

Научная статья

DOI 10.15593/24111678/2022.03.07

УДК 624.21

И.Г. Овчинников^{1,2}, И.И. Овчинников^{2,3}, А.К. Аншваев³, И.Р. Гасанов³¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ МОСТОВЫХ ОПОР И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проведен анализ современных тенденций в развитии опор и показано, что они сводятся к большей типизации конструкций опор и их компонентов, особенно для малых и средних мостов, применение высокопрочных бетонов позволяет создавать облегченные конструкции опор не только русловых, но и береговых, а при сооружении высоких железобетонных опор применяется скользящая опалубка, что позволяет повысить автоматизацию работ по их возведению и тем самым ускорить строительство. Наконец, в сейсмических районах начали применяться сталежелезобетонные и трубобетонные опоры, обладающие повышенной живучестью. Отмечено, что прочностной мониторинг опор, как и мониторинг всего мостового сооружения, включает мониторинг на проектом этапе (который сводится к правильному определению зоны размещения мостового сооружения, правильному назначению конструкции сооружения и его элементов, выбору наиболее подходящих к конструкции и условиям работы материалов, правильному анализу напряженно-деформированного состояния сооружения с учетом возможных отклонений и повреждений при его эксплуатации); мониторинг на этапе изготовления, транспортировки и монтажа (включает разработку правильных технологий изготовления, транспортировки и монтажа сооружения из составляющих элементов); мониторинг в процессе эксплуатации (включает своевременную и правильную диагностику и оценку состояния сооружения и его элементов, корректную оценку остаточного ресурса и грузоподъемности при наличии обнаруженных повреждений, а также разработку правильных мероприятий по усилению, ремонту, реконструкции мостового сооружения). Также рассматривается концепция «идеального моста» в двух вариантах. По первому варианту идеальным считается мост, у которого долговечность всех составляющих его конструктивных элементов одинакова, то есть все они имеют практически одинаковую скорость деградации (этот вариант в настоящее время практически нереализуем, так как сейчас практически не проводятся корректные и широкомасштабные экспериментальные и теоретические исследования по определению долговечности конструкций и материалов в реальных условиях эксплуатации). По второму варианту идеальным считается мост, у которого долговечность составляющих конструктивных элементов убывает по мере продвижения от нижерасположенных несущих конструкций к вышерасположенным (то есть долговечность элементов, сооружаемых позже, может и должна быть меньше долговечности ранее сооруженных элементов мостового сооружения). Приводятся примеры соблюдения и нарушения даже второй концепции идеального моста.

Ключевые слова: мостовые опоры, прочностной мониторинг опор, концепция идеального моста, дефекты и повреждения, экологически рациональное проектирование, антикоррозионная защита, деформационные швы

I.G. Ovchinnikov^{1,2}, I.I. Ovchinnikov^{2,3}, A.K. Anshvaev³, I.R. Gasanov³¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation²Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation³Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russian Federation

MONITORING OF DEFORMATIONS OF BRIDGE SUPPORTS AND PROBLEMS OF SUSTAINABLE DESIGN OF BRIDGE STRUCTURES

The article analyzes current trends in the development of supports and shows that they come down to a greater typification of the structures of supports and their components, especially for small and medium-sized bridges, the use of high-strength concrete allows creating lightweight structures of supports not only in the channel, but also on the coast, and in the construction of high reinforced concrete supports, sliding formwork is used, which makes it possible to increase the automation of work on their construction and thereby speed up the construction; finally, steel-reinforced concrete and pipe-concrete supports with increased survivability began to be used in seismic areas. It is noted that the strength monitoring of supports, as well as monitoring of the entire bridge structure, includes monitoring at the design stage (which boils down to the correct de-

termination of the location zone of the bridge structure, the correct designation of the structure and its elements, the choice of materials most suitable for the structure and operating conditions, the correct analysis of stress-strain state of the structure, taking into account possible deviations and damage during its operation); monitoring at the stage of manufacture, transportation and assembling (includes the development of the correct technologies for the manufacture, transportation and assembling of the structure from its constituent elements); monitoring during operation (includes timely and correct diagnostics and assessment of the condition of the structure and its elements, correct assessment of the residual life and carrying capacity in the presence of detected damage, as well as the development of correct measures to strengthen, repair and reconstruct the bridge structure). The article also considers the concept of an "ideal bridge" in two versions. According to the first option, a bridge is considered ideal if the durability of all its constituent structural elements is the same, that is, they all have almost the same degradation rate (this option is currently unrealizable, since correct and large-scale experimental and theoretical studies to determine durability of structures and materials in real operating conditions are practically not carried out now). According to the second option, a bridge is considered ideal if the durability of the constituent structural elements decreases as one moves from the lower supporting structures to the higher ones (that is, the durability of elements built later can and should be less than the durability of previously constructed elements of the bridge structure). Examples of compliance with and violation of even the second concept of an ideal bridge are given.

Keywords: bridge supports, strength monitoring of supports, ideal bridge concept, defects and damages, sustainable design, anti-corrosion protection, movement joints.

Введение

Мостовые опоры – это элементы мостового сооружения, предназначенные для передачи нагрузки от пролетных строений на грунт. Следовательно, мостовые опоры воспринимают вертикальные и горизонтальные (от торможения) нагрузки от пролетных строений и от движущегося транспорта, а также горизонтальные нагрузки от ветра, льда, распора арочных ферм и т.п. [1]. Береговые опоры мостов – устои – воспринимают нагрузку от пролетного строения, а также воспринимают горизонтальное сдвигающее воздействие, оказываемое весом грунта подходной насыпи.

Опоры бывают массивными, стоечными, рамными, пустотелыми, свайными, комбинированными. Массивные опоры обычно выполняются из камня (ранее) и бетона и железобетона (в последнее время) для мостовых сооружений, возводимых в сложных (горных) условиях, а также при интенсивном ледоходе. Стоечные опоры состоят из стоек, опирающихся на фундамент, а поверху объединенных насадкой с подферменниками. Их обычно применяют в криволинейных мостовых эстакадах. В рамных опорах несущим элементом являются плоские или пространственные рамы, эти опоры применимы в случае грунтов, не допускающих забивку свай. Свайные опоры, включающие несколько рядов свай, обычно являются и телом опоры, и ее фундаментом и широко применяются в малом мостостроении при грунтах, допускающих погружение свай тем или иным способом.

Современные тенденции в развитии опор сводятся к следующему:

- довольно большая типизация конструкций опор и их компонентов, особенно для малых и средних мостов, что позволяет использовать типовые проекты, привязывая их к местным условиям; то есть в большинстве случаев опоры мостов строятся по типовым проектам. В случае опор для больших мостов типизация применяется для их элементов;
- в связи с появлением высокопрочных бетонов современные опоры обычно имеют облегченные конструкции – стоечные, рамные, а также пустотелые. Интересно, что даже для устоев начали применяться облегченные, а не массивные конструкции;
- из-за увеличения высоты опор при пересечении естественных и искусственных препятствий при изготовлении железобетонных опор широко применяется скользящая опалубка, что позволяет повысить автоматизацию работ по их возведению и тем самым ускорить строительство;
- в сейсмических районах начали применяться сталежелезобетонные и трубобетонные опоры, обладающие повышенной живучестью.

В последнее время в мировом мостостроении начал широко применяться подход, который можно назвать «экологически рациональным проектированием мостовых сооружений» [2].

Экологически рациональное проектирование стремится снизить стоимость мостовых проектов и уменьшить их отрицательное воздействие на внешнюю среду и общество, потреб-

ляющее мостовые проекты. Поэтому представляет интерес анализ современного состояния проблемы экологически рационального проектирования мостовых сооружений. Отдельные аспекты этой проблемы рассматриваются в публикациях [3–7].

Анализ состояния проблемы

Заметим, что опоры мостовых сооружений обычно являются самыми долговечными конструкциями в мостовых сооружениях.

В работе [2] в рамках «экологически рационального подхода к проектированию мостовых сооружений» предложена концепция «идеального моста» в двух вариантах.

Согласно **первому варианту** идеальным считается мост, у которого долговечность всех составляющих его конструктивных элементов одинакова, то есть все они имеют практически одинаковую скорость деградации. К сожалению, этот вариант в настоящее время практически нереализуем, так как мы не проводим корректных и широкомасштабных экспериментальных и теоретических исследований по определению долговечности конструкций в реальных условиях эксплуатации и не осуществляем исследования по определению долговечности даже материалов при различных режимах нагружения и различных условиях воздействия внешней эксплуатационной среды.

Согласно **второму варианту** идеальным считается мост, у которого долговечность составляющих конструктивных элементов убывает по мере продвижения от нижерасположенных несущих конструкций к вышераположенным. Или, иначе, долговечность элементов, сооружаемых позже, может и должна быть меньше долговечности ранее сооруженных элементов мостового сооружения.

К сожалению, даже этот второй вариант концепции «идеального моста» обычно нарушается. Например, долговечность опорных частей, располагаемых под пролетными строениями, обычно меньше долговечности пролетных строений мостовых сооружений. К чему это приводит? При выработке ресурса долговечности опорных частей необходима их замена, но они располагаются под более долговечными пролетными строениями. И потому возникает весьма непростая задача поддомкрачивания пролетных строений для замены опорных частей. А значит еще при проектировании опор надо предусматривать на них площадки под размещение домкратов. А кроме того, пролётное строение состоит из конструктивных элементов, объединенных в одно целое, и вес его значительный, и потому возникает задача его подъема и опускания после замены опорных частей без нарушения целостности и пролетного строения, и деформационных швов, и дорожной одежды, и других элементов мостового полотна.

Недавно в фирме «Маурер» (Германия) был изобретен более прочный и, главное, долговечный (50 лет) материал для опорных частей, который позволяет изготавливать опорные части, долговечность которых соизмерима с долговечностью пролетных строений. То есть в этом случае реализуется концепция «идеального моста» для пары пролетное строение – опорная часть. Но возникает другая проблема – из-за повышения прочности материала размеры (диаметр) опорной части уменьшились, а значит, увеличилось удельное давление, передаваемое от опорной части на тело опоры, и необходимо усиливать или разрабатывать новое инженерное решение для подферменников, чтобы они смогли воспринимать повышенное давление и передавать его на опору, распределяя по большей площади оголовка опоры.

То есть, как видим, реализация концепции «идеального моста» влечет за собой целую цепочку проблем, которые придется решать.

Рассмотрим еще ряд примеров, когда использование концепции идеального моста становится эффективным.

Например, при устройстве дорожных одежд и деформационных швов, особенно на длинных мостовых пролетах, сначала свариваются деформационные швы между концами пролетных строений, а затем уже устраивается дорожная одежда. В результате под весом дорожной одежды (надо сказать довольно большим и соизмеримым по весу с временной нагрузкой) про-

летное строение прогибается, там самым загружая и крепления деформационных швов, которые начинают работать под нагрузкой еще до начала эксплуатации моста. Более рациональным решением будет предварительная укладка слоев дорожной одежды почти на всей длине пролетных строений, за исключением небольших зон длиной порядка 3 м около деформационных швов, с последующей установкой деформационных швов между уже загруженными весом дорожной одежды пролетными строениями. После этого устраивается дорожная одежда в зонах вблизи деформационных швов. При такой последовательности работ деформационные швы останутся практически ненагруженными до приложения временной нагрузки, что значительно повысит их долговечность.

Рассмотрим также вопрос антикоррозионной защиты мостовых сооружений. В ряде наших публикаций [8–10] обращалось внимание на необходимость применения лакокрасочных материалов для антикоррозионной защиты не только металлических, но и железобетонных мостовых конструкций, включая не только пролетные строения, но и опоры. Но здесь возникает весьма важный с экономической точки зрения вопрос: а какие краски и системы антикоррозионной защиты мостовых сооружений применять? Дорогие или дешевые? На первый взгляд, достаточно выгодно применить дешевые системы антикоррозионной защиты (понятно, что со сроком службы не менее гарантийного срока в 5 лет). Но при этом следует не забывать, что срок службы мостового сооружения и его элементов довольно значительный (от 50 до 100 лет), а значит, дешевые системы антикоррозионной защиты со сроком службы в 5 лет придется менять через каждые 5 лет.

При этом следует иметь в виду, что процедура повторной антикоррозионной защиты включает в себя и устройство специальных систем доступа к элементам мостового сооружения – лесов, подмостей, настилов, чехлов для обеспечения экологической безопасности, и выполнение работ по абразивоструйной очистке элементов мостового сооружения от старой, отслужившей свой срок системы антикоррозионной защиты, нанесение повторной антикоррозионной защиты с последующей разборкой систем доступа к элементам мостового сооружения. И такую процедуру придется повторять каждые 5 лет. В результате в данном случае срабатывает известный принцип Парето (или принцип 20/80 %), согласно которому стоимость материала для антикоррозионной защиты составляет 20 %, а стоимость работ по обеспечению устройства этой системы защиты на мостовом сооружении – 80 %. Поэтому более рационально для антикоррозионной защиты мостового сооружения использовать пусть и более дорогую, но зато более долговечную систему антикоррозионной защиты (со сроком службы 28–34 года), так как ее применение позволит резко сократить расходы на обеспечение доступа к мостовому сооружению для абразивоструйной очистки элементов моста и нанесения этой антикоррозионной защиты и, в конечном счете, значительно снизить расходы на антикоррозионную защиту.

Но обратимся к проблеме деформаций и повреждений опор мостовых сооружений. Обычно мостовики любят оперировать термином «дефект» при обследовании и оценке состояния мостовых сооружений и его элементов. Мы считаем, что это не совсем правильно, и предлагаем такое четкое разделение.

Дефект – это отклонение от проекта в процессе изготовления, транспортировки, монтажа элемента или конструкции сооружения. А вот **повреждение** – это отклонение, полученное сооружением в процессе его эксплуатации.

То есть на дефекты действует гарантийный срок, а вот повреждения мостового сооружения – это либо вина природы, приводящей к деградации материалов и элементов из них, либо вина эксплуатирующих организаций, не уделяющих внимания содержанию и при необходимости ремонту мостовых сооружений. Кстати, заметим, что нередко возникают конфликты между эксплуатационниками и строителями мостовых объектов, в которых эксплуатационники обвиняют строителей в появлении не дефектов, а повреждений, хотя в этом вина только их, а не строителей, поскольку повреждения могут появиться и в пределах гарантийного срока, но строители за них не должны нести ответственности.

Проблеме исследования, анализа дефектов и повреждений опор мостовых сооружений посвящено не так уж много качественных публикаций. Отметим работы [11–24]. Особое внимание обратим на публикации [17; 18; 21], в которых рассматривается проблема обследования подводных частей транспортных сооружений, а мостовые опоры как в реках, так и в проливах находятся под воздействием воды, и их подводные части труднодостижимы для обследования. Причем особое внимание следует уделять зоне переменного уровня воды, ибо там чаще всего и наблюдаются наиболее интенсивные повреждения.

Дефекты, повреждения и мониторинг опор мостовых сооружений

Весьма опасными для опор мостовых сооружений являются их крены и значительные неравномерные осадки. В результате появления таких деформаций опор могут появиться расстройки деформационных швов, нарушения профиля проезда транспортных средств, повреждения и даже вывалы опорных частей, могущие привести к угрозе обрушения пролетных строений, и крены опор мостовых сооружений. Борьбa с такими явлениями достаточно сложно, а последствия их весьма серьезны: от расстройств в деформационных швах и нарушения профиля проезда до вывала опорных частей и реальной угрозы обрушения пролётных строений [15; 21; 22].

Повреждения опор в виде кренов и осадок обычно протекают довольно долго, в течение нескольких лет, они часто неравномерны и могут приводить к значительным взаимным смещениям элементов мостовых сооружений.

Поэтому весьма важно организовывать наблюдения за мостами, опоры которых испытывают неравномерные осадки и крены, и вообще желательно не применять фундаменты мелкого заложения на просадочных грунтах. Кроме того, при проектировании фундаментов опор мостовых сооружений следует подбирать их форму и размеры так, чтобы была обеспечена равномерность осадок по всей площади подошвы фундамента.

Так как и русловые и береговые опоры имеют большие размеры и, соответственно, большую массу, а также воспринимают большие нагрузки от пролетных строений, то при появлении их пространственных деформаций (кренов, неравномерных осадок) технология устранения этих отклонений от проектного положения является весьма сложной работой. К тому же нельзя не бороться с наличием таких деформаций, поскольку они могут привести к повреждению, а иногда и к разрушению всего мостового сооружения.

При проведении обследований с целью выявления деформаций мостовых опор нужно не только зафиксировать непроектное положение, но и установить причины их появления для каждого конкретного случая с тем, чтобы при разработке мероприятий по устранению имеющихся деформаций устранить не только последствия, но и причины их появления.

В связи со сказанным еще при проектировании и возведении мостовых сооружений, у которых вероятен значительный риск появления и развития кренов и неравномерных деформаций опор, необходимо разработать и применять систему прочностного мониторинга мостового сооружения с концентрацией внимания именно на опорах.

Согласно исследованию [25], мониторинг мостового сооружения включает контроль и управление эксплуатационным состоянием сооружения для надежной его эксплуатации в течение срока службы при действующих нагрузках и других внешних воздействиях:

- мониторинг на начальном, проектном этапе сводится к правильному определению зоны размещения мостового сооружения, правильному назначению конструкции сооружения и его элементов, выбору наиболее подходящих к конструкции и условиям работы материалов, правильному анализу напряженно-деформированного состояния сооружения с учетом возможных отклонений и повреждений при его эксплуатации;

- мониторинг на этапе изготовления, транспортировки и монтажа включает разработку правильных технологий изготовления, транспортировки и монтажа сооружения из составляющих элементов;

– мониторинг в процессе эксплуатации включает своевременную и правильную диагностику и оценку состояния сооружения и его элементов, корректную оценку остаточного ресурса и грузоподъемности при наличии обнаруженных повреждений, а также разработку правильных мероприятий по усилению, ремонту, а при необходимости – проведения реконструкции или даже замены отдельных элементов или всего сооружения.

Решение большинства вышеуказанных задач возможно только при наличии расчетных моделей мостового сооружения, корректно описывающих его поведение с учетом влияния обнаруженных в процессе диагностики дефектов и повреждений, а также при наличии соответствующих экспериментальных данных для идентификации и верификации этих моделей.

Поэтому для исследователей видится большая и сложная задача по созданию банков данных моделей деформирования и разрушения мостовых сооружений и их элементов с учетом свойств материалов, возможных дефектов и повреждений, а также с указанием корректных областей их применения. Нужны банки данных с моделями внешних силовых, температурных и других внешних воздействий, банки данных типовых проектов, использованных при проектировании мостовых сооружений, а также банки данных о дефектах и повреждениях различного вида и способах их учета при построении расчетных моделей мостовых сооружений.

Решение этих задач в последнее время значительно усложняется в связи с необходимостью импортозамещения ряда важных компонентов, а также в связи с необходимостью разработки отечественных программных продуктов.

Применительно к опорам мостовых сооружений мониторинг должен включать:

- закладку специальных марок в теле опор и проведение нивелирования; причем марки нужно располагать так, чтобы при их нивелировке получить достаточно развернутую картину деформаций (осадок и кренов) мостовых опор в предполагаемых направлениях;
- измерение наклонов опор по высоте с применением специальных отвесов;
- измерение зазора между смежными пролетными строениями и между пролетными строениями и шкафными стенками.

Наличие такой информации позволит своевременно разработать рекомендации по восстановлению проектного состояния мостового сооружения и его элементов.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что современные тенденции в развитии опор сводятся к большой типизации конструкций опор и их компонентов, особенно для малых и средних мостов, а применение высокопрочных бетонов позволяет создавать облегченные конструкции опор не только русловых, но и береговых, при сооружении высоких железобетонных опор применяется скользящая опалубка, что позволяет повысить автоматизацию работ по их возведению и тем самым ускорить строительство, наконец, в сейсмических районах начали применяться сталежелезобетонные и трубобетонные опоры, обладающие повышенной живучестью.

Отмечено, что прочностной мониторинг опор, как и мониторинг всего мостового сооружения, включает мониторинг на проектном этапе (который сводится к правильному определению зоны размещения мостового сооружения, правильному назначению конструкции сооружения и его элементов, выбору наиболее подходящих к конструкции и условиям работы материалов, правильному анализу напряженно-деформированного состояния сооружения с учетом возможных отклонений и повреждений при его эксплуатации); мониторинг на этапе изготовления, транспортировки и монтажа (включает разработку правильных технологий изготовления, транспортировки и монтажа сооружения из составляющих элементов); мониторинг в процессе эксплуатации (включает своевременную и правильную диагностику и оценку состояния сооружения и его элементов, корректную оценку остаточного ресурса и грузоподъемности при наличии обнаруженных повреждений, а также разработку правильных мероприятий по усилению, ремонту, реконструкции сооружения).

Рассмотрена концепция «идеального моста» в двух вариантах. По первому варианту идеальным считается мост, у которого долговечность всех составляющих его конструктивных элементов одинакова, то есть все они имеют практически одинаковую скорость деградации (к сожалению, этот вариант в настоящее время практически нереализуем, так как сейчас практически не проводятся корректные и широкомасштабные экспериментальные и теоретические исследования по определению долговечности конструкций и материалов в реальных условиях эксплуатации). По второму варианту идеальным считается мост, у которого долговечность составляющих конструктивных элементов убывает по мере продвижения от нижерасположенных несущих конструкций к вышерасположенным (то есть долговечность элементов, сооружаемых позже, может и должна быть меньше долговечности ранее сооруженных элементов мостового сооружения).

Приводятся примеры соблюдения и нарушения даже второй концепции идеального моста.

Список литературы

1. Преснов О.М., Кузнецов М.И. Мостовые опоры. Проблемы устойчивости // Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2021. – С. 191–196.
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений как один из факторов устойчивого развития региона // Каспий в цифровую эпоху: сборник материалов национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках международного научного форума «Каспий 2021: пути устойчивого развития» 27 мая 2021 года. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. – С. 587–592.
3. Современные пешеходные и велосипедные мосты (основные концепции проектирования и примеры): моногр. / И.И. Овчинников, А.Б. Караханян, И.Г. Овчинников, Ю.П. Скачков. – Пенза: ПГУАС, 2018. – 140 с.
4. Kaewunruen S., Sresakoolchai J., Zhou Z. Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (6). – P. 2436.
5. Venkateswaran C. Sustainable Practices in Bridge Construction // Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. – 2021. – Vol. 6 (1). – P. 24–28. DOI: 10.29187/jscmt.2021.56
6. Коротков М.А., Овчинников И.Г. Применение экологически рационального подхода в проектировании мостовых сооружений // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. науч. тр. по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ю.Г. Иващенко. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 291–297.
7. Коротков М.А., Овчинников И.Г. Воздействие экологически-рационального проектирования на отрасль транспортного строительства // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 2. – С. 64–71. DOI: 10.15593/24111678/2022.02.08
8. Красить ли железобетонные мосты? / И.Г. Овчинников, О.Н. Распоров, И.И. Овчинников, К.О. Распоров, С.Н. Кузнецов // Транспортное строительство. – 2012. – № 10. – С. 12–14.
9. Овчинников И.И., Кузнецов С.Н., Овчинников И.Г. Антикоррозионная защита металлических и железобетонных мостовых конструкций: проблемы и возможные решения // Промышленные покрытия. – 2020. – № 5–6. – С. 44–49.
10. Овчинников И.И., Кузнецов С.Н., Овчинников И.Г. В пользу долговечности. Особенности выполнения работ по антикоррозионной защите железобетонных конструкций мостовых сооружений // Дорожная держава. – 2020. – № 96. – С. 14–17.
11. Геодезические методы измерения вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов [Текст] / В.Н. Ганышин, А.Ф. Стороженко, Н.А. Буденков [и др.]. – М.: Недра, 1991. – 190 с.
12. Assali F. Thermal analysis and bearing capacity of piles embedded in frozen uniform soils. – University of Windsor, 1996. – 135 p.
13. Обеспечение эксплуатационной надежности путепровода, построенного на просадочных грунтах / В.И. Борщов, В.Т. Гузченко, В.В. Заславский [и др.] // Будівництво: 36. наук. пр. ДПТУ. – Д., 2001. – Вип. 9. – С. 99–103.

14. Диагностика мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, В.И. Кононович, О.Н. Распоров, И.И. Овчинников. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2003. – 181 с.
15. Овчинников И.Г., Искендеров С.Э. Причины появления и развития дефектов и повреждений в опорных частях мостовых сооружений // Новые идеи нового века – 2011: материалы 11-й Международной научной конференции ИАС ТОГУ = The new Ideas of New Century 2011: The Eleven International Scientific Conference Proceedings of IACE PNU: в 2 т. / Тихоокеанский государственный университет. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. – Т. 2. – С 52–55.
16. Прокопов А.Ю., Яцык А.Л. Анализ современных исследований в области защиты мостовых опор от образования температурных трещин // Научное обозрение. – 2014. – № 12, Ч. 2. – С. 482–485.
17. Кокодеев А.В., Овчинников И.Г. Подводное обследование мостов // Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы II Международной научно-практической конференции. – Курган, 2014. – С. 133–141.
18. Кокодеев А.В., Овчинников И.Г. Обследование, мониторинг, выполнение ремонтных и восстановительных работ на подводных частях транспортных сооружений // Науковедение. – 2014. – № 5 (24). – С. 1–36.
19. Прокопов А.Ю., Яцык А.Л. О результатах натурных исследований состояния мостовых опор в руслах малых рек на границе «вода – воздух» // Перспективи розвитку будівельних технологій: м-лы 9-й Міжнародн. науково практичн. конференції молодих учених, аспірантів та студентів. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – С. 168–171.
20. Грацинский В.Г., Кокодеев А.В., Овчинников И.Г. Результаты проведения подводного обследования автодорожного моста «Саратов – Энгельс» // Дороги и мосты. РосдорНИИ. – 2015. – Вып. 33. – С. 248–262.
21. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Часть 1 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, А.В. Кокодеев // Транспортные сооружения. – 2017. – Т. 4, № 4. DOI: 10.15862/13TS417
22. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Часть 2 / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко, А.В. Кокодеев // Транспортные сооружения. – 2017. – Т. 4, № 4. DOI: 10.15862/14TS417
23. Моделирование работы свай при реализации просадки грунта / А.Ф. Акопян, В.Ф. Акопян, К.Ю. Подолько, М.С. Тимошенко, С.А. Боярских, Т.А. Литовченко // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3.
24. Томилов С.Н., Сим А.Д., Гринёв П.Е. Проблема просадок мостовых опор в условиях деградации многолетнемерзлого основания и возможность ее решения // Транспортные сооружения - Russian Journal of Transport Engineering. – 2020. – Т. 7, № 3. – С. 19.
25. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 1. Международный и отечественный опыт применения мониторинга / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, О.И. Нигаматова, Е.С. Михалдыкин // Транспортные сооружения. – 2014. – Т. 1, № 1. DOI: 10.15862/01TS114

References

1. Presnov O.M., Kuznecov M.I. Mostovye opory. Problemy ustojchivosti [Problems of sustainability]. Sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Petrozavodsk, 2021, pp. 191–196.
2. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Ekologicheski ratsional'noe proektirovanie mostovykh sooruzhenii kak odin iz faktorov ustoichivogo razvitiia regiona [Environmentally sound design of bridge structures as one of the factors of sustainable development of the region]. Kasp'ii v tsifrovuiu epokhu. Sbornik materialov Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkakh Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma «Kasp'ii 2021: puti ustoichivogo razvitiia», 2021, pp. 587–592.
3. Ovchinnikov I.I., Karakhanian A.B., Ovchinnikov I.G., Skachkov Iu.P. Sovremennye peshekhodnye i velosipednye mosty (osnovnye kontseptsii proektirovaniia i primery) [Modern pedestrian and bicycle bridges (basic design concepts and examples)], Penza, 2018, 140 p.

4. Kaewunruen S., Sresakoolchai J., Zhou Z. Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (6). – P. 2436.
5. Venkateswaran C. Sustainable Practices in Bridge Construction // Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. – 2021. – Vol. 6 (1). – P. 24–28. DOI: 10.29187/jscmt.2021.56
6. Korotkov M.A., Ovchinnikov I.G. Primenenie ekologicheskoi racionalnogo podkhoda v proektirovanii mostovykh sooruzhenij [Application of a sustainable approach in the design of bridge structures], Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse: sbornik nauchnykh trudov po materialam IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 2021, pp. 291–297.
7. Korotkov, M.A., Ovchinnikov I.G. Vozdejstvie ekologicheskoi-racionalnogo proektirovaniya na otrasl transportnogo stroitel'stva [Impact of sustainable design on the transportation industry], Transport. Transportny'e sooruzheniya. E'kologiya, 2022, no. 2, pp. 64–71.
8. Ovchinnikov I.G., Rasporov O.N., Ovchinnikov I.I., Rasporov K.O., Kuznecov S.N. Krasit li zhelezobetonnye mosty? [Should concrete bridges be painted?], Transportnoe stroitel'stvo, 2012, no. 10. pp. 12–14.
9. Ovchinnikov I.I., Kuznecov S.N., Ovchinnikov I.G. Antikorroziionnaya zashhita metallicheskih i zhelezobetonnykh mostovykh konstrukcij: problemy i vozmozhnye resheniya [Anticorrosive protection of metal and reinforced concrete bridge structures: problems and possible solutions], Promy'shlennye pokry'tiya, 2020, no. 5–6, pp. 44–49.
10. Ovchinnikov I.I., Kuznecov S.N., Ovchinnikov I.G. V polzu dolgovechnosti. Osobennosti vypolneniya rabot po antikorrozionnoj zashhite zhelezobetonnykh konstrukcij mostovykh sooruzhenij [In favor of durability. Features of performance of works on anticorrosion protection of reinforced concrete structures of bridges], Dorozhnaya Derzhava, 2020, no. 96, pp. 14–17.
11. Ganshin V.N., Storozhenko A.F., Budenkov N.A. [et al.]. Geodezicheskie metody izmereniya vertikalnykh smeshhenij sooruzhenij i analiz ustojchivosti reperov [Geodetic methods for measuring vertical displacements of structures and analysis of the stability of benchmarks], Moskva, Nedra, 1991, 190 p.
12. Assali F. Thermal analysis and bearing capacity of piles embedded in frozen uniform soils. University of Windsor. 1996. 135 p.
13. Borshhov V.I., Guzchenko V.T., Zaslavskij V.V. [et al.]. Obespechenie ekspluatatsionnoj nadezhnosti puteprovoda, postroennogo na prosadochnykh gruntakh [Ensuring the operational reliability of an overpass built on subsiding soils], Budivnicztvo: 3b. nauk. pr. DITu., 2001, no. 9, pp. 99–103.
14. Ovchinnikov I.G., Kononovich V.I., Rasporov O.N., Ovchinnikov I.I. Diagnostika mostovykh sooruzhenij [Diagnostics of bridge structures], Saratov, 2003, 181 p.
15. Ovchinnikov I.G., Iskenderov S.E'. Prichiny poyavleniya i razvitiya defektov i povrezhdenij v opornykh chastyakh mostovykh sooruzhenij [Reasons for the appearance and development of defects and damage in the bearing parts of bridge structures], Novy'e idei novogo veka – 2011: materialy' Odinnadczatoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii IAS TOGU = The new Ideas of New Century 2011: The Eleven International Scientific Conference Proceedings of IACE PNU. Tixookeanskij gosudarstvenny'j universitet. Xabarovsk, 2011, vol. 2, pp. 52–55.
16. Prokopov A.Yu., Yacyk A.L. Analiz sovremennykh issledovanij v oblasti zashhity mostovykh opor ot obrazovaniya temperaturnykh treshhin [Analysis of modern research in the field of protection of bridge supports from the formation of thermal cracks], Nauchnoe obozrenie, 2014, no. 12, part 2, pp. 482–485.
17. Kokodeev A.V., Ovchinnikov I.G. Podvodnoe obsledovanie mostov [Underwater inspection of bridges], Innovacii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy' II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Kurgan, 2014, pp. 133–141.
18. Kokodeev A.V., Ovchinnikov I.G. Obsledovanie, monitoring, vypolnenie remontnykh i vosstanovitelnykh rabot na podvodnykh chastyakh transportnykh sooruzhenij [Inspection, monitoring, repair and restoration work on the underwater parts of transport constructions], Internet-zhurnal "Naukovedenie", 2014, no. 5 (24), pp. 1–36.
19. Prokopov A.Yu., Yacyk A.L. O rezultatah naturnykh issledovanij sostoyaniya mostovykh opor v ruslah mal'nykh rek na granice «voda – vozduh» [On the results of field studies of the state of bridge supports in the channels of small rivers at the "water – air" boundary], Perspektivi razvitiya budiveln'nykh tekhnologij: Materialy' 9-i Mezhdunarodnoj Nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 168–171.
20. Gracinskij V.G., Kokodeev A.V., Ovchinnikov I.G. Rezultaty provedeniya podvodnogo obsledovaniya avtodorozhnogo mosta «Saratov-Engel's» [The results of the underwater survey of the road bridge "Saratov-Engels"], Dorogi i mosty', 2015, no. 33, pp. 248–262.
21. Majstrenko I.Yu., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Kokodeev A.V. Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 1 [Accidents and destruction of bridge structures, analysis of the causes. Part 1], Internet-zhurnal «Transportny'e sooruzheniya», 2017, vol. 4, no. 4. DOI: 10.15862/13TS417
22. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Majstrenko I.Yu., Kokodeev A.V. Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 2 [Accidents and destruction of bridge structures, analysis of the causes. Part 2], Internet-zhurnal «Transportny'e sooruzheniya», 2017, vol. 4, no. 4. DOI: 10.15862/14TS417
23. Akopyan A.F., Akopyan V.F., Podol'ko K.Yu., Timoshenko M.S., Boyarskix S.A., Litovchenko T.A. Modelirovanie raboty svaj pri realizacii prosadki grunta [Simulation of pile operation in the implementation of soil subsidence], Inzhenerny'j vestnik Dona, 2017, no. 3, 6 p.
24. Tomilov S.N., Sim A.D., Grinyov P.E. Problema prosadok mostovykh opor v usloviyakh degradacii mnogoletnemerzlogo osnovaniya i vozmozhnost ee resheniya [The problem of subsidence of bridge supports in the conditions of

degradation of permafrost and the possibility of its solution], Internet-zhurnal «Transportny'e sooruzheniya», 2020, vol. 7, no. 3, 19 p.

25. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Nigmatova O.I., Mixal'dykin E.S. Prochnostnoj monitoring mostovykh sooruzhenij i osobennosti ego primeneniya. Chast 1. Mezhdunarodny' i otechestvennyj opyt primeneniya monitoringa [Strength monitoring of bridge structures and features of its application. Part 1. International and domestic experience in the application of monitoring], Internet-zhurnal «Transportny'e sooruzheniya», 2014, vol. 1, no. 1. DOI: 10.15862/01TS114

Об авторах

Овчинников Игорь Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29), профессор базовой кафедры «АО Мостострой-11» Тюменского индустриального университета (Россия, 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 4, e-mail: bridgesar@mail.ru).

Овчинников Илья Игоревич (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры «АО Мостострой-11» Тюменского индустриального университета (Россия, 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 4), профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина (Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: bridgeart@mail.ru).

Аншваев Адиль Кайрулович (Саратов, Россия) – аспирант кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: anshvaevadil@inbox.ru).

Гасанов Исмаил Рустамович (Саратов, Россия) – аспирант кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: bridge899@mail.ru).

About the authors

Igor G. Ovchinnikov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation), Professor Tyumen Industrial University (4, Lunacharskogo str., Tyumen, 625001, Russian Federation, e-mail: bridgesar@mail.ru).

Ilya I. Ovchinnikov (Saratov, Russian Federation) – Associate Professor of the Department of Transport Construction Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russian Federation). Associate Professor Tyumen Industrial University (4, Lunacharskogo str., Tyumen, 625001, Russian Federation, e-mail: bridgeart@mail.ru).

Adil K. Anshvaev (Saratov, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Transport Construction Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: anshvaevadil@inbox.ru).

Ismail R. Gasanov (Saratov, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Transport Construction Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin (77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: bridge899@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 01.08.2022

Одобрена: 18.08.2022

Принята к публикации: 01.09.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Мониторинг деформаций мостовых опор и проблемы экологически рационального проектирования мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, А.К. Аншваев, И.Р. Гасанов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 3. – С. 60–69. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.07

Please cite this article in English as: Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Anshvaev A.K., Gasanov I.R. Monitoring of deformations of bridge supports and problems of sustainable design of bridge structures. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 3, pp. 60-69. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.07