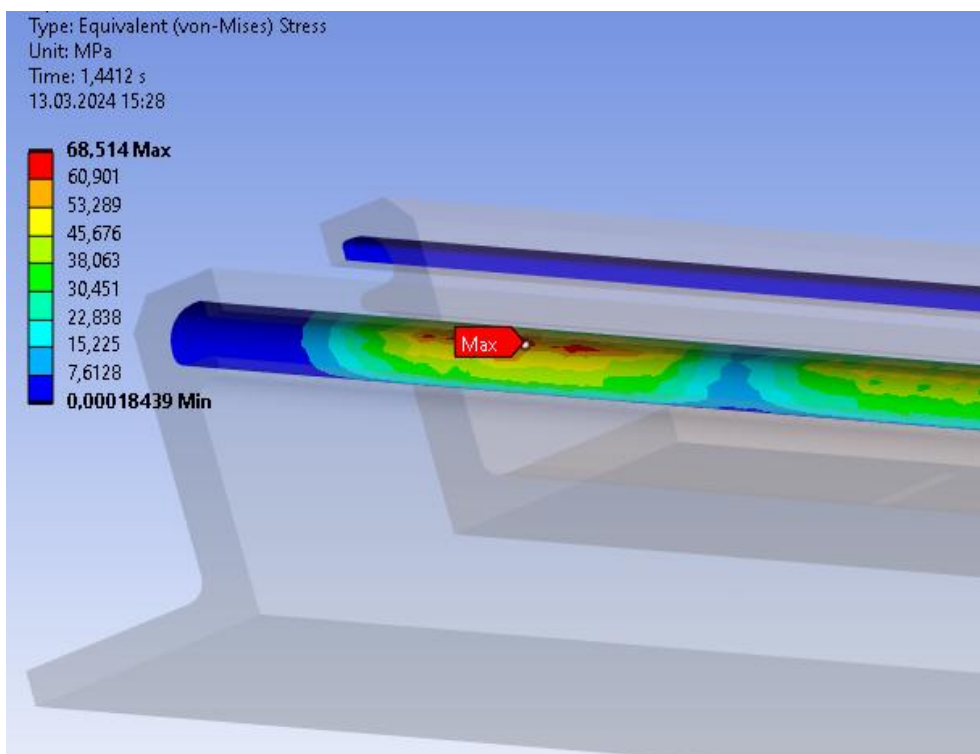


Рисунок 7. Максимальные напряжения, возникающие в окаймлении деформационного шва при скорости движения 20 км/ч (составлено авторами)

Figure 7. Maximum stresses occurring in the surrounding area of the expansion joint at a speed of 20 km/h (compiled by the authors)

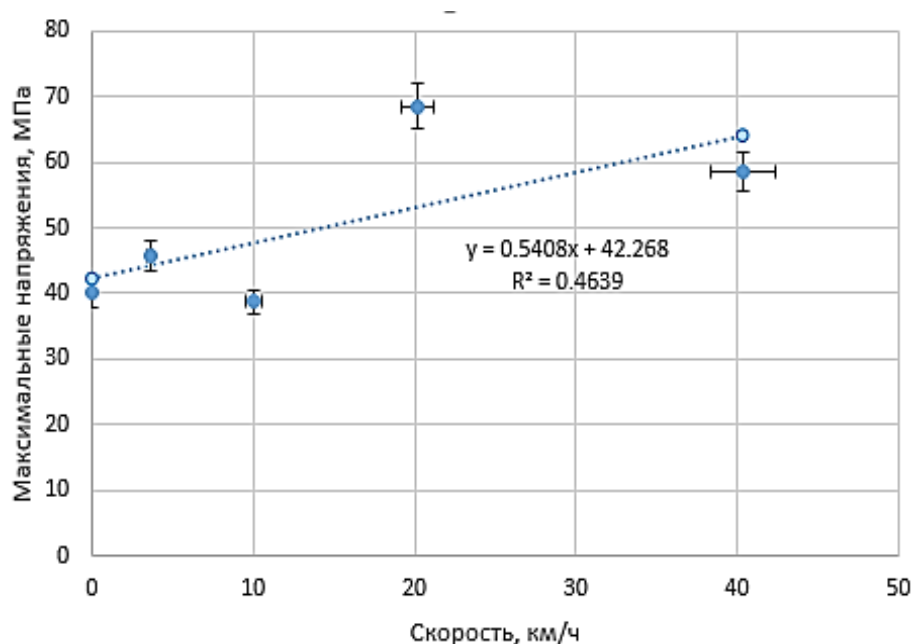


Рисунок 8. Градуировочная зависимость максимальных напряжений в деформационном шве от скорости движения (составлено авторами)

Figure 8. Calibration dependence of maximum stresses in the expansion joint on vehicle speed (compiled by the authors)

Максимальное значение динамического коэффициента по результатам проведенных расчетов составило: $1 + \mu = 1,71$.

При этом расчеты свидетельствуют, что динамический коэффициент в рассмотренном диапазоне скоростей зависит от скорости автомобиля нелинейно.

Следует отметить, что расчетный анализ произведен для случая, когда деформационный шов и околошовная зона не имеют дефектов и повреждений. Наиболее распространенным повреждением околошовной зоны является образование колеи, и в этом случае на профиль деформационного шва динамические эффекты будут оказывать более значительное влияние. Следовательно, можно сделать предварительный вывод о том, что нормируемый динамический коэффициент $1 + \mu = 2$ является недостаточным для корректного анализа работы деформационных швов, что требует дополнительных расчетов и исследований.

Выводы

Conclusions

Проведённая на данном этапе работа показывает, что для корректного расчета деформационных швов и их элементов требуется проведение дополнительных как численных, так и экспериментальных исследований [23].

Представленные в рамках данной статьи результаты расчетов являются предварительными и требуют проведения дополнительных исследований с целью:

- определения влияния жесткости тележки на величину динамического коэффициента;
- учета нелинейных свойств материала дорожной одежды в околошовной зоне деформационного шва;
- увеличения диапазона рассматриваемых скоростей;
- проведение натурных исследований в части динамического воздействия на элементы деформационных швов.

Следовательно, проведенный анализ позволяет заключить, что принятая в отечественных нормах для расчета деформационных швов величина динамического коэффициента является недостаточной.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Овчинников, И.Г.** Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, С.Л. Согоцыян [и др.]. — М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратов. гос. техн. ун-т. — Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т., 2004. — 209 с. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_610699/ (дата обращения: 18.07.2024).
2. **Ефанов, А.В.** Деформационные швы мостов: современное состояние проблемы / А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2006. — Т 4. — № 1. — С. 82–87. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12885589>. — EDN KVZJFT. (дата обращения: 18.07.2024).
3. **Овчинников, И.Г.** Деформационные швы мостовых сооружений нового поколения / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, С.В. Овсянников // Дорожная держава. — 2007. — № 4. — С. 36–37.
4. **Овчинников, И.Г.** Деформационные швы мостовых сооружений нового поколения / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, С.В. Овсянников // Дорожная держава. — 2007. — № 5. — С. 22–24.
5. **Козлачков, С.В.** Отечественные деформационные швы мостовых сооружений / С.В. Козлачков, И.И. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников // Интернет-журнал Наукоедение. — 2012. — № 3. — С. 17. — URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-41.pdf>. — EDN PVUZBH. (дата обращения: 18.07.2024).
6. **Козлачков, С.В.** 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 Наукоедение. — 2012. — № 3. — С. 33. — URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-42.pdf>. — EDN PVUZBR. (дата обращения: 18.07.2024).
7. **Niemierko A.** Modern Bridge Bearings and Expansion Joints for Road Bridges / A. Niemierko. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.501> // Transportation Research Procedia. — 2016. — Т 14. — С. 4040–4049. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516305087>. (дата обращения: 18.07.2024).

8. **Ancich, E.J.** Dynamic Anomalies in a Modular Bridge Expansion Joint / E.J. Ancich, G.J. Chirgwin, S.C. Brown. — DOI [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2006\)11:5\(541\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2006)11:5(541)) // Journal of Bridge Engineering. — 2006. — Т 11. — № 5. — С. 541–554. — URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291084-0702%282006%2911%3A5%28541%29>. (дата обращения: 18.07.2024).
9. **Ancich, E.** Dynamic design of modular bridge expansion joints by the finite element method / E. Ancich. — DOI <https://doi.org/10.2749/222137807796158048> // IABSE Symposium: Improving Infrastructure Worldwide, Weimar, Germany, 19–21 September 2007 / Цюрих: IABSE, 2007. — С. 304–305. — URL: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/dynamic-design-of-modular-bridge-expansion-joints-by-the-finite-element-method>. (дата обращения: 18.07.2024).
10. **Jiang, T.** Monitoring Fatigue Damage of Modular Bridge Expansion Joints Using Piezoceramic Transducers / T. Jiang, Y. Zhang, L. Wang, L. Zhang, G. Song. — DOI <https://doi.org/10.3390/s18113973> // Sensors. — 2018. — Т 18. — № 11. — С. 3973. — URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3973>. (дата обращения: 18.07.2024).
11. **Miao, Cq.** Damage alarming for bridge expansion joints using novelty detection technique based on long-term monitoring data / Cq. Miao, Y. Deng, Yl. Ding [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.1007/s11771-013-1480-4> // Journal of Central South University. — 2013. — Т 20. — № 1. — С. 226–235. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11771-013-1480-4>. (дата обращения: 02.08.2024).
12. **Dexter, R.J.** Fatigue Design of Modular Bridge Expansion Joints / R.J. Dexter, R.J. Connor, M.R. Kaczinski. — National Academy Press, 1997. — 122 с. — URL: https://books.google.ru/books?id=AgYnAQAAMAAJ&hl=ru&source=gb_s_navlinks_s (дата обращения: 02.08.2024).
13. **Ефанов, А.В.** Разрушение покрытия мостового полотна и деформационных швов: причины, проблемы и пути решения / А.В. Ефанов, С.В. Овсянников, И.Г. Овчинников // Дороги и мосты. — 2007. — 2. — С. 38–42.
14. **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. — С. 70ТВН513. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/70tvn513.pdf>. — EDN RXOXLB. (дата обращения: 02.08.2024).
15. **Lima, J.M.** Inspection survey of 150 expansion joints in road bridges / J.M. Lima, J.D. Brito. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.01.011> // Engineering Structures. — 2009. — Т 31. — № 5. — С. 1077–1084. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029609000054>. (дата обращения: 02.08.2024).
16. **Friedl, R.** Dynamic Amplification of Bridge-Expansion-Joints considering Roughness induced Vehicle Vibrations / R. Friedl, I. Mangerig. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.515> // Procedia Engineering. — 2017. — Т 199. — С. 2651–2656. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817340250>. (дата обращения: 02.08.2024).
17. **Maeda, K.** Durability of Bridge Expansion Joints / K. Maeda, F. Machida, K. Tomizawa, T. Ikebe, S. Miyazaki // Durability of Structures. IABSE Symposium, September 6–8 1989, Lisbon (IABSE Report Volume 57/1) / Лиссабон: IABSE, 1989. — С. 419–424. — URL: <https://trid.trb.org/View/379493>. (дата обращения: 02.08.2024).
18. **Козлачков, С.В.** Требования к деформационным швам мостовых сооружений / С.В. Козлачков, И.И. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников // Интернет-журнал Науковедение. — 2012. — № 3. — С. 34. — URL: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-43.pdf>. — EDN PVUZCB. (дата обращения: 02.08.2024).
19. **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. — С. 04TVN314. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/04TVN314.pdf>. — EDN STRJHT. (дата обращения: 02.08.2024).
20. **Валиев, Ш.Н.** Деформационные швы мостовых сооружений: зарубежный опыт физического моделирования / Ш.Н. Валиев, В.С. Смоленкин, Е.Б. Рыбникова. — DOI <https://doi.org/10.15862/06TS216> // Транспортные сооружения. — 2016. — Т 3. — № 2. — С. 06TS216. — URL: <https://t-s.today/06TS216.html>. — EDN WKTSKZ. (дата обращения: 02.08.2024).

Сведения об авторах:

Смоленкин Владимир Сергеевич — старший преподаватель кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: v.smolenkin@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4457-908X>

Валиев Шерали Назаралиевич — кандидат технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, генеральный директор, ООО «Малое инновационное предприятие «Научно-Инженерный Центр Мостов и Сооружений», Москва, Россия, e-mail: Sh.valiev@madi.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-2233>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=284723
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/HLX-1425-2023>

Наумов Максим Сергеевич — ведущий инженер, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: maxim.na2018@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1148-1530>

Статья получена: 02.09.2024. Принята к публикации: 18.01.2025. Опубликовано онлайн: 20.02.2025.

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.G., Makarov V.P., Sogots'yan S.L., Efanov A.V., Sogots'yan L.S. [Bridge decks of highway bridges using cast asphalt concrete and modern expansion joints]. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2004. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_610699/ (accessed 18th July 2024). (In Russ.).
2. Yefanov A.V., Ovchinnikov I.G. Bridge Expansion Joints: Modern Condition of The Problem. *Vestnik Saratov State Technical University*. 2006;4(1): 82–87. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12885589> (accessed 18th July 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovsyannikov S.V. Deformatsionnyye shvy mostovykh sooruzheniy novogo pokoleniya [Expansion joints of new generation bridge structures]. *Dorozhnaya derzhava = [Road Power]*. 2007;(4): 36–37. (In Russ.).
4. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovsyannikov S.V. Deformatsionnyye shvy mostovykh sooruzheniy novogo pokoleniya [Expansion joints of new generation bridge structures]. *Dorozhnaya derzhava = [Road Power]*. 2007;(5): 22–24. (In Russ.).
5. Kozlachkov S.W., Ovchinnikov I.I., Waliev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Domestic expansion joints of the bridge buildings. *Naukovedenie*. 2012;(3): 17. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-41.pdf> (accessed 18th July 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Kozlachkov S.W., Ovchinnikov I.I., Waliev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Advisable designs expansion joints of the bridge buildings and rational area of their using. *Naukovedenie*. 2012;(3): 33. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-42.pdf> (accessed 18th July 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
7. Niemierko A. Modern Bridge Bearings and Expansion Joints for Road Bridges. *Transportation Research Procedia*. 2016;14: 4040–4049. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.501>.
8. Ancich E.J., Chirgwin G.J., Brown S.C. Dynamic Anomalies in a Modular Bridge Expansion Joint. *Journal of Bridge Engineering*. 2006;11(5): 541–554. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2006\)11:5\(541\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2006)11:5(541)).
9. Ancich E. Dynamic design of modular bridge expansion joints by the finite element method. In: *IABSE Symposium: Improving Infrastructure Worldwide, Weimar, Germany, 19–21 September 2007*. Zurich: IABSE; 2007. p. 304–305. Available at: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/dynamic-design-of-modular-bridge-expansion-joints-by-the-finite-element-method> (accessed 18th July 2024). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2749/222137807796158048>.

10. Jiang T., Zhang Y., Wang L., Zhang L., Song G. Monitoring Fatigue Damage of Modular Bridge Expansion Joints Using Piezoceramic Transducers. *Sensors*. 2018;18(11): 3973. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113973>.
11. Miao Cq., Deng Y., Ding Yl. et al. Damage alarming for bridge expansion joints using novelty detection technique based on long-term monitoring data. *Journal of Central South University*. 2013;20(1): 226–235. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11771-013-1480-4>.
12. Dexter R.J., Connor R.J., Kaczinski M.R. Fatigue Design of Modular Bridge Expansion Joints. National Academy Press; 1997. Available at: https://books.google.ru/books?id=AgYnAQAAMAAJ&hl=ru&source=gbs_navlinks_s (accessed 02nd August 2024). (In Eng.).
13. Efanov A.V., Ovsyannikov S.V., Ovchinnikov I.G. Razrusheniye pokrytiya mostovogo polotna i deformatsionnykh shvov: prichiny, problemy i puti resheniya [Destruction of the bridge deck and expansion joints: causes, problems and solutions]. *Dorogi i mosty = [Roads and bridges]*. 2007;(2): 38–42. (In Russ.).
14. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N. Analysis of the causes damage to joints such as d mmm MMM-50 and D-100 on the bridge constructions of highways M-4 "DON". *Naukovedenie*. 2013;(5): 70TBH513. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/70tvn513.pdf> (accessed 02nd August 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
15. Lima J.M., Brito J.D. Inspection survey of 150 expansion joints in road bridges. *Engineering Structures*. 2009;31(5): 1077–1084. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.01.011>.
16. Friedl R., Mangerig I. Dynamic Amplification of Bridge-Expansion-Joints considering Roughness induced Vehicle Vibrations. *Procedia Engineering*. 2017;199: 2651–2656. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.515>.
17. Maeda K., Machida F., Tomizawa K., Ikebe T., Miyazaki S. Durability of Bridge Expansion Joints. In: *Durability of Structures. IABSE Symposium, September 6–8 1989, Lisbon (IABSE Report Volume 57/1)*. Lisbon: IABSE; 1989. p. 419–424. Available at: <https://trid.trb.org/View/379493> (accessed 02nd August 2024). (In Eng.).
18. Kozlachkov S.W., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Requirements to expansion joints of the bridge buildings. *Naukovedenie*. 2012;(3): 34. Available at: <https://naukovedenie.ru/sbornik12/12-43.pdf> (accessed 02nd August 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
19. Valiev Sh., Smolenkin V. Roadway surface features at bridge structure expansion joints. *Naukovedenie*. 2014;(3): 04TVN314. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/04TVN314.pdf> (accessed 02nd August 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
20. Valiev S.N., Smolenkin V.S., Rybnikova E.B. Expansion Joints of Bridge Structures: Foreign Experience of Physical Simulation. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2016;3(2): 06TS216. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/06TS216>.

Information about the authors:

Vladimir S. Smolenkin — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, e-mail: v.smolenkin@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4457-908X>

Sherali N. Valiev — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, Small Innovative Enterprise «Scientific and Engineering Center of Bridges and Structures», Moscow, Russia, e-mail: Sh.valiev@madi.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-2233>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=284723
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/HLX-1425-2023>

Maxim S. Naumov — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, e-mail: maxim.na2018@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1148-1530>

Submitted: 02nd September 2024. Revised: 06th February 2025. Published online: 20th February 2025.