

Научная статья
УДК 624.011.78
doi:10.52170/1815-9265_2026_79_114

Моделирование и оценка экономической эффективности полимерных композитных материалов при ремонте проезжей части мостов

Тимофей Михайлович Баранов^{1✉}, Диана Валеохмадовна Хамидулина²

^{1, 2} Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

¹ baranov-87@yandex.ru✉

² khamidulinadiana@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения полимерных композитных материалов для реконструкции проезжей части городских мостов. В Иркутске находится ряд мостов, имеющих пониженную грузоподъемность и недостаточный ресурс долговечности за счет нарушения гидроизоляционных слоев мостового полотна и связанных с этим повреждений несущих элементов. Примером таких сооружений могут служить мосты со сталежелезобетонными пролетными строениями. Применение композитных материалов при капитальном ремонте подобных пролетных строений в качестве несущих конструкций проезжей части позволит повысить их грузоподъемность, исключить необходимость устройства гидроизоляционного слоя проезжей части, тем самым уменьшить затраты на само полотно и его последующие ремонты в течение всего срока службы. Результаты работы можно применить и для других городских мостов, в том числе новых.

В статье выполнен анализ ключевых преимуществ полимерных композитных материалов, а также основных ограничений их применения. Также приведены данные, демонстрирующие снижение эксплуатационных затрат на содержание мостов из полимерных композитных материалов по сравнению с железобетонными. Так, срок окупаемости 1 м² композитной плиты проезжей части составляет примерно 35 лет, что приблизительно равно 1,5 нормативным периодам капитального ремонта гидроизоляции.

С помощью программного комплекса MIDAS Civil 2022 была разработана конечно-элементная модель пролетного строения путепровода с плитой проезжей части из композитных материалов. Расчеты подтвердили возможность совместной работы композитной плиты и стальных балок; материал плиты и стальных балок отвечает требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: полимерные композитные материалы, мостовые конструкции, реконструкция мостов, эксплуатационные расходы на содержание мостов, гидроизоляция проезжей части

Для цитирования: Баранов Т. М., Хамидулина Д. В. Моделирование и оценка экономической эффективности полимерных композитных материалов при ремонте проезжей части мостов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 2 (79). С. 114–126. DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_114.

Original article

Modeling and evaluation of the economic efficiency of polymer composite materials in bridge deck repair

Timofey M. Baranov^{1✉}, Diana V. Khamidulina²

^{1, 2} Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

¹ baranov-87@yandex.ru✉

² khamidulinadiana@yandex.ru

Abstract. This article examines the prospects of using polymer composite materials (PCMs) for bridge deck reconstruction. Irkutsk city contains a number of bridges characterized by reduced load-carrying capacity and insufficient durability, resulting from damage to the waterproofing layers of the bridge deck and the consequent deterioration of the load-carrying elements. Bridges with steel-reinforced concrete superstructures serve as examples of such structures. Employing polymer composite materials in the rehabilitation of superstructures, specifically as load-bearing roadway components, enhances their load-carrying capacity; this approach eliminates the necessity of a separate waterproofing layer, thereby reducing both the initial cost of the deck and expenses for its maintenance and repairs. The results of the work can also be applied to other urban bridges, including new ones.

The article analyzes the key advantages of polymer composite materials, as well as the primary limitations on their application. It also provides data demonstrating the reduction in operating costs for the maintenance of bridges utilizing polymer composite materials compared to reinforced concrete. For instance, the payback period for

1 square meter of composite roadway slab is approximately 35 years, which is roughly equivalent to 1.5 standard periods of waterproofing major repairs.

Using the MIDAS Civil 2022 software package, a finite element model of the overpass superstructure with a composite roadway slab was developed. Calculations confirmed the feasibility of the integrated behavior of the composite slab and steel beams; the material of the slab and steel beams meets the requirements of regulatory standards.

Keywords: polymer composite materials, bridge structures, bridge reconstruction, operational costs of PCM bridges, bridge waterproofing

For citation: Baranov T. M., Khamidulina D. V. Modeling and evaluation of the economic efficiency of polymer composite materials in bridge deck repair. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2026;(79):114–126. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_114.

Введение

В настоящее время число конструкций, изготовленных из полимерных композитных материалов и применяемых в области транспортного и гражданского строительства, значительно возросло. Актуальность научно-исследовательской работы обусловлена возможностью увеличения долговечности конструкций эксплуатируемых городских мостов с металлическими или сталежелезобетонными пролетными строениями и снижения эксплуатационных затрат на ремонт мостового полотна за счет отсутствия необходимости устройства гидроизоляционного слоя, полной водонепроницаемости поликомпазитной плиты и ее устойчивости к солям.

В Иркутске находится ряд мостов, имеющих пониженную грузоподъемность и низкий остаточный ресурс долговечности. Примером может служить путепровод со сталежелезобетонными пролетными строениями. Применение композитных материалов при капитальном ремонте данного путепровода в качестве несущих конструкций плиты проезжей части позволит повысить его грузоподъемность, исключить необходимость устройства гидроизоляционного слоя проезжей части, тем самым уменьшить затраты на само полотно и его последующие ремонты. Результаты работы можно применить и для других городских мостов, в том числе для проектируемых сооружений.

Интеграция в совместную работу конструкций из полимерных композитных материалов со стальными пролетными строениями позволит достичь экономии за счет сокращения расхода стального материала по сравнению с вариантом без совместной работы плиты и балок.

Материалы и методы исследования

Компазитные материалы на сегодняшний день уже нашли широкое применение в области транспортного строительства. В мировой практике известно более 360 мостов, в состав

которых включены конструкции из композитных материалов, в том числе 53 – с цельнокомпозитными пролетными строениями [1].

К числу наиболее известных примеров применения композитных материалов в конструкции мостового перехода относится пешеходный мост в г. Аберфельди, являющийся первым в мире полностью «пластиковым» мостом (рис. 1). Конструкция представляет собой трехпролетный вантовый мост с центральным пролетом 63 м и двумя боковыми пролетами по 25 м, высота пилона – 17 м. Еще одним примером мостов, спроектированных под пешеходную нагрузку, является цельнокомпозитный мост в г. Ллейда, Испания (рис. 2) с центральным арочным пролетом расчетной длиной 38 м и высотой арки 6,2 м. Оба моста запроектированы на временные вертикальные нагрузки в 5 кПа.

Говоря об опыте применения композитных материалов, нельзя не упомянуть об их применении в отечественном мостостроении, которое демонстрирует возможности таких технологий в условиях нашего климата. Первый в России мост с цельнокомпозитным пролетом был построен в 2004 г. в Чертанове (Москва) по заказу ОАО «РЖД» – трехпролетный пешеходный мост полной длиной 41 м, с центральным пролетом в 13 м, спроектированный под нагрузку 4 кПа (рис. 3).

Применение композитных материалов не ограничивается одной лишь пешеходной инфраструктурой. В России имеются успешные примеры автодорожных и железнодорожных мостов с несущими конструкциями, целиком выполненные из полимерных композитных материалов (ПКМ). Так, в 2014 г. в Новосибирске был построен первый и на данный момент единственный в России автодорожный мост с пролетными строениями из композитных материалов, с расчетным пролетом длиной 17,62 м. Однопролетный балочный мост с пролетным строением из композитных ферм системы Тауна



Рис. 1. Пешеходный мост в Аберфельди [2]



Рис. 2. Пешеходный мост из стеклопластика в г. Ллейда [3]

с железобетонной плитой проезжей части, включенной в совместную работу (рис. 4) под временные нагрузки А-14 и Н-14 [4]. Этот пример является подтверждением возможности применения ПКМ в несущих конструкциях автодорожных мостов.

В 2019 г. был построен первый в мире железнодорожный мост с цельнокомпозитным пролет-

ным строением балочной системы со сплошной стенкой, с расчетным пролетом 11,5 м под нормативную нагрузку С-14 [4] (рис. 5).

Полимерные композитные материалы представляют собой искусственно созданные структуры, состоящие из нескольких компонентов – полимерной матрицы и армирующих наполнителей.



Рис. 3. Первый в России мост с цельнокомпозитным пролетом



Рис. 4. Автомобильный мост через р. Пашенку в Новосибирской области



Рис. 5. Первый в мире цельнокомпозитный железнодорожный мост [5]

Армирующие наполнители составляют от 30 % до 70 % от объема и 50 % от их веса. Основная их функция – восприятие нагрузки и обеспечение жесткости, термической устойчивости и прочих структурных свойств материала. Для эффективного восприятия механических нагрузок армирующие наполнители должны иметь высокий модуль упругости, обладать высоким пределом прочности, низким разбросом прочности между волокнами, высокой стабильностью своей прочности во время обработки, а также высокой однородностью диаметра и размера поверхности.

Матрица обеспечивает положение и ориентацию волокон, защиту от повреждений в процессе изготовления и обработки, долговечность композита, а также защиту от воздействия окружающей среды. Кроме того, она отвечает за распределение нагрузок на отдельные волокна [6, 7].

Путем целенаправленного комбинирования полимерных матриц и армирующих наполнителей могут быть созданы материалы с заданным комплексом свойств.

Данные материалы обладают рядом отличительных особенностей в сравнении с традиционно используемыми железобетоном и сталью:

1) более высокая прочность при растяжении. На рис. 6 показано сравнение прочностных и деформационных характеристик ПКМ, обычной и высокопрочной стали для армирования железобетона;

2) устойчивость к воздействию влаги, химических реагентов и других агрессивных сред, что обуславливает долговечность конструкций, выполненных из них. По данной

причине применение конструкции с композитами в составе позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы;

3) неустойчивость к солнечной радиации, композитные материалы сами по себе не являются огнестойкими, имеют ярко выраженную анизотропию свойств и склонность к хрупкому разрушению [8], о чем свидетельствует отсутствие площадок текучести на рис. 6. Определенная анизотропия прослеживается при деформации растяжения-сжатия. При сжатии конструкций из полимерных композитных материалов сами волокна склонны к потере местной устойчивости. На рис. 7 представлены основные механизмы разрушения конструкций из композитных материалов при их сжатии.

Также из-за небольшой зоны текучести данный материал лучше включать в совместную работу со сталью, а не применять независимо [8, 9]. Известно, что для полимерных композитных материалов характерно хрупкое разрушение, что является определенного рода ограничением для их применения в определенных типах конструкций. При проектировании новых конструкций из ПКМ, усиления существующих конструкций из традиционных материалов следует придерживаться первой теории прочности по допускаемым напряжениям в композитном материале в продольном и отдельно поперечном направлении армирующих волокон.

В мостостроении из композитных материалов наиболее распространено применение стеклопластика GFRP. В сравнении с углепластиком CFRP его стоимость значительно меньше при равной экономии на ремонтах в течение жизненного цикла моста. Также стеклопластики

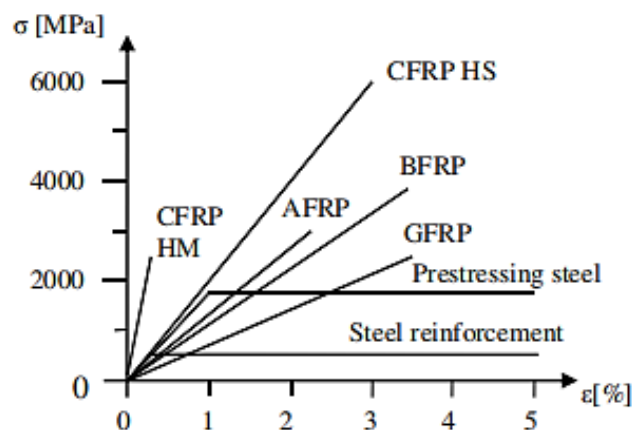


Рис. 6. Диаграмма напряжение – деформация для стали и поликомпонитных материалов: CFRP – углепластик; BFRP – базальтопластик; AFRP – арамидопластик; GFRP – стеклопластик; prestressing steel – напрягаемая арматура; steel reinforcement – арматура [6]

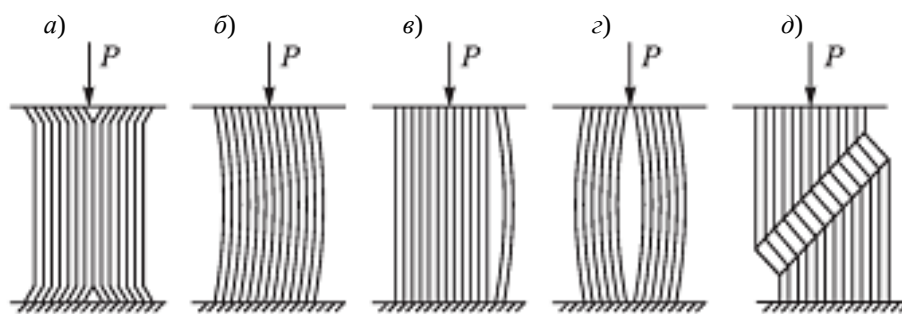


Рис. 7. Возможные механизмы разрушения при сжатии композитных образцов:
а – смятие; б – потеря устойчивости; в – выщелкивание слоев; г – расслоение; д – кинк [10]

обладают меньшим модулем упругости, чем углепластики, что позволяет равномернее перераспределяться концентраторам напряжений в соединениях и узлах конструкции.

В статье [11] А. Н. Иванов, В. С. Кожевников находят применение плитам из ПМК-материалов в железнодорожных мостах и оценивают напряженно-деформированное состояние объединенного пролетного строения. Авторы приходят к выводу, что замена железобетонной плиты на композитную в составе сечения главных балок для железнодорожных мостов вполне возможна, хотя и требует дальнейшей расчетной и конструктивной проработки. Такая проработка в части объединения композитных плит со стальными балками описывается в [12].

Много внимания в мостостроении уделяется применению ПМК-материалов для усиления несущих конструкций [12, 13]. Как правило, композитные материалы выступают в качестве внешнего армирования железобетонных конструкций и укладываются вдоль растянутых волокон.

Результаты исследования и их обсуждение

Защита строительных конструкций от воздействия влаги является одной из основных задач при их проектировании и строительстве, так как гидроизоляция – наиболее уязвимый и ключевой элемент, от которого зависит долговечность всего сооружения. Включение композитных материалов в совместную работу со стальными балками позволяет достичь экономии за счет отсутствия необходимости применения гидроизоляции и эксплуатационных расходов на ее содержание.

В качестве примера применения композитных материалов при капитальном ремонте рассмотрим пролетное строение путепровода в Иркутске. Общий вид сооружения приведен на

рис. 8. Путепровод (схема $18 + 2 \times 34 + 18$ м, балочная разрезная система) имеет сталежелезобетонные пролетные строения из восьми двутавровых главных балок со сплошными стенками, объединенных железобетонной плитой проезжей части и системой связей.

Покрытие проезжей части крайних полос мостового полотна выполнено из асфальтобетона, а междупутья трамвайных путей и примыкающих к ним участков – из железобетонных плит размером $1\,860 \times 1\,400 \times 120$ и $1\,390 \times 680 \times 120$ мм. Одежда ездового полотна состоит из следующих слоев: оклеечная гидроизоляция из мешковины, пропитанной битумом; защитный слой из армированного цементно-песчаного раствора толщиной 3–5 см; песчано-гравийное основание толщиной 14 см; покрытие проезжей части толщиной в среднем 36,5 см.

Обследование и испытания путепровода специалистами СГУПС и ИрГУПС в 2019 г. позволили сделать следующие выводы:

- недостаточное включение железобетонной плиты проезжей части в совместную работу с главными балками, т. е. несущими конструкциями являются только металлические части пролетного строения, что ограничивает грузоподъемность путепровода и влияет на движение городского транспорта;

- наблюдается развитие повреждений, связанных с нарушением гидроизоляции, таких как выщелачивание цементного камня на нижней поверхности плиты (рис. 9, а) и коррозия главных балок (см. рис. 9, б), дополнительно снижающих ресурс сооружения.

Для восстановления эксплуатационных показателей городского путепровода предлагается полная замена мостового полотна и всей железобетонной плиты проезжей части на единую поликомпозиционную конструкцию (рис. 10). Это решение призвано упростить и

а)



б)

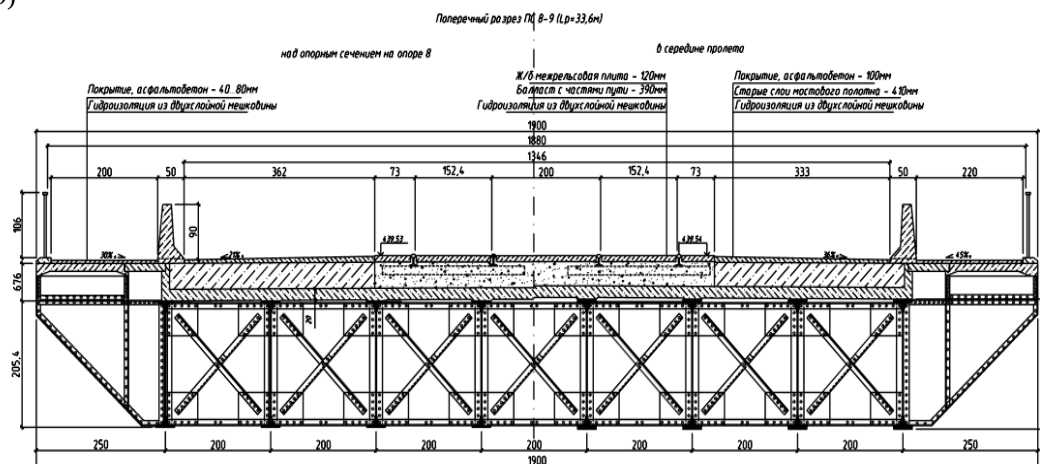


Рис. 8. Существующий путепровод:
а – общий вид; б – поперечное сечение пролетного строения

а)



б)



Рис. 9. Повреждения пролетного строения:
а – выщелачивание цементного камня на нижней поверхности плиты путепровода; б – коррозия верхних поясных уголков путепровода

усовершенствовать данную систему. Дополнительный слой гидроизоляции в данной схеме отсутствует, поверх поликомпозитной плиты проезжей части для автодорожной части напрямую укладывается слой асфальтобетона, а для трамвайной – блоки LVT, помещаемые в углубление непосредственно на плите.

Для проверки возможности совместной работы стального пролетного строения и поликомпозитной плиты проезжей части, для оценки прочности конструкции была разработана конечно-элементная модель наибольшего пролета рассматриваемого путепровода (пролет длиной 33,6 м). Моделирование и

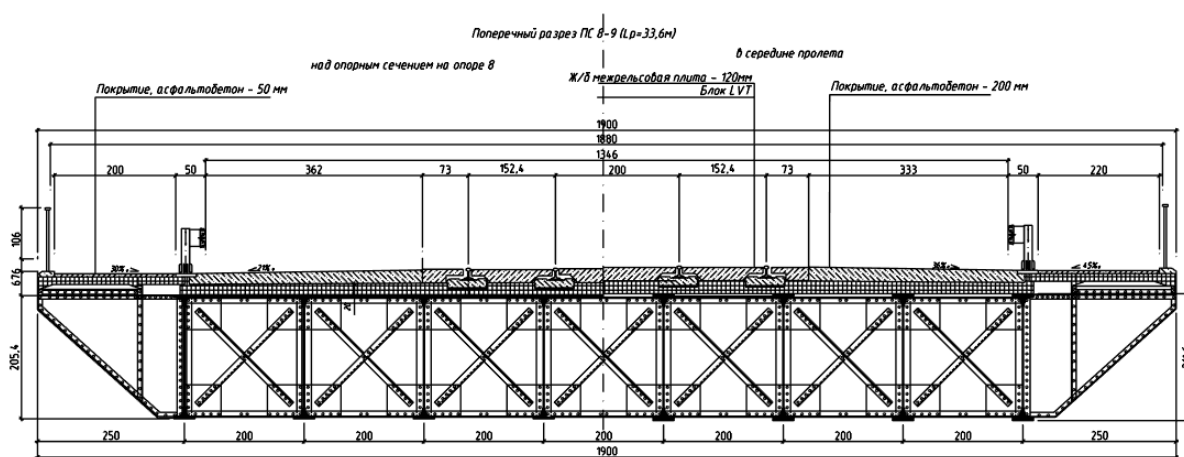
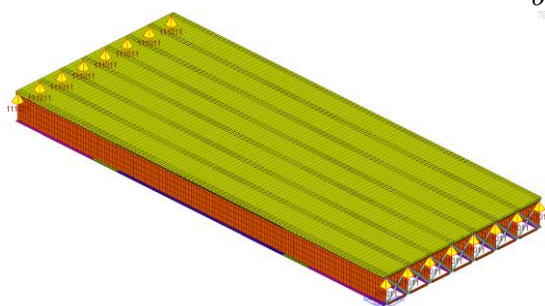


Рис. 10. Предлагаемое решение для капитального ремонта путепровода

а)



б)

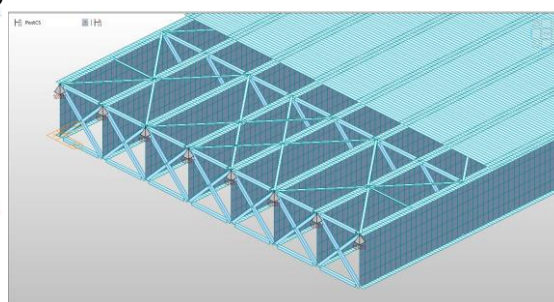


Рис. 11. Виды конечно-элементной модели:

а – общий вид; б – фрагмент

расчет производились в программном комплексе MIDAS Civil 2022. На рис. 11 приведен вид конечно-элементной модели.

Главные балки пролетного строения и плита проезжей части заданы плитными элементами, продольные и поперечные связи – балочными. Стальные элементы данной конструкции выполнены из стали марки СтЗкп. Композитная плита проезжей части смоделирована плитными элементами с характеристиками материала, соответствующими стеклопластику – GFRP (табл. 1). Соединение плиты проезжей части и стальных балок пролетного строения смоделировано жесткими связями. Всего расчетная модель содержит 21,3 тыс. элементов и четыре стадии монтажа. В модели заданы постоянные нагрузки от дорожной одежды и собственного веса, а также временные нагрузки по схемам А-14 и Н-14, нагрузка

от трамвая и пешеходов. Нагрузки и соответствующие им коэффициенты определялись согласно [4] и приведены в табл. 2. В модели учтена стадийность приложения нагрузок при ремонте пролетного строения.

Учет стадийности заключался в последовательном приложении постоянных нагрузок на изменяющиеся сечения несущих конструкций. В данном случае учтены следующие стадии:

- 1) демонтаж существующей плиты;
- 2) приложение нагрузок веса ПМК-плиты проезжей части к стальным балкам;
- 3) объединение сечения с плитой и приложение нагрузок мостового полотна, временных нагрузок.

Результаты стадийного расчета показали, что напряжения в главных балках при устройстве плиты и дорожной одежды не превышают расчетного сопротивления стали СтЗкп (рис. 12).

Таблица 1

Физико-механические характеристики стеклопластика [1, 14]

Направление волокон	Плотность, т/м ³	Модуль упругости, ГПа	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при сжатии, МПа
Вдоль армирующих волокон	1,9–2,1	56–70	1 600–2 100	124,1
Поперек армирующих волокон	1,9–2,1	8,5–2,0	50–100	49,8

Коэффициенты надежности и динамики по [4]

Тип нагрузки	Коэффициент надежности	Коэффициент динамики
<i>Постоянные нагрузки</i>		
Собственный вес конструкций балок, связей, ПМК-плиты, конструкций рельсового пути	1,1	—
Вес покрытия ездового полотна и тротуаров	1,5	—
<i>Временные нагрузки</i>		
A-14: тележка АК	1,5	1,4
равномерно распределенная нагрузка АК	1,25	1,0
H-14: тележка НК	1,1	1,0
Нагрузка от трамвая	1,26	1,28
Пешеходная нагрузка	1,4	1,0

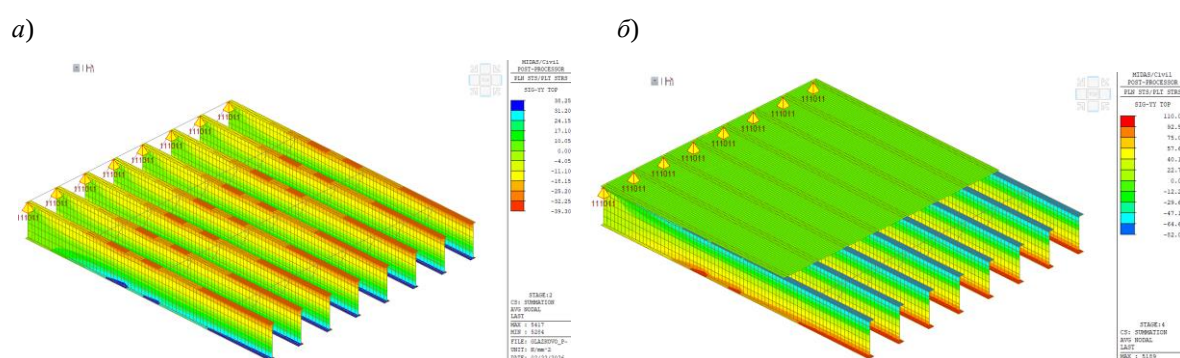


Рис. 12. Нормальные напряжения в стальных балках (показана половина пролетного строения и часть плиты), МПа:

а – при устройстве плиты; б – при полных постоянных нагрузках

Расчет прочности при наличии временных нагрузок проводился на наиболее невыгодное из сочетаний. На рис. 13 представлены значения нормальных напряжений в главных балках и поликомпозитной плите проезжей части. Напряжения в стальных балках достигли 199,7 МПа, что не превышает расчетного сопротивления СтЗкп в 215 МПа по нижним поясам балок. Эксплуатируемый путепровод находится в историческом центре города с преимущественным автобусным и легковым движением. По результатам мониторинга реакций сооружения на обращающиеся нагрузки в 2019 г. установлено, что класс обращающихся нагрузок составляет 3,8 для одиночного проезда по схеме НК и 2,8 при полной загрузке путепровода по схеме АК, что значительно ниже проектного. Полученный коэффициент использования 0,93 на сочетание полных расчетных нагрузок по современным нормам, с учетом коэффициента надежности по материалу для стали СтЗкп, говорит о значительных запасах ресурса сооружения после его

ремонта с применением композитных плит проезжей части.

По поликомпозитной плите проезжей части нормальные продольные к оси пролетного строения напряжения составляют не более 21 МПа, что меньше предела прочности материала при сжатии 49,8 МПа. В целом подтверждается возможность применения стеклопластика для капитального ремонта данного путепровода и исключаются риски потери устойчивости волокон внутри материала.

Расчет локальной работы плиты проводился при сочетании постоянных и временных нагрузок по схеме АК. Нормальные напряжения поперек оси пролетного строения от расчетного сочетания нагрузок в плите проезжей части представлены на рис. 14, а и составляют максимум 4,7 МПа, что не превышает максимально допустимых значений прочности материала при сжатии. На рис. 14, б показаны смещения узлов плиты у главных балок, где разность смещений составляет 4,3 мм.

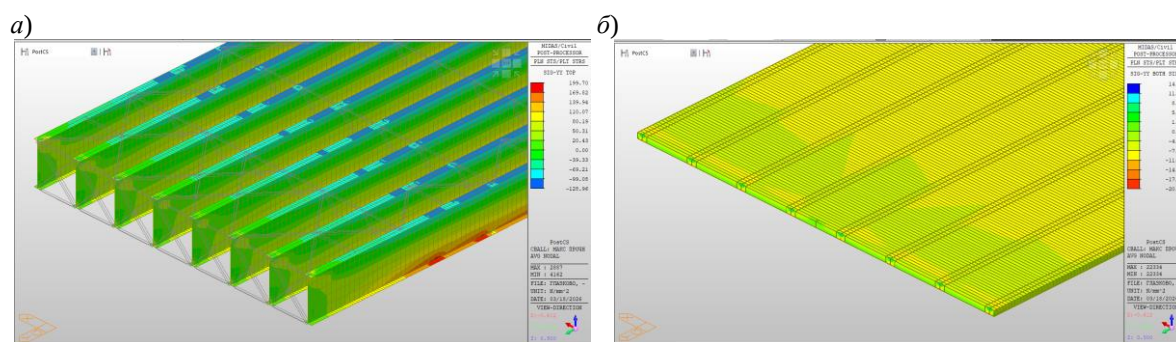


Рис. 13. Нормальные напряжения при сочетании расчетных постоянных и временных нагрузок (показана половина пролетного строения), МПа:
 a – в стальных балках; b – в ПМК-плите проезжей части

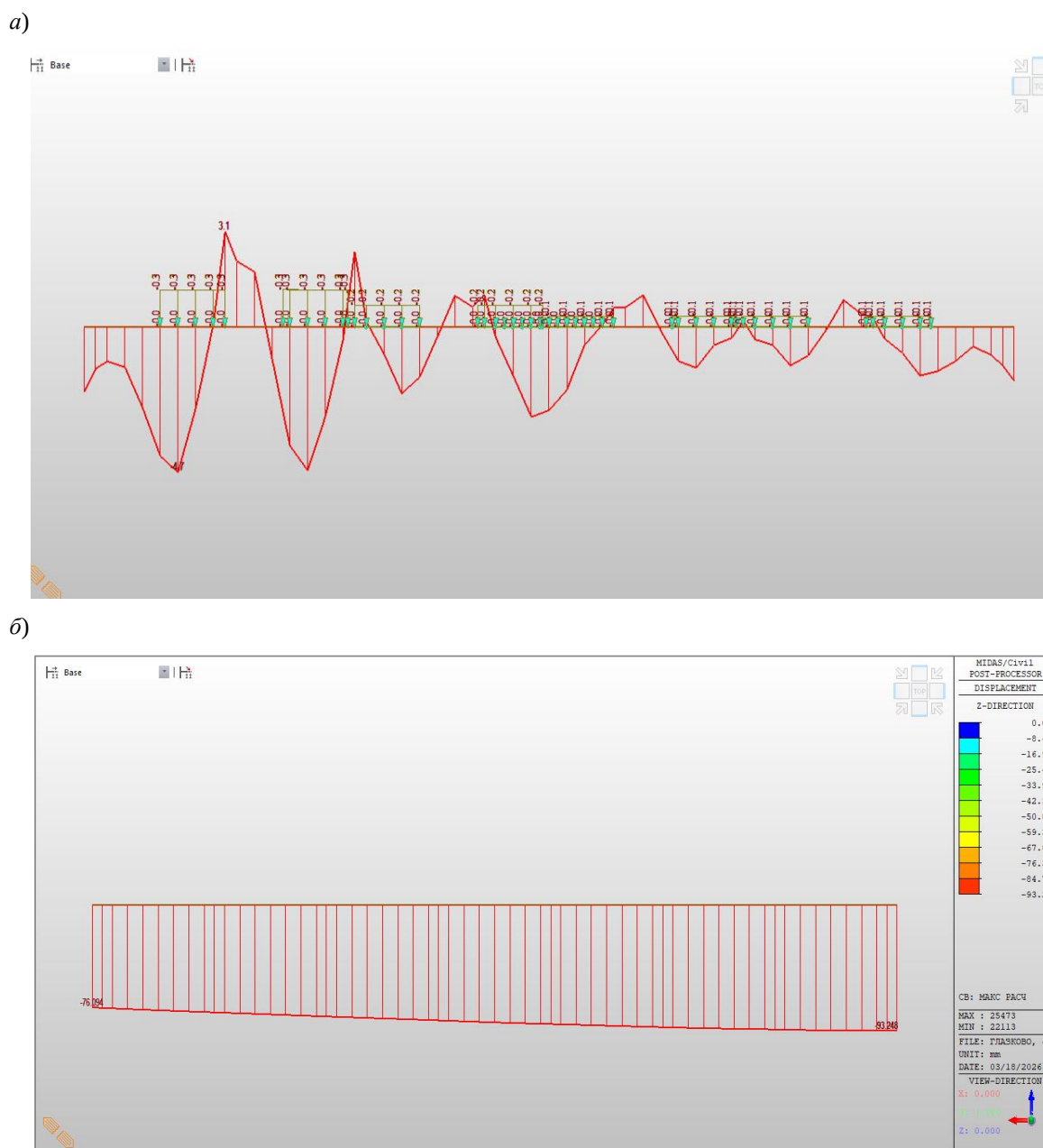


Рис. 14. Работа плиты проезжей части:
 a – эпюры нормальных напряжений поперек оси пролетного строения, МПа; b – деформации плиты между главными балками поперек оси пролетного строения, мм

Для иллюстрации потенциальных экономических преимуществ использования ПКМ целесообразным является сравнение эксплуатационных расходов на содержание гидроизоляции моста из традиционных материалов и конструкции из полимерных композитных материалов.

Эксплуатационные затраты для сталежелезобетонного пролетного строения определены из учета необходимости замены гидроизоляционного слоя каждые 20 лет согласно [4]. В табл. 3 представлены основные статьи расходов на один цикл капитального ремонта гидроизоляции, вычисленные на основе государственных элементно-сметных норм (ГЭСН) и соответствующих им расценок. В табл. 4 приведены расчеты сметы основных работ на устройство плиты проезжей части из ПКМ. Срок окупаемости 1 м² композитной плиты проезжей части стоимостью 25,6 тыс. р. (по данным производителей) составляет примерно 35 лет, что приблизительно в 1,5 раза превышает межремонтный нормативный срок

капитального ремонта гидроизоляции. Это означает, что инвестиции в материал для композитной плиты проезжей части окупятся уже ко второму капитальному ремонту и будет получен экономический эффект в связи с отсутствием необходимости в повторных ремонтах гидроизоляционного слоя.

Выводы

Полимерные композитные материалы обладают значительным потенциалом для применения в несущих конструкциях пролетных строений городских мостов благодаря комплексу преимуществ, однако ключевым ограничением самостоятельного использования ПКМ является их хрупкое разрушение, отсутствие выраженной зоны текучести и низкие прочностные характеристики в поперечном направлении по сравнению с металлами. Наиболее перспективной является интеграция композитных материалов в состав комбинированных конструкций, где они работают совместно с традиционными материалами, в частности со сталью.

Таблица 3

Оценка затрат на капитальный ремонт гидроизоляции моста по [15]

Вид работы	Норма	Стоимость в пересчете на 1 м ² , р.	Стоимость на I квартал 2026 г., р.
Разборка бетонного защитного слоя гидроизоляции и бетонного выравнивающего слоя	ГЭСН 30-08-028-01	8 978,73	13 647,67
Устройство гидроизоляции	ГЭСН 30-08-132-01	4 799,28	7 294,90
Устройство защитного слоя бетона	ГЭСН 30-08-025-09	563,61	856,68
Устройство выравнивающего слоя из асфальтобетона	ГЭСН 30-08-025-06	670,29	1 018,85
Материалы гидроизоляции «Техноэластность»	—	856	856
<i>Итого</i>			23 674,1

Таблица 4

Оценка затрат на устройство поликомпозитной плиты проезжей части по [15]

Вид работы	Норма	Стоимость в пересчете на 1 м ² , р.	Стоимость на I квартал 2026 г., р.
Разборка бетонного защитного слоя гидроизоляции и бетонного выравнивающего слоя	ГЭСН 30-08-028-01	8 978,73	13 647,67
Разборка железобетонной плиты проезжей части	ГЭСН 27-12-010-04	217,24	330,20
Установка плиты проезжей части пролетного строения из ПКМ	ГЭСН 30-02-024-01	102,66	156,04
Устройство основного и рабочего слоя из асфальтобетона	ГЭСН 30-08-025-06	670,29	1 018,85
Плита проезжей части из ПКМ	—	—	25 641,02
<i>Итого</i>			40 793,78

Использование полимерных композитных плит для реконструкции проезжей части мостов, подобных путепроводу со сталежелезобетонными пролетными строениями, представляет собой технически реализуемое и экономически эффективное направление развития мостостроения. Оно напрямую способствует решению задач по повышению транспортной безопасности, долговечности инфраструктуры и оптимизации расходов на ее содержание в долгосрочной перспективе.

Дальнейшие исследования применения композитных материалов при капитальных ремонтах городских и автодорожных мостов могут быть направлены на уточнение расчетных моделей в местах объединения балок с плитой, учет местных временных нагрузок на плиту проезжей части, совершенствование методов расчета сталекомпозитных пролетных строений.

Список источников

1. Применение полимерных композитных материалов в пролетных строениях автодорожных мостов / А. А. Пискунов, С. А. Луканкин, Е. В. Мазур [и др.] // Транспортные сооружения. 2024. Т. 11, № 3. URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS324.pdf> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Bonn M. Span-tastic news as plastic bridge is open in Aberfeldy // Daily Record. URL: <https://www.dailyrecord.co.uk/news/local-news/span-tastic-news-plastic-bridge-13225299> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Sobrino J. A., Dolores M., Pulido G. Towards advanced composite material footbridges // 9th International Conference on Short and Medium Span Bridges. Calgary, Alberta, Canada, July 15–18, 2014. URL: <https://steel-sci.com/assets/minorca-bridge.pdf> (дата обращения: 10.02.2026).
4. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. Москва : ЦНИИС, 2011. 40 с.
5. «АПАТЭК» получил премию JEC Awards за выпуск крупногабаритных конструкций // PLASTINFO : [сайт]. URL: https://plastinfo.ru/information/news/47565_03.06.2021 (дата обращения: 21.02.2026).
6. Sonnenschein R., Gajdosova K., Holly I. FRP Composites and their using in the construction of bridges // World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, WMCAUS 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/309268786_FRP_Composites_and_their_Using_in_the_Construction_of_Bridges (дата обращения: 10.02.2026).
7. Tuakta C. Use of Fiber reinforced polymer composite in bridge structures: thesis (M. Eng.) / C. Tuakta ; Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering. 2005. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/31126> (дата обращения: 10.02.2026).
8. Экспериментально-теоретическое исследование механического поведения 3D-композитов при квазистационарном разрушении / М. В. Цепенников, А. А. Стром, И. А. Повышев, О. Ю. Сметанников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 2. С. 143–158.
9. Васильев В. В. Механика конструкций из композитных материалов. Москва : Машиностроение, 1988. 272 с.
10. Полилов А. Н., Татусь Н. А. Биомеханика прочности волокнистых композитов. Москва : Физматлит, 2018. 328 с.
11. Иванов А. Н., Кожевников В. С. Замена железобетонной плиты на стеклопластиковую в пролетных строениях // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 7. С. 29–32.
12. Бокарев С. А., Неровных А. А., Ефимов С. В. Классификация полимерных композиционных материалов, применяемых для усиления искусственных сооружений // Политранспортные системы : материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия – ЕС «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке», Новосибирск, 20–21 ноября 2014 г. Новосибирск : Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. С. 104–108.
13. Смердов Д. Н., Неровных А. А., Костенко А. Н. Применение полимерных композиционных материалов в мостах // Цементные бетоны : сборник статей 78-й Международной ежегодной научно-методической и научно-исследовательской конференции секции ОНИЛ «Цемент», Москва, 31 января 2020 г. Москва : Техполиграфцентр, 2020. С. 32–37.
14. Анализ устройств и способов объединения в совместную работу полимерно-композитных главных балок пролетного строения и плиты ездового полотна автодорожных мостов / С. В. Рыбаков, А. А. Пискунов, М. Н. Ерофеев [и др.] // Транспортные сооружения. 2024. Т. 11, № 4. URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS424.pdf> (дата обращения: 10.02.2026).
15. ГЭСН 81-02-30–2022. Сборник 30. Мосты и трубы. Москва, 2022. 111 с.

References

1. Piskunov A. A., Lukankin S. A., Mazur E. V. [et al.]. Application of Polymer Composite Materials in Superstructures of Road Bridges. *Transport Facilities*. 2024;11(3). (In Russ.). URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS324.pdf>.
2. Bonn M. Span-tastic news as plastic bridge is open in Aberfeldy. Daily Record. URL: <https://www.dailyrecord.co.uk/news/local-news/span-tastic-news-plastic-bridge-13225299>.
3. Sobrino Juan A., Dolores M., Pulido G. Towards Advanced Composite Material Footbridges. *9th International Conference on Short and Medium Span Bridges*. Calgary, Alberta, Canada, July 15–18, 2014. URL: <https://steel-sci.com/assets/minorca-bridge.pdf>.
4. 'ApATeK' received the JEC Award for the production of large-sized structures. (In Russ.). URL: https://plastinfo.ru/information/news/47565_03.06.2021.
5. SP 35.13330.2011. Bridges and Pipes. Updated Edition of SNiP 2.05.03-84. Moscow: TsNIIS; 2011. 40 p. (In Russ.).
6. Sonnenschein R., Gajdosova K., Holly I. FRP Composites and Their Using in the Construction of Bridges. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, WMCAUS 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/309268786_FRP_Composites_and_their_Using_in_the_Construction_of_Bridges.
7. Tuakta C. Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures: Thesis (M. Eng.). Chakprapan Tuakta, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering, 2005. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/31126>.
8. Tsepennikov M. V., Strom A. A., Povyshev I. A., Smetannikov O. Yu. Theoretical-experimental study of the mechanical behavior of 3D composites under quasi-steady damage. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics*. 2016;(2):143–158. (In Russ.).
9. Vasiliev V. V. Mechanics of structures made of composite materials. Moscow: Mashinostroenie; 1988. 272 p. (In Russ.).
10. Polilov A. N., Tatus N. A. Biomechanics of the strength of fiber composites. Moscow: FIZMATLIT; 2018. 328 p. (In Russ.).
11. Ivanov A. N., Kozhevnikov V. S. Replacing of reinforced concrete slab with a fiberglass slab in superstructures of bridges. *Track and Track Facilities*. 2022;(7):29–32. (In Russ.).
12. Bokarev S. A., Nerovnykh A. A., Efimov S. V. Classification of polymer composite materials used for strengthening artificial structures. *Politransport Systems. Proceedings of the VIII international scientific and technical conference within the framework of the year of science Russia-EU 'Scientific problems of implementing transport projects in Siberia and the Far East', Novosibirsk, November 20–21, 2014*. Novosibirsk: Siberian Transport University; 2015. P. 104–108. (In Russ.).
13. Smerdov D. N., Nerovnykh A. A., Kostenko A. N. Application of polymer composite materials in bridges. *Cement Concretes. Proceedings of the 78th International Annual Scientific-Methodological and Scientific-Research Conference of the ONIL 'CEMENT' Section, Moscow, January 31, 2020*. Moscow: Tekhpolygraftsent; 2020. P. 32–37. (In Russ.).
14. Rybakov S. V., Piskunov A. A., Erofeev M. N. [et al.]. Analysis of structure and methods for integrating polymer-composite main beam of span structures and the deck slab of road bridges. *Transport Facilities*. 2024;11(4). (In Russ.). URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS424.pdf>.
15. GESN 81-02-30-2022. Proceedings 30. Bridges and Pipes. Moscow; 2022. 111 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Т. М. Баранов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» Иркутского государственного университета путей сообщения.

Д. В. Хамидулина – студент факультета «Строительство железных дорог» Иркутского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

T. M. Baranov – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Railway Construction Department, Irkutsk State Transport University.

D. V. Khamidulina – Student of the Railway Construction Faculty, Irkutsk State Transport University.

Статья поступила в редакцию 19.03.2026; одобрена после рецензирования 08.05.2026; принята к публикации 21.05.2026.

The article was submitted 19.03.2026; approved after reviewing 08.05.2026; accepted for publication 21.05.2026.