

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

27-june, 2026



engineer.tstu.uz

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI, PROFESSOR
MIRAXMEDOV MAXAMADJON MIRAXMEDOVICH
TAVALLUDINING 80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA
TEKNOLOGIYALARI”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti RAASN akademigi, O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiyi, texnika fanlari doktori, professor Miraxmedov Maxamadjon Miraxmedovich tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan, ilmiy ishlar to'plami nashr etilishi ko'zda tutilgan «Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari» mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyani o'tkazishni rejalashtirmoqda.

M.M. Miraxmedov kompozitsion qurilish materiallarining polistruktura nazariyasini rivojlantirishga salmoqli hissa qo'shgan. Uning qurilish materialshunosligi sohasidagi ilmiy hissasi e'tirofi sifatida 1995-yilda Rossiya arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan. M.M. Miraxmedov 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqolalar va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomalari muallifidir.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi - qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash va qurilish sohasidagi ilmiy tadqiqotlar natijalarini, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini muhokama qilishdan iborat.

Konferensiya ishida ishtirok etish uchun oliy o'quv yurtlari va ilmiy tadqiqot institutlari olimlari, O'zbekiston Respublikasi va xorijiy davlatlarning ishlab chiqarish vakillari, ilmiy tadqiqotlarda salmoqli natijalarga ega bo'lgan mutaxassislar taklif etiladi.

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Resurs va energiya tejovchi qurilish materiallari va texnologiyalari.
2. Atrof-muhitning transport infratuzilmasiga ta'siri va uni himoya qilish usullari.
3. Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari: hisoblash va loyihalashning zamonaviy usullari.
4. Arxitektura, shaharsozlik va shahar muhitini rivojlantirish.
5. Qurilishni tashkil etishning innovatsion usullari va qurilish jarayonlari texnologiyalari.
6. Transport obyektlarini loyihalash va qurishda raqamli texnologiyalar hamda sun'iy intellekt.
7. Temir yo'l transporti infratuzilmasi obyektlarini loyihalash, qurish va ekspluatatsiya qilish.
8. Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

Application of Composite Sleepers on Railway Bridge Approaches

Z. Fazilova¹

¹Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

Abstract: Laying composite sleepers on the approach to the bridge is a scientifically based and proven method of dealing with transitional rigidity. The main effect is achieved by smoothing the jump in elasticity and increased damping, which prolongs the life of the entire structure. The assessment of cyclic strength, elastic and damping properties of composite sleepers under the influence of a variable load simulating the passage of wheelsets was carried out in the loading mode: 60-80 kN (span 20 kN) with frequencies of 5, 10 and 15 Hz. Number of cycles: up to 5000. The results showed that the material is subject to cyclic strengthening. Initial instability (0-200 cycles) is replaced by stable strengthening.

Keywords: Approaches to bridges, composite sleeper, cyclic tests, loading mode, frequency of action, damping properties, deformation, modulus of elasticity

Применение Композитных Шпал на Подходах к Железнодорожным Мостам

Фазилова З.¹

¹Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Укладка композитных шпал на подходе к мосту научно обоснованный и подтвержденный практикой метод борьбы с переходной жесткостью. Основной эффект достигается за счет сглаживания скачка упругости и повышенного демпфирования, что продлевает ресурс всей конструкции. Оценка циклической прочности, упругих и демпфирующих свойств композитных шпал при воздействии переменной нагрузки, моделирующей проход колесных пар, проводилась в режим нагружения: 60–80 кН (размах 20 кН) с частотами 5, 10 и 15 Гц. Количество циклов: до 5000. Результаты показали, что материал подвержен циклическому упрочнению. Начальная неустойчивость (0–200 циклов) сменяется устойчивым упрочнением.

Ключевые слова: Подходы к мостам, композитная шпала, циклические испытания, режим нагружения, частота воздействия, демпфирующие свойства, деформация, модуль упругости

1. ВВЕДЕНИЕ

Участки переменной жесткости на подходах к мостам представляют собой специальные инженерные конструкции, призванные решить проблему резкого перепада жесткости между относительно податливой насыпью и жестким мостовым сооружением. Такой перепад является основной причиной образования «предмостовых ям» и ускоренного износа пути [1]–[2].

На границе моста и земляного полотна возникает резкий скачок жесткости. При проходе поезда это вызывает неравномерные осадки и дополнительные динамические нагрузки, вибрацию, что приводит к ускоренному износу рельсов, шпал, балластного слоя. Испытания показывают, что модуль упругости пути на типовом железобетонном мосту примерно в 1,5 раза выше, чем на подходе к нему [3]–[4].

Конструкции переменной жесткости обеспечивают плавное, постепенное изменение

модуля упругости подрельсового основания на переходе от насыпи к мосту, чтобы минимизировать динамическое воздействие от поездов.

Для создания участков переменной жесткости применяются различные инженерные решения, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Конструкции участков переменной жесткости

Техническое решение	Принцип действия	Эффективность
Железобетонные переходные плиты	Плита опирается на устой моста и грунт насыпи, распределяя нагрузку на большую площадь	Улучшают плавность хода, но их эффективность ограничена длиной (обычно до 6-8 м)

 <https://orcid.org/0000-0001-5933-1208>



Армирование грунта (сваи, геоматериалы)	Буронабивные сваи или георешетки укрепляют насыпи, увеличивая его жесткость	Значительно повышают жесткость основания на подходе, уменьшая разницу
Клиновидная засыпка -	За мостовым устоем устраивается клин из материала с постепенно уменьшающейся жесткостью	Снижает неравномерность осадки на 42.2% согласно исследованиям
Применение упругих элементов	Укладка подбалластных матов или подрельсовых прокладок разной жесткости для плавного перехода	Позволяет точно настраивать жесткость пути на разных участках зоны перехода

Согласно нормативам, минимальная длина участка переменной жесткости зависит от скорости движения поездов и составляет от 15 до 25 метров. Однако исследования показывают, что этого часто недостаточно, и для надежной работы на высокоскоростных и грузонапряженных линиях требуется индивидуальное проектирование с учетом реальной длины зоны расстройств [5]–[7].

Таким образом, участки переменной жесткости — это не просто плита, а комплексная система «пролетное строение — устой — земляное полотно», к каждому элементу которой предъявляются свои требования для обеспечения плавности хода и долговечности пути [8]–[9].

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ

Одним из эффективных технических предложений для решения проблемы переходной жесткости является применение композитных шпал на подходах к железнодорожным мостам. Оно позволяет значительно увеличить срок службы пути и снизить затраты на его содержание.

Композитные шпалы работают как "умный" буфер. Они жестче, чем деревянные (которые часто лежат на подходах), но при этом обладают большей гибкостью и демпфированием, чем тяжелый железобетон. Ключевые эффекты от их применения приведены в таблице 2.

Наиболее убедительные данные были получены в ходе масштабных эксплуатационных испытаний, проведенных в США (ТТС) на сети

дорог Union Pacific [6]. На одном из участков были уложены три типа шпал: железобетонные (с резиновыми подкладками и без), а также композитные. Через пропущенный тоннаж в 245 млн тонн брутто результаты показали, что именно композитные шпалы обеспечили наименьший разброс жесткости. Значения модуля упругости на мосту и на подходе стали практически одинаковыми.

Композитные шпалы показали высокие вибропоглощающие характеристики. В ходе тех же испытаний коэффициент демпфирования у композитных шпал был сопоставим с коэффициентом у ЖБ-шпал с резиновыми прокладками (около 0,15), тогда как у обычных ЖБ-шпал он составил всего 0,10. Это означает, что путь с композитными шпалами быстрее гасит вибрации после прохода колеса.

За весь период наблюдений при интенсивном движении на мостах с композитными шпалами не было зафиксировано появления трещин или расстройств пути.

Таблица 2

Эффективность применения композитных шпал

Параметр	Эффект от применения композитных шпал
Выравнивание жесткости	Снижают разницу в жесткости между путем на мосту и на подходе
Снижение динамики	Ударные нагрузки и вибрации гасятся за счет полимерной матрицы
Сопротивление сдвигу	Текстурированная поверхность обеспечивает лучшее сцепление с балластом (у композитных шпал оно в 1,5 раза выше, чем у деревянных)

Оценка демпфирующих свойств композитных шпал одна из ключевых задач, так как именно эти свойства во многом определяют их преимущество над традиционными железобетонными шпалами (снижение вибрации и шума, улучшение динамического взаимодействия пути и подвижного состава).

В соответствии со стандартами AREMA были проведены лабораторные испытания на циклическую нагрузку шпалы для имитации последующих поездов, проходящих над шпалой в течение ее срока службы, что позволяет наблюдать усталостные эффекты или постоянную



деформацию и доказывать несущую способность и работоспособность шпалы (рисунок 1).



Рис. 1. Испытание образца композитной шпалы на циклическую нагрузку

Результаты испытаний на циклическую усталость композитной шпалы на основе переработанного пластика представлены на рисунках 2 – 4.

Представлены три осциллограммы, отображающие динамику изменения деформации образца при приложении циклической нагрузки в диапазоне 60–80 кН. На всех графиках видно, что система вышла на установившийся режим колебаний после начального переходного процесса. В процессе испытаний ни один из образцов не разрушился.

На всех трех частотах (5, 10 и 15 Гц) система успешно обрабатывает циклы нагружения "60-80 кН" без потери формы сигнала.

График на 5 Гц показывает размах деформации около 0.8 мкм (на уровне 9.5-10.3 мкм), тогда как графики на 10 Гц и 15 Гц показывают гораздо меньший размах (0.1 мкм) и абсолютно другие значения (в районе 31 мкм). Наиболее вероятной причиной такого поведения можно считать изменение жесткости композитного материала за счет уплотнения материала.

При повышении частоты с 5 до 15 Гц амплитуда деформации (на данном конкретном временном срезе и, вероятно, при определенной жесткости) не увеличивается, а наоборот (на втором и третьем графиках) фиксируется в более "узком" диапазоне. Это характерно для некоторых типов испытаний, где при увеличении скорости нагружения материал ведет себя более упруго (эффект частотной зависимости модуля упругости).

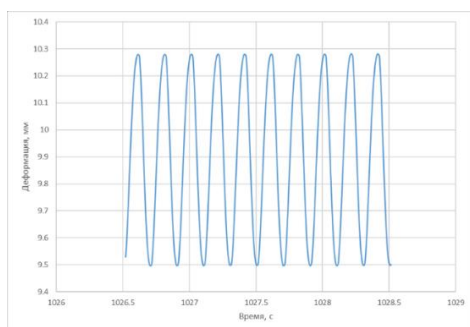


Рис. 2. Динамика 10 циклов 60-80 кН (5 Гц)

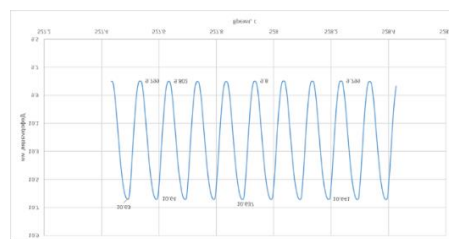


Рис. 3. Динамика 10 циклов 60-80 кН (10 Гц)

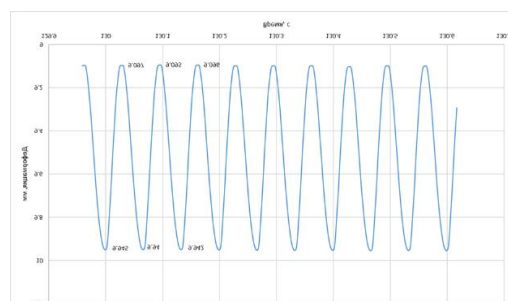


Рис. 4. Динамика 10 циклов 60-80 кН (15 Гц)

На графиках рисунков 5 – 7 показано изменение модуля упругости в зависимости от количества циклов нагружения.

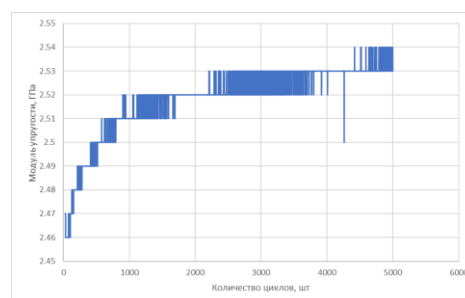


Рис. 5. Модуль упругости при 60-80 кН (5 Гц)

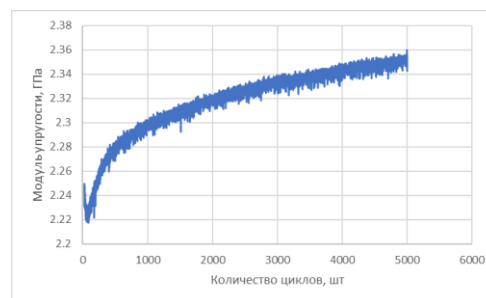


Рис. 6. Модуль упругости при 60-80 кН (10 Гц)

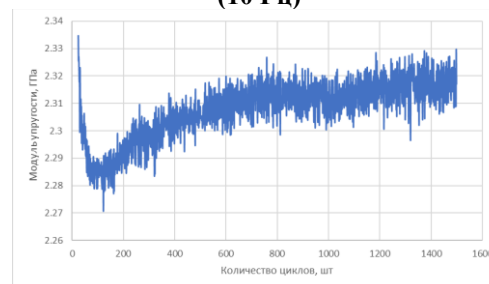


Рис. 7. Модуль упругости при 60-80 кН (15 Гц)



На всех трех графиках наблюдается рост модуля упругости с увеличением количества циклов. Это явление называется циклическим упрочнением (или «разработкой» материала). Материал становится жестче по мере того, как подвергается повторяющимся нагрузкам.

При низкой частоте (5 Гц, рисунок 5) материал показывает отчетливые этапы упрочнения. После ~4400 циклов наблюдается единичный резкий «провал» вниз (до 2.5 ГПа), что может указывать на кратковременную флуктуацию измерений или локальное изменение структуры, после которого материал продолжил упрочняться.

С повышением частоты до 10 Гц система сбора данных работает непрерывно. Большое количество измерений создает «облако» данных. Здесь четко видна динамика приработки: резкое падение на старте (0–200 циклов) вызвано переходными процессами в системе нагружения и релаксацией материала, затем начинается устойчивый логарифмический рост упрочнения.

При частоте 15 Гц график демонстрирует еще более высокую вариативность измерений, что типично для высоких частот (вибрация и инерционные эффекты). Общая тенденция роста сохраняется. Важно отметить: начальное значение модуля (после стабилизации) на 15 Гц (~2.28 ГПа) выше, чем на 10 Гц (~2.22 ГПа). Это может указывать на частотную зависимость упругих свойств материала: при быстром приложении нагрузки (15 Гц) материал ведет себя жестче, так как вязкие компоненты (если шпала полимерная) не успевают релаксировать.

Анализ демпфирующих свойств композитной шпалы, исходя из графиков и физики процесса установил следующее: при циклировании в диапазоне 60–80 кН композитная шпала демонстрирует преимущественно упругое поведение без значительного рассеивания энергии в виде искажения формы колебаний (сигнал чистый синусоидальный); поскольку с ростом числа циклов модуль упругости систематически растет (материал становится жестче), его способность гасить колебания (демпфирование) должна постепенно снижаться; при переходе с 5 Гц на 15 Гц жесткость материала увеличивается, а значит, на высоких частотах демпфирующие свойства композитной шпалы реализуются хуже, чем на низких.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа графиков (динамика деформации во времени и изменение модуля упругости в зависимости от числа циклов при 5, 10 и 15 Гц) можно сформулировать следующие общие выводы по испытаниям композитной шпалы при нагрузках 60–80 кН:

1. Материал демонстрирует циклическое упрочнение. На всех трех частотах (5, 10 и 15 Гц) наблюдается устойчивая тенденция к росту модуля упругости по мере увеличения количества циклов. Это означает, что под воздействием повторяющихся нагрузок в диапазоне 60–80 кН материал становится более жестким и упругим (вероятно, за счет уплотнения структуры и ориентации молекул/волокон).

2. Процесс стабилизируется по мере роста циклов. На всех графиках модуль упругости видно, что начальный этап (0–1000 циклов) сопровождается наибольшей нестабильностью и более крутым ростом. В дальнейшем (после 2000–3000 циклов) рост замедляется, материал переходит в стадию «установившегося упрочнения».

3. Частота нагружения влияет на измеряемый модуль, но не на характер упрочнения. На 5 Гц фиксируется более высокое абсолютное значение модуля упругости (~2.5 ГПа) и дискретный (ступенчатый) характер его изменения. На 10 и 15 Гц абсолютные значения ниже (~2.2–2.3 ГПа), а графики имеют непрерывный, сильно зашумленный вид.

При проведении испытаний на разных частотах необходимо учитывать, что скоростные эффекты (вязкоупругость) могут давать систематическую разницу в абсолютных значениях модуля.

4. Система сбора данных и алгоритм расчета имеют особенности. Графики на 10 и 15 Гц показывают значительный уровень шума («толстая» линия), что характерно для непрерывной регистрации при быстрых циклах. Ступеньки на 5 Гц могут быть связаны с тем, что расчет модуля усредняется за блок циклов, а не выдается в реальном времени.

5. Отсутствие признаков разрушения в рамках испытаний. На всех графиках видно, что после 5000 циклов (или 1500 для 15 Гц) материал продолжает работать в упругой зоне без катастрофического падения модуля упругости (разрушения). Единичные «провалы» на графиках (например, на графике 1) носят локальный характер и не приводят к потере несущей способности.

Испытанные образцы шпал показали высокую циклическую стойкость и способность к упрочнению под нагрузкой 60–80 кН на всех исследованных частотах (5, 10 и 15 Гц). Материал сохраняет свою упругость и жесткость на протяжении 5000 циклов, что свидетельствует о его пригодности для работы в условиях повышенных динамических нагрузок на участках переменной жесткости в предмостовой зоне.

В дальнейшем планируется продолжить испытания до момента усталостного разрушения материала композитной шпалы и определения предела его выносливости.



БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит руководство и сотрудников ООО «АКСИОН РУС» за предоставленные образцы для проведения динамических испытаний.

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ
ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

[1] Алтынников Д. С., Ковенькин Д. А. “Анализ деформаций железнодорожного пути на участках подходов к металлическим мостам с безбалластным мостовым полотном на Восточно-Сибирской железной дороге”. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Т. 56, № 4. С. 176-183, 2017

[2] СП 119.13330.2024. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95. Москва: Стандартинформ, 2024

[3] Дылев Е. О., Ашпиз Е. С. “Регулирование жёсткости пути на подходе к искусственным сооружениям”. Аспирантские чтения: сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ) / под общей редакцией Т. В. Шепитько. Выпуск 4. Москва: Перо, С. 79–84, 2021

[4] Cheng Chen, Cheng-lu Zhang, Pei Tai, Lei Zhang, Rui Rui, Optimization of transition section treatments between bridge and regular track using DEM coupled simulation, Transportation Geotechnics, Volume 52, 2025, 101588, ISSN 2214-3912, <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2025.101588>.

[5] Дылев Е. О., Ашпиз Е. С. “Регулирование жёсткости пути на подходе к искусственным сооружениям”. Аспирантские чтения: сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ) / под

общей редакцией Т. В. Шепитько. Выпуск 4. Москва: Перо, С. 79–84, 2021

[6] Путь для переходных участков при высоких осевых нагрузках. По материалам ТТС. Железные дороги мира. 2009, № 2. С.74 - 77

[7] Виноградов В. В., Локтев А. А., Фазилова З. Т. “Математическое моделирование участков переменной жёсткости перед искусственными сооружениями”. Мир Транспорта, том 16, № 3, С. 72–85, 2018.

[8] Ланис А. Л., Усов Д. А., Охременко Е. С. “Зоны жесткости на подходах к мостовым переходам”. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. № 3. С. 18–27, 2025

[9] Локтев, А. А., Талашкин Г. Н., Степанов К. Д. “Моделирование железнодорожного пути переменной жесткости при динамических воздействиях на верхнее строение”. Транспорт Российской Федерации. № 2–3(63–64). С. 40–44., 2016.

**INFORMATION ABOUT THE
AUTHORS ИНФОРМАЦИЯ ОБ
АВТОРАХ**

**Фазилова
Зулфия**

Российский университет
транспорта, кафедра
«Транспортное
строительство»
E-mail: fazil_1905@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5933-1208>



A. Mamadaliev, S. Jabbarova <i>Analysis of Modern Research on the Impact of Desert Winds and Sand Processes on Railway Tracks.....</i>	60
Z. Kakharov, I. Purtseladze <i>Improving Saline Soils with a Fiberglass Reinforcing Layer.....</i>	68
K. Lesov, A. Uralov <i>Assessment of the Effect of Geomats on Reducing the Intensity of Deflation of Sandy Soils on Railway Embankment Slopes.....</i>	72
K. Lesov, M. Kenjaliev, A. Mavlanov <i>A Technical and Engineering Analysis of the Parameters for Protective Forest Plantations Along Railways in Areas with Shifting Sands.....</i>	78
A. Uralov, D. Kenjalieva <i>Assessment of Erosion Reduction on Railway Slopes Using Geomats.....</i>	85
M. Muzaffarova <i>Predicting Railway Sand Drifts Using Meteorological Data.....</i>	90
Z. Fazilova <i>Application of Composite Sleepers on Railway Bridge Approaches.....</i>	94
S. Djabbarov, E. Abdualiev <i>Assessment of the Operational Reliability of Railway Water Pipelines in Seismically Active Areas.....</i>	99
S. Salikhanov <i>Modern Principles of Sustainable Bridge Design.....</i>	104
S. Salikhanov, J. Zokirov <i>Methodological Framework for Assessing Durability and Reliability of Reinforced Concrete Bridge Structures.....</i>	108
M. Miralimov, Kh. Urazov, Z. Rakhimjonov, K. Juraev <i>Methods for Calculating Retaining Walls Composed of Modern Prefabricated Elements and Their Stability Conditions.....</i>	113
G. Malikov <i>Analysis of the Strength Characteristics and Micro-Crack Formation Boundaries of Ceramic Concrete During Compression.....</i>	119

