

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

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/16SATS423.pdf>

DOI: 10.15862/16SATS423 (<https://doi.org/10.15862/16SATS423>)

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

Аварии мостовых сооружений из-за повреждения или разрушения опор

¹Салимов А.М., ²Гульятеев Р.С., ^{1, 2}Овчинников И.Г.

¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

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

Автор, ответственный за переписку: Салимов Артем Маратович, e-mail: salimov.ar@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена авариям на мостовых сооружениях из-за повреждения или разрушения опор. Рассмотрены случаи чрезвычайных ситуаций на транспортных сооружениях из-за ошибок при проектировании опоры на вечномёрзлом грунте, некачественного содержания железобетонного перехода через железную дорогу на станции Пушкино, акта террористического вмешательства на мосту в г. Мелитополь, подмыва опор во время паводка и навала судна на опору в Оклахоме. Приводятся обзор ряда публикаций как зарубежных, так и отечественных на тему аварий мостовых сооружений. Основное внимание в работе авторами уделяется анализу причин происшествий на автодорожных мостах и предлагаются меры для их

предотвращения и минимизации рисков. Оценены основные причины таких происшествий, рассмотрены методы предотвращения и регулярного обслуживания опор, а также проанализированы последствия, как с точки зрения безопасности, так и в экономическом контексте. В заключении статьи авторы предлагают мероприятия, которые необходимо выполнять для предотвращения аварий на транспортных сооружениях из-за повреждения или разрушения мостовых опор и сообщают о последствиях, которые могут произойти при происшествиях на искусственном сооружении.

Ключевые слова: мост; опора; авария; подмыв; эксплуатация; навал судов; разрушение

Accidents on bridge structures due to piers damaged or failing

¹Artem M. Salimov, ²Roman S. Gulyaev, ^{1, 2}Igor G. Ovchinnikov

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Corresponding author: Artem M. Salimov, e-mail: salimov.ar@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to accidents on bridge structures due to piers damaged or failing. Cases of emergencies on transport structures due to errors in pier design on permafrost soil, poor maintenance of reinforced concrete crossing over the railway at Pushkino station, and the act of terrorist intervention on the bridge in Melitopol, washout of piers during floods and berthing impact on a pier in Oklahoma are considered. A review of a number of publications both foreign and domestic on the subject of bridge structures accidents given. The authors focus on the analysis of the accidents cause on road bridges and propose measures for their prevention and

risk minimisation. The main causes of such accidents are assessed, prevention methods and regular piers maintenance are considered, and the consequences are analysed, both in terms of safety and in the economic context. In the conclusion of the article, the authors suggest measures to be taken to prevent accidents on transport structures due to piers damaged or failing and report on the consequences that may occur in case of accidents on an engineering structure.

Keywords: bridge; pier; accident; washout; operation; berthing impact; failing

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

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



Введение

Introduction

Мостовые сооружения, представляющие собой искусственные инженерные сооружения, предназначенные для пересечения различных препятствий, играют важную роль в транспортной инфраструктуре и в экономике страны. Аварии мостовых конструкций, вызванные повреждением и разрушением опор, являются одной из наиболее серьезных проблем, которые могут привести к значительным экономическим потерям, нарушению транспортной связи, человеческим жертвам и значительным материальным убыткам. Поэтому исследование, предотвращение аварий и регулярное обслуживание опор становятся неотъемлемой частью обеспечения их долговечности и надежности.

Аварии на мостовых сооружениях вследствие повреждения или разрушения опор могут быть вызваны различными факторами, такими как ошибки при проектировании, некачественные материалы и их неправильный выбор, нарушение технологии строительства, воздействие природных факторов, коррозия, старение конструкций и акты террористического вмешательства. Каждый из этих факторов может привести к постепенному или внезапному разрушению опор, что, в свою очередь, может вызвать обрушение пролетных строений и создать угрозу для жизни и здоровья людей.

1. Состояние проблемы

1. Problem state

Теме аварий мостовых сооружений в отечественно литературе уделено мало внимания, однако стоит отметить ряд научных трудов.

В статье [1] авторы выделили следующие основные причины разрушения искусственных сооружений:

- Ошибки при проектировании.
- Ошибки на стадии строительства;
- Ошибки на стадии эксплуатации.

Также в данной работе были проанализированы причины разрушения 98 автодорожных мостов. Согласно статистике, до 39 % причиной является непредвиденные обстоятельства и до 40 % неправильная эксплуатация. Остальные 21 % приходятся на проектирование и строительство.

Для уменьшения количества аварий в статье были даны следующие рекомендации:

- Детальный сбор и анализ исходных данных для проектирования.
- Грамотная организация трудового процесса, как на стадии проектирования, так при строительстве и эксплуатации.
- Постоянное повышение уровня профессиональности кадров и др.

Авторы статьи [2] представили классификацию основных причин разрушения большепролетных мостов с анализом разрушения конструкций различного типа. В статье выделены следующие основные причины разрушения мостов:

- Ошибки при проектировании.
- Нарушение эксплуатационных предписаний.
- Резонанс.
- Стихийные бедствия и ЧС.
- Нарушение условий аэродинамической устойчивости сооружения.
- Дефекты сооружений, полученные при его строительстве.

Для снижения аварийности мостовых конструкций авторы дают общие рекомендации, а именно повышать качество проектирования и строительно-монтажных работ, качественно содержать мосты с учетом накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации, а также изучение причин произошедших аварий.

В публикации [3] авторы рассмотрели проблему прогрессирующего разрушения мостовых сооружений, которая в нашей стране крайне мало изучена. Также рассмотрена проблема безопасной эксплуатации мостов при аварийных воздействиях. Кроме того, в данной работе был проведен анализ ряда публикаций по теме аварий мостовых сооружений, в результате которого авторы выделили 3 основные причины разрушения:

- От природных воздействий (60 %).
- Ошибки при проектировании и дефекты при строительстве (30 %).
- Ошибки при эксплуатации, проезд не нормативной нагрузки (10 %).

Еще авторы приводят примеры разрушения мостовых конструкций из-за прогрессирующего обрушения и делают заключение о необходимости организации научных исследований в данной области.

В статье [4] авторы отмечают, что качественный мониторинг всего сооружения на всех этапах «жизни» мостового перехода, а именно во время проектирования, в период изготовления, транспортировки и монтажа, а также во время эксплуатации, позволит безопасно эксплуатировать опоры и мостовое сооружение на всем протяжении жизненного цикла.

В зарубежных трудах стоит отметить также ряд работ по данной тематике.

В статье [5] представлены результаты многолетних исследований, в результате которых авторы отмечают, что в связи с изменениями климата, при проектировании транспортных объектов необходимо учитывать агрессивность окружающей среды, так как атмосферная коррозия воздействует на мостовые сооружения в последние десятилетие более агрессивно, что приводит к деградации бетонных и металлических конструкций, что в свою очередь может стать причиной аварии на мостовом сооружении. Для предотвращения разрушения сооружений от коррозии необходимо применять различные мероприятия (увеличение толщины защитного слоя, применение специальных защитных покрытий и т. д.).

В работе [6] исследованы случаи аварий 123 мостовых переходов через водотоки на территории Китая. Авторы выделили следующие основные причины разрушения сооружений:

- Наводнение.
- Землетрясение.
- Размыв грунта под опорами.
- Большой срок эксплуатации мостового сооружения.
- Отсутствие информации о дефектах и повреждениях.

По результатам исследования авторы пришли к следующим выводам:

- Большинство аварий произошло на старых мостах, которые не отвечали современным требованиям проектирования, поэтому инженеры, которые эксплуатируют старые мостовые сооружения, должны быть готовы к возможной аварии.
- Для предотвращения разрушения мостов от паводковых вод нужно выбирать при проектировании конструкции с наименьшим числом опор (вантовые или подвесные). Также расчетная глубина размыва промежуточных опор не учитывает всех факторов.

- Перед проектированием любого мостового сооружения, необходимо производить тщательные гидрометеорологические изыскания.

Во время землетрясений большое количество гражданских и промышленных объектов, дорог, плотин и мостов получают критические повреждения или разрушаются полностью, поэтому стоит обратить внимание на ряд работ, посвященных данной теме [7–9]. Наиболее характерными повреждениями искусственных сооружений вследствие землетрясений автор работы [8] выделяет следующие:

- Повреждение пролетных строений (смещение или падение с опор).
- Разрушение или сильное повреждение опор.

В конце статьи автор делает следующие выводы:

- Для увеличения сейсмостойкости опор необходимо увеличивать их поперечную площадь, предусматривать специальные сейсмозащитные устройства (специальные опорные части).
- Тщательно выполнять расчеты опорных частей на действие расчетного максимального землетрясения.
- Многоуровневый подход к проектированию мостов (расчет конструкций на несколько уровней сейсмического воздействия).

Так же стоит добавить, что для предотвращения аварий на мостах из-за землетрясений необходимо проводить расчеты с применением различных расчетных комплексов с помощью метода конечных элементов, который позволяет обеспечить точную расчетную модель [7]. В случаях разрушения искусственного сооружения или получения им серьезных дефектов необходимо проводить детальное обследование с анализом данных дефектов. После чего необходимо прорабатывать технические решения, которые могут быть применены в будущих сооружениях и тем самым улучшат их сейсмостойкость [9].

В работе [10] авторы статьи выделяют следующие две большие группы причин разрушения искусственных сооружений: природного происхождения (землетрясение, ветер, циклон, размыв, оползень) и антропогенного (ошибки при проектировании и строительстве, перегрузка, навал судов, некачественная эксплуатация, пожар). Так же в данной статье были рассмотрены случаи обрушения мостов, произошедших в Бангладеш за последние несколько десятилетий.

Авторы статьи [11] разделяют причины разрушения мостов на две большие группы: внутренние (ошибки при проектировании и строительстве, ненадлежащие обслуживание, дефекты материалов и т. д.) и внешние

(стихийные бедствия, навал судов, сверхнормативные нагрузки). Также в статье выделили топ 5 причин аварий на транспортных сооружениях:

1. Ошибки при проектировании.
2. Некачественное выполнение строительно-монтажных работ.
3. Гидравлика.
4. Навал судов или разрушение от транспортного средства.
5. Сверхнормативные нагрузки.

Доля разрушенных мостов от данных причин превышает 70 %.

Нередко путепроводы, надземные пешеходные переходы разрушаются или получают серьезные повреждения от столкновения с негабаритными транспортными средствами. Автор работы ¹ провел моделирование случаев столкновения транспортных средств с опорой путепровода. Результаты расчетов показали, что нормы проектирования недооценивают напряжения, которые возникают при столкновении и потому необходимо пересмотреть нагрузки, которые учитываются при проектировании искусственных сооружений. Также автор отмечает, что данные нагрузки мало изучены из-за дороговизны проведения натурных экспериментов. На данный момент многие ученые проводят исследования с помощью моделирования.

Проведенный анализ показал, что большинство научных трудов недостаточно полно рассматривают проблему аварий мостов. Также стоит отметить, что научный интерес представляет тема разрушения мостов из-за повреждения опор. Поэтому в следующем разделе будут рассмотрены примеры разрушения мостов из-за опор.

2. Основная часть

2. Main part

2.1 Разрушение опор мостового перехода при строительстве подъездных дорог на компрессорной станции «Байдарацкая»

2.1 Piers failing of bridge crossing during approach roads construction at the compressor plant «Baidaratskaya»

Нитка газотранспортной системы Бованенково-Ухта, которая предназначена для доставки природного газа с Бованенковского месторождения, одного из крупнейших в России, расположенного на

¹ Gomez, Nevin L., "Performance of Circular Reinforced Concrete Bridge Piers Subjected to Vehicular Collisions" (2014). Masters Theses. 20. <https://doi.org/10.7275/5563363> (дата обращения: 5.12.2023).

полуострове Ямал, на Северо-Запад России и далее в европейские страны. Данное строительство велось в условиях Крайнего Севера, для которых характерен суровый климат, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры, наличие мерзлых грунтов и разветвленной гидрологической сети. Одним из значимых аспектов строительства в таких условиях является создание служебных и подъездных дорог, включающее проектирование и строительство многочисленных мостов, требующее специальных методов и технологий [11].

Например, при строительстве мостового перехода по проекту ПАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ» была использована технология создания фундамента для опор с использованием металлической обечайки из прямошовных электросварных труб диаметром 530 мм и толщиной стенки 8 мм, изготовленных из стали марки 09Г2С по ГОСТ 10705-80. Далее эту оболочку заливали бетоном класса В20 F 500 W 12 через определенный интервал в 12 дней [11].

Однако, спустя более 30 дней в оболочке сваи диаметром 530 мм были обнаружены дефекты. Эти дефекты возникли по сварному шву в зоне «вода-воздух» и были связаны с разрушением в заводском сварном шве труб, проявившимся при «вскрытии» трубы. Размеры трещин варьировались от 100 до 200 мм, причем большая часть трещин располагалась в той части трубы, которая не была погружена в фундамент (рис. 1) [11].

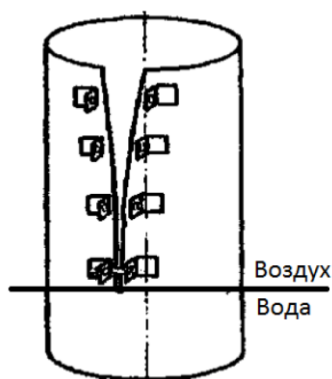


Рисунок 1. Характерный дефект свайной оболочки и границе «вода — воздух» [11]

Figure 1. Characteristic defect of the pile shell at the «water-air» boundary [11]

Детальный анализ аварии выявил следующие основные причины [11]:

- Низкое качество бетона, вызванное нарушениями условий хранения и несоответствием его класса.
- Недостаточное качество заводской сварки труб.

- Ошибки в проектировании, в том числе неправильный расчет наиболее неблагоприятных воздействий нагрузок, в том числе температурных факторов.

Анализ разрушения металлобетонных свай позволил сделать следующие выводы:

- Качество и процесс укладки бетона соответствовали нормативным требованиям.
- После контроля сварных швов труб различными методами, такими как визуальный контроль, ультразвуковой контроль и механический контроль, недопустимых дефектов обнаружено не было, сварные швы соответствовали нормам.
- Работы по заливке бетона в металлобетонные оболочки свай проводились в теплое время года с последующим устройством наголовников и ростверков. Внутри свай возникали температурные напряжения из-за перепада температур в мерзлотно-водной и водно-воздушной зонах, что приводило к деформациям и, в конечном итоге, разрушению сварных швов труб.

Подобные проблемы с деформациями и разрушениями железобетонных опор мостов на границе вода-воздух были рассмотрены на примере других мостов, строящихся и эксплуатирующихся в различных дорожно-климатических зонах как в России, так и за рубежом² [13].

На основании анализа авторы предлагают следующие меры:

Конструктивное усиление заводских сварных швов, в том числе установка и приварка арматурных подушек в зоне вода-воздух в соответствии с действующими стандартами [11].

Дополнительное усиление поврежденных заводских сварных швов, включало рассверливание концов трещин, закрытие трубы специальными приспособлениями и последующую сварку армирующей накладки в водно-воздушной зоне ручной дуговой сваркой электродами с основным покрытием и последующим визуальным контролем [11].

Применение защитных бетонных стаканов в зоне водно-воздушной опоры для снижения температурных деформаций с добавлением суперпластификатора должно проводиться согласно соответствующим стандартам (рис. 2).

² Assali I.F. Thermal analysis and bearing capacity of piles embedded in frozen uniform soils. University of Windsor. 1996. 135 p.

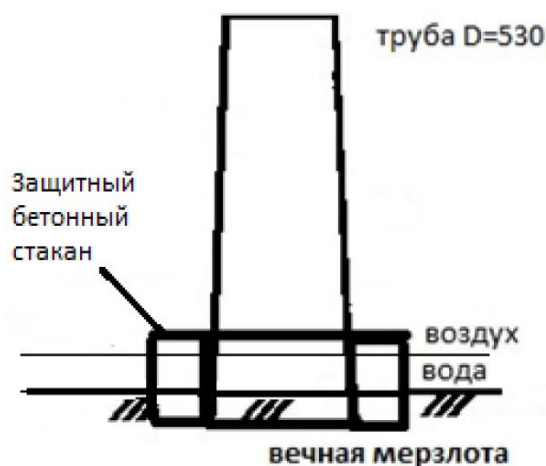


Рисунок 2. Схема применения бетонного «стакана» для защиты металло-бетонных опор от температурных деформаций в зоне «вечная мерзлота — вода — воздух» [11]

Figure 2. Concrete «cup» application diagram for protection of metal-concrete piers from temperature deformations in the zone «permafrost — water — air» [11]

Данный аспект представляет значительный интерес и обладает потенциалом для применения в области защиты металлических трубных опор в самых критически нагруженных и опасных участках современных инженерных систем, включая подземные инфраструктурные сооружения. Это также применимо к композитным материалам, которые используются для усиления несущих конструкций мостов [11].

Исследования подчеркивают актуальность вопроса, связанного с деформацией и разрушением опор мостов в зонах, где сталкиваются различные дорожно-климатические условия по всей России, включая северные районы, где в теплые периоды года возникают существенные температурные колебания. Особенно это касается областей, где опоры мостов подвергаются воздействию разных сред и температурных факторов, таких как «вечная мерзлота — вода — воздух» [11].

Дальнейшее изучение этих процессов в опорах, расположенных в зонах «вода-воздух» или «вечная мерзлота — вода — воздух», представляет собой актуальное направление, поскольку существующие методы защиты не всегда оказываются эффективными [13]. Это подразумевает необходимость проведения теоретических и практических исследований с целью разработки и внедрения методов защиты опор мостов на тех участках, где имеются резкие изменения среды и температурных показателей.

Исследования в области проектирования опор позволяют не только избежать аварийных ситуаций, но и в будущем создать новые решения, которые будут эффективнее по трудозатратам на их возведение и позволят уменьшить материальные расходы на их возведение и обслуживание.

2.2 Катастрофа на мосту I-40

2.2 Disaster on the I-40 bridge

Разрушение моста на межштатном шоссе 40 произошло из-за столкновения грузовых барж с опорой моста на юго-востоке Уэбберс Фоллс, в Оклахоме, утром 26-го мая 2002-го года. Причиной столкновения стал обморок капитана буксира и последующее потеря управления над буксирным судном Robert Y. Love. В результате столкновения с опорой моста обрушилась его часть, погибли 14 людей, а еще 11 были ранены. Баржи, которые капитан буксировал по реке Арканзас, врезались в пирс у моста на межштатке 40 пересекающей водохранилище Роберта С. Керра.³

Три человека, которые упали в реку в своих машинах, смогли добраться до берега. Рыбаки, которые были на воде во время турнира по ловле окуней, увидели катастрофу и предложили помощь пострадавшим, а также попытались остановить автомобили, движущиеся в направлении обрушения моста, но не смогли. Один из рыбаков выстрелил сигнальной ракетницей в водителя грузового автомобиля, чтобы остановить его, а другие пытались помочь людям в транспортных средствах веревками.³

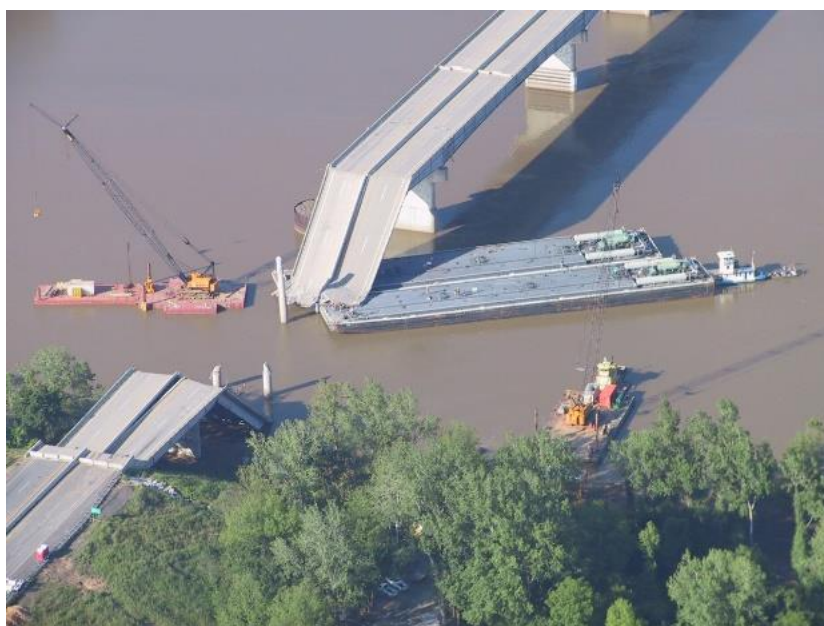


Рисунок 3. Обрушившаяся секция моста между штатами 40, 31 мая 2002 года³ (источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:I40_Bridge_disaster.jpg автор фото: Xpda)

Figure 3. Collapsed section of the Interstate 40 bridge, 31 May 2002³ (source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:I40_Bridge_disaster.jpg photo author: Xpda)

³ Википедия. Катастрофа на мосту I-40: [сайт]. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/I-40_bridge_disaster (дата обращения: 31.10.2023). — Текст: электронный.

Уильям Джеймс Кларк, дважды судимый, в течение двух суток выдавал себя за военного капитана на месте катастрофы, где он руководил действиями ФБР, присваивал транспортные средства и оборудование для спасательных операций, после чего скрылся с места происшествия и уехал в Канаду. Там его задержали.³

Бригады восстанавливали мост в течение примерно 2 месяцев, и примерно 20 тысяч автомобилей в день направлялись в объезд этого участка. Движение было возобновлено 29 июня 2002 года, через 2 месяца после аварии.³

Трагедия нанесла экономический урон, транспорт на протяжении нескольких месяцев обходил зону разрушения моста, что создавало логистические проблемы (рис. 3).

Эта авария показывает важность расчета опор мостовых сооружений. Опоры мостов, не рассчитанные на динамическое воздействие водного транспорта, могут разрушиться, что приводит к многочисленным жертвам.

Немаловажную роль играет система допуска людей к управлению судном, необходимо усилить контроль за их физическим состоянием.

2.3 Подмыв опор мостовых сооружений

2.3 Bridge structures piers washout

В течение последнего десятилетия климат на Земле претерпел значительные изменения, которые отражаются и на территории России. В местах, где ранее не были характерны такие стихийные бедствия, как смерчи и ураганы, сейчас они происходят все чаще. Средства массовой информации часто сообщают о выпадающих осадках, количество которых значительно превышает норму. Нередко можно услышать, что в течение суток или двух в определенном регионе выпадает месячная норма осадков или даже больше. Созданные человеком сооружения на дорогах и гидротехнические сооружения оказываются неспособными справиться с таким большим объемом воды, что приводит к затоплению территорий и населенных пунктов. Воды, текущие вдоль дорог, разрушают насыпи и приводят к повреждению дорог. Реки, даже небольшие, существенно увеличиваясь в объеме и скорости течения, проходя под мостами, размывают подходы и насыпи, подмывают конусы и опоры мостов. В последние годы серьезные наводнения произошли в Амурской, Читинской областях, а также в Краснодарском, Приморском и Алтайском краях и в других регионах России [14].

18 июля 2018 года в Карымском районе Забайкальского края, после сильного ливня, река Сыпчегур размыва опору из железобетона двухпролетного моста, который находится на трассе, соединяющей Читу и Дульдургу (рис. 4).



Рисунок 4. Мост через реку Сыпчегур в Забайкалье [14]

Figure 4. Bridge over the Sypchegur River in Transbaikalia [14]

Это произошло в 10 км от поселка Курорт Дарасун. Из-за размытого грунта и возросшего давления, опора опустилась более чем на половину метра в глубину. Дорожное покрытие моста над опорами было деформировано и покрыто трещинами, перила моста также подверглись деформации (рис. 5). В таких условиях надежность опоры вызывает опасения. Существует вероятность ее обрушения, и необходимы срочные меры по ремонту [14].



Рисунок 5. Мост через реку Жаман-Сарысу в Казахстане [14]

Figure 5. Bridge over the river Zhaman-Sarysu in Kazakhstan [14]

Аналогичный случай произошел на мосту через реку Жаман-Сарысу на автомобильной трассе Аксу — Аюлы — Агадырь в Казахстане в апреле 2017 года. Основание у первой промежуточной опоры железобетонного

трёхпролетного моста подверглось эрозии. В результате этого опора просела и наклонилась вправо, а правый край пролетного строения опустился более чем на метр. Это вызвало нарушение продольного профиля моста. Причиной возникновения данной ситуации является ошибка, допущенная при проектировании. Вероятно, заложенный фундамент не был способен выдержать возможные последствия воздействия потока воды. Разлив реки и ее сильное турбулентное течение ускорили эрозию основания [14].

Анализируя эти случаи, можно сделать вывод, что стандарты, используемые при проектировании мостовых конструкций на автодорогах, не соответствуют современным климатическим условиям. При проектировании мостов сегодня используются данные прошлых лет для определения расчетного объема водотока. Однако объем и частота выпадения осадков изменились. Для обеспечения надежной и непрерывной работы мостовых переходов через реки необходимы обновленные стандарты. Изменения следует внести в алгоритм определения расчетного расхода воды и, как следствие, расчетного уровня верхней воды и размера отверстия моста. Эти изменения позволят мостам выдерживать вызовы современных климатических условий и обеспечивать бесперебойную работу на протяжении всего срока эксплуатации [15].

Ошибки, допущенные при проектировании фундаментов мостовых сооружений, приводят к многочисленным жертвам. Поэтому не следует экономить на инженерных изысканиях, на материалах, на сроках проектирования данных сооружений.

Ситуации с наводнениями в России не новы. Многие города и сельскохозяйственные объекты расположены вблизи рек или на низменных территориях. Регионы, подверженные такому воздействию, часто несут убытки не только экономические, но и инфраструктурные. Своевременное и точное прогнозирование наводнений позволит городам подготовиться к стихийному бедствию. Однако это не всегда предотвращает аварийные ситуации из-за неполноты данных или ошибок в их интерпретации. Финансирование мер по предотвращению наводнений обычно получают только центральные районы крупных городов, в то время как другие территории остаются беззащитными перед стихией. Это бедствие затрагивает и дорожную сеть, и мостовые конструкции. Наводнения, вызванные обильными осадками, могут за короткий период времени привести мосты в аварийное состояние. Это связано с повышением уровня воды в реках и сопровождается увеличением расходов водотока и увеличением скорости течения в ограниченном потоке. Результатом таких изменений гидрологических характеристик реки является образование воронок (рис. 6) [16].



Рисунок 6. Разрушение Каштакского моста:
a — крен опоры; б — обрушение пролета [16]

Figure 6. Destruction of the Kashtak bridge:
a — slant of the support; b — collapse of the span [16]

В результате сильного наводнения на реке Чита было разрушено или повреждено 25 мостов, включая 14 региональных и 11 местных дорог. Эти повреждения были нанесены не во время пика наводнения. Уровень воды в этот момент едва превысил отметку в 300 см, а позднее достигал и 400 см. Тем не менее, наводнения в городе случались и раньше. Одно из самых сильных наводнений было зарегистрировано в 1897 году, и уровень воды в реке достиг 576 см. Наводнения были отмечены в 1948, 1969, 1971 (рис. 7), 1974, 1980, 1984 и 1988 годах [16].



Рисунок 7. Мост в г. Чите после наводнения в 1971 году [16]

Figure 7. Bridge in Chita after the flood in 1971 [16]

Из недавних наводнений стоит отметить паводок в июле 1990 года, когда уровень воды в реке достигал отметки 555 см. Через год, в июле 1991 года, паводок повторился, с максимальным уровнем воды 379 см. Наводнение может повлиять не только на опоры мостов, но и на насыпи подходов к ним. Если размер отверстия моста не позволяет пропускать увеличенный многократно объем воды, поток может размывать грунтовую насыпь, ведущую к мосту, перекрывая пути сообщения для крупных населенных пунктов (рис. 8). Такая ситуация произошла из-за ошибок в проектировании. Разрушения ясно показывают, что данное сооружение

нуждается в дополнительном пролетном строении, которое увеличит размер отверстия моста [16].



Рисунок 8. Размыв насыпи подхода к мосту в Якутии [16]

Figure 8. Washout of the bridge approach embankment in Yakutia [16]

Для предотвращения таких аварийных ситуаций на стадии проектирования сооружения рассчитывается глубина закладки фундамента опор, которая определяется на основе вычисленного расчетного уровня высоких вод в реке за период наблюдений. Основные параметры мостовых сооружений, такие как высота, размер и длина моста, рассчитываются в зависимости от уровня высоких вод, определенного существующей методикой расчета.

Однако наводнение создает поток, который превышает установленные нормы. Нормальный водный поток протекает с расчетной скоростью, в то время как превышающий норму, проходя через существующий промежуток, воздействует на грунт основания турбулентно, создавая завихрения у опор и оснований. Этот поток, размывая грунт, образует зоны разуплотнения почвы (рис. 9), что приводит к сдвигу, наклону, опусканию русловых опор. Такое воздействие требует отдельного расчета и анализа. Важно сравнить полученные характеристики нормального водного потока с уровнем воды, при котором произошло разрушение конструкции [16].

На основе этих данных, можно сделать вывод, что для обеспечения стабильности функционирования существующих и новых мостовых конструкций необходимо: выполнять гидравлический расчет моста, принимая за расчетный горизонт высоких вод уровень наивысшего уровня воды за весь период наблюдений; в регионах, подверженных воздействию паводков, при строительстве новых объектов, учитывать скорость стесненного течения через отверстие моста и выбирать оптимальную, с экономической точки зрения, но эффективную длину моста.

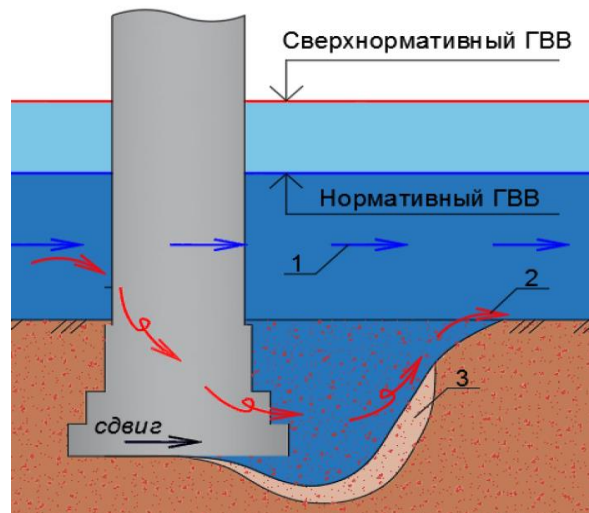


Рисунок 9. Схема размыва основания [16]

Figure 9. Pier base washout diagram [16]

2.4 Обрушение моста на станции Пушкино

2.4 Collapsed bridge at Pushkino station

К моменту аварии подземного перехода через железнодорожные пути на станции Пушкино еще не было, и единственным способом безопасного пересечения путей для пешеходов был надземный пешеходный мост, построенный в 1920-х годах (рис. 10).



Рисунок 10. Мост на станции Пушкино в апреле 1970 года⁴
(источник: <https://pastvu.com/p/153884> автор фото: Воз 223Rem [Vatslav])

Figure 10. Bridge at Pushkino station in April 1970
(source: <https://pastvu.com/p/153884> photo author: Воз 223Rem [Vatslav])

В 1970-х годах мост нуждался в срочном капитальном ремонте, о чем начальник станции неоднократно сообщал руководству, однако никаких действий предпринято не было. 17 августа 1977 года примерно в 11 утра на станции произошла авария: обрушилась одна из опор пешеходного моста, в результате чего часть пролёта моста упала вниз вместе с большим

количеством находившихся на нем людей. Хотя высота падения была небольшой, количество погибших и раненых было значительным: многие попали под колеса приближающегося поезда, некоторые были поражены электрическим током, другие получили травмы или погибли от падающих обломков моста.⁴

2.5 Обрушение моста через р. Молочая

2.5 Collapse of the bridge over the Molochaya river

Ещё одной из причин аварий мостов являются акты незаконного вмешательства; так 13 декабря 2022 на окраине города Мелитополя на мосту через р. Молочная был совершена террористическая акция, в ходе которой была подорвана одна из промежуточных опор.⁵ Вследствие этого движение автотранспортных средств стало невозможным. Мост был подорван двумя взрывами, мощность каждого составила 15–20 килограммов в тротиловом эквиваленте.

Защита мостовых сооружений от терактов отличается особенной сложностью, так как заранее предугадать действия террористов практически невозможно, ибо перед совершением противозаконных действий, злоумышленники проводят тщательную подготовку.

Для предотвращения обрушения мостов из-за террористических актов нужно применять контрмеры, которые способны защитить от ЧС. Можно выделить следующие основные большие группы мер⁶:

- Информационные меры, которые предназначены для ограничения доступа злоумышленников к данным, паспортам, чертежам и т. д.
- Проектирование мостов с обеспечением их максимальной живучести.
- Устройство на прилегающей территории к мосту специализированных мероприятий (улучшение освещения, ликвидация доступа к несущим конструкциям и т. д.).
- Применение мер сдерживания (охрана, датчики нарушения движения и т. д.).

⁴ Википедия. Обрушение моста на станции Пушкино: [сайт]. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Обрушение_моста_на_станции_Пушкино (дата обращения: 31.10.2023). — Текст: электронный.

⁵ РИА НОВОСТИ. Мощность взрывов на мосту в Мелитополе составила до 20 килограммов тротила: [сайт]. — URL: <https://ria.ru/20221213/vzryv-1838424854.html> (дата обращения 04.11.2023). — Текст: электронный.

⁶ Обеспечение защищенности автомобильных мостов от актов незаконного вмешательства: учеб. пособие / Ю.В. Трофименко, Т.Ю. Григорьева, Г.И. Евгеньев, С.Б. Иванов; под ред. Ю.В. Трофименко. — М.: МАДИ, 2014 — 172 с.

Заключение

Conclusion

Для предотвращения разрушения опор моста необходимо проводить следующие мероприятия:

- Проведение тщательного исследования грунта с определением его несущей способности.
- Проведение точного гидравлического расчета морфостроения моста с определением максимального горизонта высоких вод (ГВВ).
- Использование качественных материалов для сооружения моста.
- Проведение расчета глубины заложения фундамента и устойчивости опор.
- Анализ возможности общего и местного размыва грунта и в случае необходимости проектирование дополнительных мер защиты (укрепление грунта, использование свай и т. д.).
- Заложение в проект контрмер для предотвращения террористических актов.
- Регулярное проведение технического обслуживания пролетного строения и опор, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные дефекты и повреждения.
- Ежедневный мониторинг состояния окружающей среды и прогнозов погоды, чтобы быть готовым к возможным наводнениям или паводкам.

Аварии на мостах могут привести к серьезным последствиям, таким как:

- Невозможность передвижения людей и транспорта между берегами реки или другого препятствия.
- Гибель людей, если мост находится над дорогой с интенсивным движением.
- Экономические потери, так как он может быть частью важной транспортной артерии.
- Экологические проблемы, если они приводят к загрязнению окружающей среды или нарушению экосистемы.

Мосты играют важную роль в жизни общества, обеспечивая связь между различными частями города или страны. Они также имеют экономическое значение, поскольку помогают сократить время и затраты на транспортировку товаров и людей. Кроме того, мосты могут иметь

культурное значение, являясь символами достижений науки и техники. Поэтому важно поддерживать мосты в хорошем состоянии и принимать меры для предотвращения аварий на них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аварии мостовых сооружений и их причины / С.А. Дергунов, А.Б. Сатюков, А.Ю. Спирина, С.В. Сериков. — DOI <https://doi.org/10.35803/1694-5298.2019.2.289-294> // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова. — 2019. — № 2. — С. 289–294. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41415338>. — EDN PMHELU. (дата обращения: 05.12.2023).
2. Анализ и систематизация причин разрушения мостовых сооружений / А.А. Карамышева, Д.А. Строев, М.А. Колотиенко, А.И. Коник // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 3. — С. 34. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38513115>. — EDN CFUJJQ. (дата обращения: 05.12.2023).
3. **Караханян, В.Б.** Особенности прогрессирующего разрушения применительно к мостовым сооружениям / В.Б. Караханян, И.И. Овчинников, М.А. Баев [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.15862/12SATS220> // Транспортные сооружения. — 2020. — Т 7. — № 2. — С. 12SATS220. — URL: <https://t-s.today/12SATS220.html>. — EDN EZHHZC. (дата обращения: 05.12.2023).
4. Мониторинг деформаций мостовых опор и проблемы экологически рационального проектирования мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, А.К. Аншваев, И.Р. Гасанов. — DOI <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.03.07> // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2022. — № 3. — С. 60–69. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49539300>. — EDN QNHWOE. (дата обращения: 05.12.2023).
5. **Jančula, M.** Influence of aggressive environmental actions on bridge structures / M. Jančula, J. Jošt, J. Gocál. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.tpro.2021.07.104> // Transportation Research Procedia. — 2021. — Т 55. — С. 1229–1235. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521005196>. (дата обращения: 07.12.2023).
6. **Qin, S.** Recent hydraulic bridge failures in China: review and discussion / S. Qin, H. Wang, Z. Luo. — DOI <https://doi.org/10.7764/RDLC.21.2.193> // Revista de la Construcción. Journal of Construction. — 2022. — Т 21. — № 2. — С. 93–203. — URL: <https://revistadelaconstruccion.uc.cl/index.php/RDLC/article/view/23431>. (дата обращения: 05.12.2023).
7. **Wang, X.** Research on Collapse Process of Cable-Stayed Bridges under Strong Seismic Excitations / Wang X., Zhu B., Cui S. — DOI <https://doi.org/10.1155/2017/7185281> // Shock and Vibration. — 2017. — Т 2017. — С. 7185281. — URL: <https://www.hindawi.com/journals/sv/2017/7185281/>. (дата обращения: 06.12.2023).
8. **Shermukhamedov, U.Z.** Some Features of Damage to Un-Cut Reinforced Concrete Bridges Under Severe Earthquakes / U.Z. Shermukhamedov, Sh.Sh. Tayirov. — DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.753380> // Science and Innovation. — 2023. — Т 2. — № 1. — С. 54–62. — URL: <https://zenodo.org/records/7533807>. (дата обращения: 10.12.2023).
9. **Dowell, R.K.** Mw 7.8 Turkiye (Turkey) Earthquake of 2023. Reconnaissance Report of Observed Structural Bridge Damage / R.K. Dowell. — Сан Диего: San Diego State University, 2023. — 37 с. — URL: <https://www.betonvecimento.com/wp-content/uploads/2023/03/Reconnaissance-Report-of-Observed-Structural-Bridge-Damage.pdf> (дата обращения: 08.12.2023).
10. **Hasnat, A.** Bridge collapses around the world: Causes and mechanisms / A. Hasnat, J. R. Choudhury // IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21–22, 2015, Dhaka, Bangladesh / Дакка: IABSE, 2015. — С. 26–34. — URL: <https://iabse-bd.org/session/k2.pdf>. (дата обращения: 05.12.2023).

11. **Zhang, G.** Causes and statistical characteristics of bridge failures: A review / G. Zhang, Y. Liu, J. Liu, S. Lan, J. Yang. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.12.003> // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). — 2022. — Т 9. — № 3. — С. 388–406. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209575642200040X>. (дата обращения: 12.12.2023).
12. **Прокопов, А.Ю.** Анализ причин разрушения опор мостового перехода при строительстве подъездных дорог на компрессорной станции "Байдарацкая" / А.Ю. Прокопов, А.д.Л. Яцык, А.Л. Яцык // Инженерный вестник Дона. — 2015. — № 4. — С. 63. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25589014>. — EDN VNZBSL. (дата обращения: 12.12.2023).
13. **Yang, Z.** Seasonal Freezing Effects on the Dynamic Behavior of Highway Bridges / Z. Yang, Q. Li, G. Xu, J.L. Hulsey. — DOI [https://doi.org/10.1061/41102\(375\)19](https://doi.org/10.1061/41102(375)19) // GeoShanghai 2010, held in Shanghai, China, June 3–5, 2010 / Шанхай: American Society of Civil Engineers, 2010. — С. 162–168. — URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41102%28375%2919>. (дата обращения: 12.12.2023).
14. **Андрианов, Ю.А.** Актуальность проблемы эксплуатационной надежности мостов / Ю.А. Андрианов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2014. — № 2. — С. 77–81. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21545674>. — EDN SDMOZR. (дата обращения: 12.12.2023).
15. **Макаров, А.В.** Размыв мостовых переходов: анализ и причины / А.В. Макаров, Р.М. Магомедов // Инновационная наука. — 2018. — № 12. — С. 38–41. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36739408>. — EDN YTENXF. (дата обращения: 12.12.2023).
16. **Макаров, А.В.** Разрушение мостов как следствие паводкового бедствия / А.В. Макаров, Г.Г. Гулуев, А.В. Журавлев // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 1. — С. 211. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38499237>. — EDN YJQFKE. (дата обращения: 12.12.2023).

Сведения об авторах:

Салимов Артем Маратович — аспирант 2-го курса, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, e-mail: salimov.ar@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1190674

Гультяев Роман Сергеевич — ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, e-mail: qetuo1951@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4468-4312>

Овчинников Игорь Георгиевич — доктор технических наук, академик Российской академии транспорта, заслуженный деятель науки РФ, профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, e-mail: bridgesar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-5539-2013>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

Статья получена: 23.12.2023. Принята к публикации: 14.03.2024. Опубликовано онлайн: 28.03.2024.

REFERENCES

1. Dergunov S.A., Satyukov A.B., Spirina A.Y., Serikov S.V. Accidents of The Bridge Structures and Their Reasons. *The Herald of Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture Named After N. Isanov*. 2019; (2): 289–294. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.35803/1694-5298.2019.2.289-294>.
2. Karamysheva A.A., Stroeve D.A., Kolotienko M.A., Konik A.I. Analysis and Systematization of The Causes of Bridge Structures Destruction. *Engineering journal of Don*. 2019; (3): 34. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38513115> (accessed 5th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).

3. Karakhanyan V.B., Ovchinnikov I.I., Baev M.A., Ovchinnikov I.G. Features of the progressive destruction of bridge structures. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020; 7(2): 12SATS220. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/12SATS220>.
4. 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; (3): 60–69. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.03.07>.
5. Jančula M., Jošt J., Gocál J. Influence of aggressive environmental actions on bridge structures. *Transportation Research Procedia*. 2021; 55: 1229–1235. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.104>.
6. Qin S., Wang H., Luo Z. Recent hydraulic bridge failures in China: review and discussion. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*. 2022; 21(2): 93–203. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.7764/RDLC.21.2.193>.
7. X. Wang, B. Zhu, S. Cui Research on Collapse Process of Cable-Stayed Bridges under Strong Seismic Excitations. *Shock and Vibration*. 2017; 2017: 7185281. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/7185281>.
8. Shermukhamedov U.Z., Tayirov Sh.Sh. Some Features of Damage to Un-Cut Reinforced Concrete Bridges Under Severe Earthquakes. *Science And Innovation*. 2023; 2(1): 54–62. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.753380>.
9. Dowell R.K. Mw 7.8 Turkiye (Turkey) Earthquake of 2023. Reconnaissance Report of Observed Structural Bridge Damage. San Diego: San Diego State University; 2023. Available at: <https://www.betonvecimento.com/wp-content/uploads/2023/03/Reconnaissance-Report-of-Observed-Structural-Bridge-Damage.pdf> (accessed 8th December 2023). (In Eng.).
10. Hasnat A., Choudhury J.R. Bridge collapses around the world: Causes and mechanisms. In: *IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21–22, 2015, Dhaka, Bangladesh*. Dhaka: IABSE; 2015. p. 26–34. Available at: <https://iabse-bd.org/session/k2.pdf> (accessed 5th December 2023). (In Eng.).
11. Zhang G., Liu Y., Liu J., Lan S., Yang J. Causes and statistical characteristics of bridge failures: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022; 9(3): 388–406. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.12.003>.
12. Prokopov A.Yu., Yatsyk A.L. Analysis of the Causes of The Destruction of The Supports of The Bridge During the Construction of The Access Road to The Compressor Station "Baydaratskaya". *Engineering journal of Don*. 2015; (4): 63. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25589014> (accessed 12th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
13. Yang Z., Li Q., Xu G., Hulsey J.L. Seasonal Freezing Effects on the Dynamic Behavior of Highway Bridges. In: *GeoShanghai 2010, held in Shanghai, China, June 3–5, 2010*. Shanghai: American Society of Civil Engineers; 2010. p. 162–168. Available at: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41102%28375%2919> (accessed 12th December 2023). (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1061/41102\(375\)19](https://doi.org/10.1061/41102(375)19).
14. Andrianov Yu.A. Actual Problem of Bridge Protection Against Scour. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*. 2014; (2): 77–81. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21545674> (accessed 12th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
15. Makarov A.V., Magomedov R.M. [Erosion of bridge crossings: analysis and causes]. *Innovation Science*. 2018; (12): 38–41. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36739408> (accessed 12th December 2023). (In Russ.).
16. Makarov A.V., Guluev G.G., Zhuravlev A.V. Destruction of Bridges as a Result of Flood Disaster. *Engineering journal of Don*. 2019; (1): 211. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38499237> (accessed 12th December 2023). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:

Artem M. Salimov — Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,
e-mail: salimov.ar@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1190674

Roman S. Gulyaev — Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, e-mail: qetuo1951@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4468-4312>

Igor G. Ovchinnikov — Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, Perm National Research
Polytechnic University, Perm, Russia, e-mail: bridgesar@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/J-5539-2013>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

Submitted: 23rd December 2023. Revised: 14th March 2024. Published online: 28th March 2024.