

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

2025, Том 12, № 4 / 2025, Vol. 12, Iss. 4 <https://t-s.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/07SATS425.pdf>

DOI: 10.15862/07SATS425 (<https://doi.org/10.15862/07SATS425>)

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

Ссылка для цитирования этой статьи:

Вазенмиллер, Н. М. Особенности обеспечения безопасности при строительстве мостовых сооружений в горной местности / Н. М. Вазенмиллер, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2025. — Т. 12. — № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/07SATS425.

For citation:

Vazenmiller N.M., Ovchinnikov I.G. Safety considerations during bridge construction in mountainous areas. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2025;12(4): 07SATS425. Available at: <https://t-s.today/PDF/07SATS425.pdf>. DOI: 10.15862/07SATS425. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.035.2

Вазенмиллер Никита Михайлович

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
E-mail: vazenmiller02@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1132-3165>

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Профессор
Доктор технических наук
E-mail: bridgesar@mail.ru
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=57191523105>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

Особенности обеспечения безопасности при строительстве мостовых сооружений в горной местности

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу специфических рисков и методов обеспечения безопасности при возведении и эксплуатации мостовых сооружений в сложных условиях горной местности. Актуальность темы обусловлена малым опытом строительства транспортной инфраструктуры в данной сфере, но стремительно развивающейся. Мостовые сооружения в горах сопровождаются новыми разработками и инженерными решениями в связи с индивидуальными условиями строительства.

В работе детально рассмотрены особенности комплексного обеспечения безопасности на трех стадиях строительства: проектирование и организация строительной площадки, строительство, эксплуатация. В частности, был проведен анализ решений на новом уникальном мосту в Китае через каньон Хуацзян.

На этапе проектирования подчеркивается необходимость тщательного исследования места строительства, а именно анализ природных и климатических условий. Сделан акцент на проведение необходимых расчетов для мостов в горных районах. Приведены существующие способы решения по обеспечению безопасности для минимизации опасных факторов и случаев. Рассмотрены решения по организации безопасной строительной площадки.

На стадии строительства анализируются возможные опасные факторы и приведены их инженерные и инновационные решения.

На этапе эксплуатации рассматривается важность обеспечения мониторинга мостовых сооружений в горной местности, особенно при защите от воздействия горных порывов ветра. Приведены меры обеспечения безопасного движения по мосту.

Делается вывод о важности обеспечения безопасности мостов в горной местности как уникальных сооружений.

Ключевые слова: строительство мостов в горной местности; безопасность при строительстве мостовых сооружений; инновационные технологии в строительстве мостов; виртуальное строительство и BIM-технологии; сейсмическая безопасность мостовых сооружений; мониторинг состояния мостов в реальном времени; влияние климатических условий на устойчивость мостов; противоударные и противоселевые сооружения

Введение

Строительство любого типа мостового сооружения сопровождается использованием огромного количества трудовых ресурсов, которым приходится осуществлять производственный процесс не только в сложных, но и в опасных для жизни условиях. В приказе Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 872н от 09.12.2020 г. в гл. 1 п. 7¹ приведен перечень вредных и опасных производственных факторов, действующих на работников при строительстве мостовых сооружений. Однако, наиболее рисковыми работами, которые подвергаются опасности, являются строительно-монтажные работы при возведении мостовых сооружений в горной местности, поскольку производятся на высоте в сопровождении природных и климатических условий, а также возможных ограничениях строительной площадки, труднодоступностью для строительных машин и механизмов [1]. Факторы, влияющие на безопасность сооружения мостов в горной местности, могут быть спровоцированы не только природой района строительства, но и человеком: ошибки проектирования и выполнения работ, столкновение оборудования, перегрузки, преднамеренные повреждения и другие [2]. Следовательно, такие объекты большего всего нуждаются в сильном обеспечении безопасности, как при самом строительстве, так и при дальнейшей эксплуатации.

Безопасность при осуществлении строительства — это комплекс мер, направленных на минимизацию или полное предотвращение несчастных случаев и травм на строительной площадке путем соблюдения установленных норм и правил, ограничения воздействия опасных факторов или использования инновационных решений и механизмов. Также должны осуществляться меры по снижению риска аварий и обрушений при эксплуатации объекта в горной местности. Оценка рисков может вестись как простыми способами, так и с помощью технологий и различных методов анализа: метода Дельфи, основанного на выявлении и расчете источников риска; метода факторного анализа; метода системного анализа [3].

Осуществление безопасности на мостовом сооружении в горной местности можно разделить на три этапа: при проектировании и подготовке строительства, при производстве строительно-монтажных работ и в процессе эксплуатации. Данные этапы будут рассматриваться на примере строительства моста через каньон Хуацзян, как самого высоко мостового сооружения в мире и амбициозного проекта, включающего в себя инновации строительства (рис. 1).

¹ Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании мостов [Электронный ресурс]: Приказ Минтруда России от 09.12.2020 № 872н (ред. от 29.04.2025) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/573156122>.



Рисунок 1. Мост через Гранд-Каньон Хуацзян (источник: <https://www.popularmechanics.com/science/a68154978/worlds-highest-bridge-china/> (Автор: Glabb))

1. Проектирование моста, организация и оборудование строительной площадки

Строительство мостов должно начинаться, прежде всего, с правильного, точного и грамотного проекта, поскольку горные мосты чаще всего являются точкой соединения населенных пунктов, вследствие чего ремонты и аварии таких сооружений приводят к блокировке доступа к пунктам назначения с обеих сторон [4]. Поэтому такие действия способствуют спланированной и эффективной организации строительной площадки. Однако стоит обратить внимание, что полностью исключить повреждения и деформации просто невозможно, так как это естественная усталость сооружения со временем. Следовательно, мосты должны быть спроектированы таким образом, чтобы возникали только неопасные и незначительные повреждения [5].

В данной задаче может помочь виртуальное строительство, основанное на использовании компьютерных технологиях [6]. Результатом такого строительства является готовая цифровая модель мостового сооружения, полученная совместной работой BIM-технологий и географической информационной системы (GIS). Такое сочетание позволяет снизить затраты, тем самым обезопасив процесс проектирования мостов в горной местности. Платформа виртуального строительства способна отразить BIM-модель, а графическая информационная система (графический движок) применяется в роли носителя, в связи с чем наглядно видно весь процесс планирования строительства и взаимодействие сооружения и географической среды. Также к преимуществам данной технологии относится отслеживание данных о ходе строительства (рис. 2).



*Рисунок 2. Виртуальное строительство.
Отслеживание хода строительства в режиме реального времени [6]*

В качестве экспериментальной проверки работоспособности виртуального строительства был выбран подвесной мост, находящийся в горах на юго-западе Китая. Вследствие малой площади строительной площадки и узких существующих дорог, проводились исследования и разработки по следующим пунктам: создание 3D-модели участка строительства, управление подъездными путями и просмотр предварительного виртуального хода строительства. Такой подход позволил создать 3D-модель местности, выполнить съемку территории с помощью дронов с различных углов обзора, обработать полученный материал и построить 3D-модель под него, откорректировать дизайн модели и подключить ее к географическим координатам. После этих действий вся модель местности переносится в виртуальную платформу, где уже размещается и корректируется в соответствии с реальными координатами местности. Здесь уже можно рассчитать точное расстояние заданного маршрута движения и максимально эффективно спланировать путь строительной техники (рис. 3). Без данного этапа движение было бы просто затруднительным или невозможным, поскольку горная местность известна своими резкими перепадами высот, большими уклонами и такими препятствиями, как глубокие овраги и ущелья, всевозможные камнепады и обвалы [7]. Такой подход показал, что проектирование и организация площадки и движения транспорта можно осуществить с минимальными затратами труда, при этом обезопасив рабочих от воздействия климатических и природных условий, а также от опасности при работе на высоте.



Рисунок 3. Планирование и расчет заданного маршрута движения транспорта [6]

Горная местность славится не только незабываемыми пейзажами, но и непостоянными климатическими и сейсмическими условиями. Китай, как страна с большим опытом строительства мостов в горах, подтверждает данный факт. Непостоянство климата наблюдается абсолютно в разных районах. Площадь центральной Азии отдалена от любого океана и характеризуется широким распространением пустынь, высокой температурой, малым количеством осадков и влажности [8]. На северо-западе Китая горный рельеф с растительностью, характеризующийся холодным и влажным климатом [9]. Это говорит о том, как важно подбирать горный район и место под строительства моста, чтобы избежать природных и климатических трудностей, мешающих обеспечению безопасности.

Например, при строительстве моста в Китае через каньон Хуацзян в провинции Гуйчжоу инженеры столкнулись с проблемой сильного ветрового поля. В данном районе скорость ветра меняется очень часто и с высокими перепадами: в один момент — это легкий бриз, в следующий — ураганный ветер. Китайские инженеры решили изучить поведение ветра в каньоне с помощью лидара. С помощью 3D-модели и проведения испытаний в аэродинамической трубе они смогли разработать комбинированную систему дефлектора и демпфера, которая гарантирует устойчивость моста, как скалы при сильном ветре.² Также проектировщики позаботились и о самих несущих конструкциях моста, придав им еще большую роль в обеспечении безопасности сооружения при ветровой нагрузке. Фермы мостового сооружения были спроектированы так, чтобы площадь соприкосновения с ветром была минимальна, бетонные колонны были полыми для лучшего сглаживания ветрового потока.³

На стадии проектирования мостов в горной местности очень важно сделать точные расчеты всех конструкций не только на прочность, но и на устойчивость. Одним из таких расчетов является проверка на аэродинамическую устойчивость и пространственную жесткость. Данной проверке по СП 35.13330.2011⁴ п. 5.48 и п. 6.24 подвергаются висячие и вантовые мосты, а также стальные балочные мосты с пролетами более 100 м. Для конструкций, обладающих динамическими характеристиками, следует дополнительно к расчетам проводить исследования на моделях. При оценке аэродинамической устойчивости стоит определять критическую скорость ветра, при которой возникают опасные изгибающие колебания сооружения. Также необходимо проводить сейсмический анализ, анализ колебаний самих конструкций и устойчивость грунта, оценку затухания этих колебаний [5].

Другим фактором, влияющим на устойчивость и безопасность мостового сооружения, являются сейсмические условия. Проблема заключается в том, что движение грунта чаще всего имеет разнонаправленный характер. Это приводит к тому, что нужно учитывать множество факторов при проектировании, что несет за собой множество различных разработок и вариаций конструкций [10]. Также проблемой рассеивающих устройств является зависимость от окружающей среды, вследствие которой они быстро изнашиваются или приходят в негодность. Для устранения данных недостатков были разработаны сферические опоры с кольцевым стальным тросом-демпфером на мосту через реку Хуанхэ в Пинчуань, который находится в сейсмической зоне VIII уровня интенсивности [11].

² How China Builds the World's Tallest Bridge [Электронный ресурс] // The China Academy. — URL: <https://thechinaacademy.org/how-china-builds-the-worlds-tallest-bridge/>.

³ Hite R. China's Huajiang Canyon Bridge: Building the World's Highest Bridge [Электронный ресурс] / Ryan J. Hite. — 2025. — June 4. — URL: <https://www.ryanjhite.com/2025/06/04/chinas-huajiang-canyon-bridge-building-the-worlds-highest-bridge/>.

⁴ СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849?ysclid=mhkdckr58135919802>.

Новые стальные канаты изготавливаются в виде кольцевых демпферов и объединяются с опорами, в результате чего обеспечивается рассеивание энергии землетрясения вследствие взаимного трения и сжатия канатов при деформации (рис.4) [11]. Центральный подшипник играет роль несущей конструкции и воспринимает вертикальную нагрузку, обеспечивая вращение по пластине. Вокруг подшипника находятся предварительно напряженные стальные тросы, которые и служат элементом рассеивания. При землетрясении демпфер из стальных тросов компенсирует смещение между надземной и подземной частями, поглощая энергию за счет трения и деформации, обеспечивая чрезмерное смещение и самоцентрирование. Такой подход обеспечивает устойчивость опор и гарантирует безопасность моста при землетрясении.

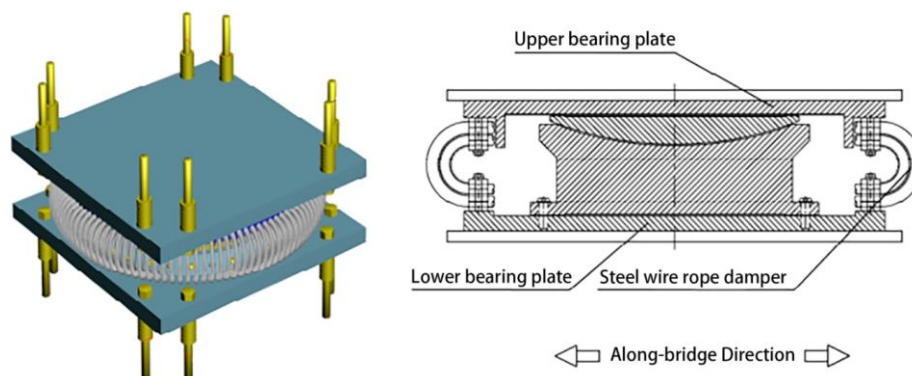


Рисунок 4. Структурная схема кольцевого демпфера [11]

В целях обеспечения безопасности важно не только спроектировать конструкции, но и спланировать движения в экстренных ситуациях такие, как пропускная способность, экстренное торможение, проезд через мост без потери скорости. Для таких целей выполняются различные расчеты, которые позволяют дать оценки времени и расстояния тормозного пути, времени реакции водителей, аварийности на мостах. Оценка таких результатов дает понять, что при обеспечении безопасности движения на мостах в горной местности, важно учитывать габариты сооружения, которые способствовали бы беспрепятственному безопасному движению автомобилей без аварийных последствий [12; 13].

После окончания проектирования и уточнения всех важных решений начинается процесс организации строительства, а именно организация строительной площадки. Здесь необходимо тщательно спланировать не только ход работ и движение трудовых ресурсов, но и обеспечить правильное хранение строительных материалов.

Оборудование площадки в горной местности очень трудоемкий процесс, поскольку нужно разработать не простой грунт, а горные породы. В таких случаях прибегают к использованию мощных буров и взрывчатки или гидравлическому дроблению, основанному на использовании струи под высоким давлением [14; 15]. Однако такой процесс может спровоцировать оползни и эрозию почвы, нарушив баланс экосистемы [15], поэтому с целью вывала горной породы важно предусмотреть защитные сооружения в виде специальной конструкции, которая представляет собой крупноячеистую или мелкоячеистую металлическую сетку различной конфигурации⁵ (рис. 5). Установка такой конструкции заключается в закреплении канатов к цементным анкерам, которые воспринимают усилия нижним концом, погруженным в горный массив.

Что касается движения трудовых ресурсов, то важно подготовить персонал к различного рода опасностям и обеспечить необходимую безопасность.

⁵ В Крыму завершается проходка тоннелей под железную дорогу подходов к мосту через реку Бельбек [Электронный ресурс] // Гудок: газета. — 2023. — 27 апр. — URL: <https://gudok.ru/zdr/171/?ID=1349705>.



Рисунок 5. Установка мелкоячеистых сеток⁵ (автор: Вера Григорьева)

Опасности возникают в результате развития технологий и усложнения от этого строительного-монтажных работ, роста скорости строительства. Вследствие этого повышаются случаи нарушений технических процессов, подбора неквалифицированного персонала и наличия вредных производственных факторов. Следовательно, для решения таких проблем необходимо допускать работников, прошедших медицинские осмотры, прошедших обучение и инструктажи по безопасности. Работникам на высоте, с электрическим током и другими вредными факторами необходимо получить доступ к выполнению работ, обеспечив их необходимыми средствами индивидуальной защиты, включая страховочные пояса [16]. Также необходимо максимально эффективно спланировать движение машин и механизмов, чтобы обеспечить максимально быстрый ход строительства мостового сооружения.

2. Строительный процесс

Строительный процесс мостовых сооружений в горах чаще всего характеризуется применением новых инженерных и инновационных решений, поскольку нужно подстраиваться под индивидуальные характеристики горного участка или каньона. Так, например, на том же мосту через каньон Хуацзян в Китае сложность заключалась в географическом расположении — на участке строительства находилось 17 зон разломов. Следовательно, нужно было как-то укрепить грунт, чтобы обеспечить необходимую устойчивость сооружения, тем самым ограничивая опасность обрушения. Китайские инженеры первыми применили технологию «глубокой анкерки», которая заключалась в забивке 200 000 тонн анкеров на глубину 120 метров в скальное основание.²

Однако, на этом сложности не закончились. В связи с тем, что сооружение имело немислимые геометрические параметры, необходимо было разработать безопасные методы монтажа, так как работы нужно было выполнять на высоте 625 метров. Проблема заключалась в том, что мост состоял из 93 тяжелых стальных секций по 150–250 тонн. Обычные строительные краны физически не смогли бы дотянуться и смонтировать эти секции. Поэтому китайские инженеры использовали самую большую в мире систему канатного подъема, которая управлялась не вручную, а с использованием спутниковых координат (рис. 6). Каждая конструкция доставлялась с точностью до сантиметров благодаря автоматизированной системе, что позволило вдвое сократить рабочую силу и фактически ограничить человеческие ошибки, тем самым повысив безопасность монтажа конструкций на высоте.³



Рисунок 6. Монтаж конструкций с помощью канатной системы³ (Автор: Xinhua)

Помимо сложности монтажа конструкции важно было учесть будущие колебания и перепады температур, что характерно для провинции Гуйчжоу. Резкие колебания температур приводят к расширению и сжатию металла, что впоследствии может привести к ослаблению болтовых соединений, изгибу ферм и дальнейшему обрушению. С целью обеспечения безопасности были использованы следующие методы и материалы: цемент высокой прочности, переармирование конструкций, цифровое моделирование для учета долгосрочного влияния температур.

Стоит отметить, что существуют и другие решения, которые могут обеспечить безопасность при строительстве. К примеру, мост Чедигуань в Китае был два раза разрушен в результате землетрясения и дальнейшего образования камнепадов. Мост был восстановлен дважды, а также были приняты меры по обеспечению безопасности в следствие будущих подобных происшествий — были усилены опоры путем применения противоударных конструкций [17; 18]. Суть такой разработки заключается в том, что она представляет собой гибкую ударопрочную конструкцию, рассеивающую энергию удара. При численном моделировании процесса воздействия камнепада на такую конструкцию на опоре моста были учтены нелинейность материала и контакта, а также геометрические характеристики. В 2018 году результаты этого исследования привели к выводам, что такая конструкция очень эффективна для смягчения ударов, обеспечивая противоударные свойства моста, а также способна обеспечить безопасность всего сооружения.

Не только камнепады могут оказывать влияние на опоры, нарушая безопасность такого сооружения. В горной местности существуют реки, которые в результате проливных дождей или оттоков и притоков рек образуют водотоки, способные под большим давлением собирать и размывать различный мусор: деревья, горные массивы и прочее. Такая смесь воды и природного мусора под большим давлением может оказать серьезное влияние на устойчивость мостовых опор и привести к их разрушению. Для гашения этого давления используют гидротехнические и противоселевые сооружения, позволяющие снизить скорость потока воды вследствие удара о сооружение и увести поток в сторону, а также удерживать вынос природного мусора водой. Хорошим примером таких сооружений является противоселевой барьер (рис. 7) [19], который состоит из однотипной сетчатой конструкции. Суть работы сетки проста: гибкая сетка с одной стороны воспринимает удар потока, кольца-амортизаторы — с

другой стороны, остаточное напряжение воспринимают канаты, передавая нагрузку на оттяжки и коренную породу русла. Центральная часть сетки укрепляется стойками, нижняя часть которых забетонирована, верх скреплен оттяжками, связанными с грунтовыми анкерами. Такая связка конструкции обеспечивает неподвижность и устойчивость при давлении потока, обеспечивая безопасность для опор мостов, находящихся в руслах рек.



Рисунок 7. Противоселевой барьер [19] (Автор: Самаркин-Джарский К.Г.)

3. Эксплуатация сооружения

Мостовое сооружение через каньон Хуацзян — эффективное достижение строительства, которое сочетает в себе невообразимые цифры: длина моста около 3 километров, из которых основной пролет составляет 1 420 метров; высота 625 метров; вес сооружения около 22 000 тонн, что тяжелее двух Эйфелевых башен. Все эти цифры были достигнуты за каких-то 3,5 года строительства.³ Но, несмотря на это, такой мост нужно эксплуатировать и поддерживать безопасность не только для самих конструкций, исключая вероятность их обрушения, но и для людей и транспорта, передвигающихся по сооружению.

Как уже говорилось ранее, основными проблемами данного моста являются климатические и природные особенности местности, что спровоцировало ряд инженерных и инновационных решений.

На этапе проектирования инженеры уже разработали комбинированную систему дефлектора и демфера, обеспечивая устойчивость и безопасную эксплуатацию на высоте 625 метров. Однако этого было недостаточно для отслеживания состояния моста в реальном времени. Инженеры установили датчики ветра на обеих горах по концам моста, которые передавали данные о ветровой нагрузке.³

В результате прохождения через мост большого количества транспорта, а также грузовых машин высокой грузоподъемности повышается динамическая реакция моста, которая провоцирует вибрации. Высокие вибрации впоследствии могут привести к разрушению материала и последующему обрушению конструкции, что негативно влияет на безопасность сооружения. В настоящее время применяются датчики вибрации, однако большинство из них имеют плохую устойчивость к помехам магнитных полей, короткий срок службы и низкую чувствительность. Поэтому было предложено использовать волоконно-оптические датчики на основе ячейки Брэгга, которые используют оптические волокна для обнаружения изменений

окружающей среды. Преимуществом такой решетки является способность в заданном диапазоне частот обеспечивать неискаженные измерения, стабильность. Такие датчики устойчивы к электромагнитным помехам, имеют простую конструкцию и возможность долговременного использования [20]. Данная технология способна обеспечить мониторинг вибраций мостов на протяжении долгого срока службы, тем самым обеспечив безопасность и своевременное принятие решений в экстренных случаях.

Несмотря на все решения, которые были приняты на мосту через каньон Хуацзян, практика показывает, что опыт эксплуатации горных мостов хотя мал и недостаточен, но все же имеется. Решения по обеспечению безопасности начинаются от самых базовых вещей до использования новых технологий.

Так, например, каждое мостовое сооружение в горной местности должно информировать о возможной опасности и влиянии ветра на передвижение. Необходимо устанавливать на въездах на мост дорожные знаки «Боковой ветер», чтобы предупредить водителей о возможной опасности. На протяжении всего пути по мосту необходимо устанавливать информационные табло, которые при взаимодействии с датчиками ветра показывают скорость ветрового потока, скорость транспорта, а также при возможном опасном влиянии ветра на сооружение предупреждали бы водителей специальным сообщением.

Практика обеспечения безопасности при ветровых нагрузках показала альтернативу запроектированным конструкциям и комбинированным ветровым системам на мосту через каньон Хуацзян. На виадуке Мийо были использованы ветрозащитные барьеры. Опыт использования таких конструкций показал, что оптимальная высота данной конструкции составляет 1,1–1,2 м, обеспечивая при этом достаточную защиту для автомобилей от действия сильных порывов ветра [21]. Другая зарубежная практика рассматривает преимущества применения ветрозащитных сеток. Отличие данных сеток от других защитных устройств заключается в монтаже их не только по краям проезжей части, но и на разделительной полосе, что позволяет минимизировать воздействие порывов ветра. Небольшой опыт эксплуатации показал, что оптимальная высота таких сеток составляет 2,5 м [21].

Важно соблюдать скоростной режим, тем более на таких высотах при таких ветровых условиях. Важно устанавливать дорожные знаки «Ограничение скорости», с целью предотвращения аварий транспортных средств, а также возможный их вылет за пределы ограждений.

Выводы

Мостовое сооружение, расположенное в горной местности — это поистине уникальное сооружение, которое сочетает в себе эстетику, индивидуальность, инновации и инженерные решения. Проведенный анализ подтверждает, что при строительстве такого типа сооружений необходимо обеспечить комплексную безопасность на всех стадиях жизненного цикла объекта: от проектирования до эксплуатации. Специфические природно-климатические условия региона создают индивидуальные проблемы, которые рождают уникальные инженерные и инновационные решения.

На стадии проектирования ключевым выводом является невозможность применения типовых решений, поскольку необходимо учитывать сразу огромное количество факторов, которые прямо или косвенно влияют друг на друга.

При строительстве самым главным условием является соблюдение техники безопасности и производства работ, которые сопровождаются в большинстве случаев инновационными решениями, с целью облегчения выполнения работ и обеспечения безопасности рабочих и рабочих мест.

Эксплуатационная безопасность обеспечивается за счет грамотного и своевременного мониторинга сооружения, установки защитных ограждений и предупреждающих знаков, а также благодаря соблюдению правил дорожного движения.

Таким образом, обеспечение безопасности мостовых сооружений в горной местности достигается путем синтеза трех составляющих: адаптация проекта под местность, соблюдение строительных норм и правил безопасности, а также эффективная система мониторинга и защиты мостового сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магомедов, М.М. Особенности строительства вантовых и висячих мостов в горной местности / М.М. Магомедов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, посвященной 65-летию Тюменского индустриального университета, Тюмень, 27–29 октября 2021 года / Отв. редактор А.Н. Халин. — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. — С. 91–94. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47363539>. — EDN: [WHQMGX](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47363539). (дата обращения: 12.12.2025).
2. Safety of Highway Bridges in China / C. Wu, Z. Guo, Y. Liu // Strategic Study of CAE. — 2017. — Vol. 19, Iss. 6. — P. 8–15. — URL: <https://www.engineering.org.cn/sscae/CN/10.15302/J-SSCAE-2017.06.005>. — DOI: [10.15302/J-SSCAE-2017.06.005](https://www.engineering.org.cn/sscae/CN/10.15302/J-SSCAE-2017.06.005). (дата обращения: 12.12.2025).
3. Ji, T. Safety Risk Evaluation of Large and Complex Bridges during Construction Based on the Delphi-Improved FAHP-Factor Analysis Method / T. Ji, J.W. Liu, Q. Fu, Li // Advances in Civil Engineering. — 2022. — Vol. 2022. — P. 5397032. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59987587>. — DOI: [10.1155/2022/5397032](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59987587). — EDN: [PVKNAJ](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59987587). (дата обращения: 12.12.2025).
4. Магомедов, М.М. Конструктивно-технологическое обоснование конструктивных решений горных мостовых сооружений / М.М. Магомедов, И.Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2021. — Т. 8, № 2. — С. 30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46561309>. — DOI: [10.15862/12SATS221](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46561309). — EDN: [KBEJRW](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46561309). (дата обращения: 12.12.2025).
5. Alkhrdaji T., Belarbi A. Design and Construction of a Lightweight Bridge System for Rapid Deployment in Mountainous Terrain // Journal of Building Construction and Planning Research. — 2017. — Vol. 5, No. 4. — P. 187–201. — URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=80382>. — DOI: [10.4236/jbcpr.2017.54011](https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=80382). (дата обращения: 12.12.2025).
6. Wang Y., Li X., Zhang R. Research on Construction Planning for Bridge in Mountainous Area Based on GIS/BIM Virtual Construction Technology // E3S Web of Conferences. — 2022. — Vol. 356. — Art. 03021. — URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2022/23/e3sconf_roomvent2022_03021/e3sconf_roomvent2022_03021.html. — DOI: [10.1051/e3sconf/202235603021](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2022/23/e3sconf_roomvent2022_03021/e3sconf_roomvent2022_03021.html). (дата обращения: 12.12.2025).

7. Магомедов, М.М. Перспектива применения вантовых и висячих мостов в горной местности / М.М. Магомедов, И.Г. Овчинников // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. — 2021. — Т. 1. — С. 176–180. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50512067>. — EDN: [XOOMXM](#). (дата обращения: 12.12.2025).
8. Recent climate and hydrological changes in a mountain-basin system in Xinjiang, China / J. Yao, J. Chen, W. Mao [et al.] // Earth-Science Reviews. — 2022. — Vol. 226. — P. 103957. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222000411>. — DOI: [10.1016/j.earscirev.2022.103957](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103957). — EDN: [BILHNU](#). (дата обращения: 12.12.2025).
9. Cold and Wet Island Effect in Mountainous Areas: A Case Study of the Maxian Mountains, Northwest China / B. He, D. Shanguan, R. Wang [et al.] // Forests. — 2024. — Vol. 15, No. 9. — P. 1578. — URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/9/1578>. — DOI: [10.3390/f15091578](https://doi.org/10.3390/f15091578). — EDN: [PHXHIH](#). (дата обращения: 12.12.2025).
10. Магомедов, М.М. Сейсмоизолирующие опорные части на мостовых сооружениях в горной местности / М.М. Магомедов // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: Сборник научных статей, Гродно, 13–14 мая 2021 года. — Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2021. — С. 145–149. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46577667>. — EDN: [TADEQN](#). (дата обращения: 12.12.2025).
11. Wang Y., Li X., Zhang R., Zhang Y. Research on Construction Planning for Bridge in Mountainous Area Based on GIS/BIM Virtual Construction Technology // Buildings. — 2025. — Vol. 15, Iss. 8. — Art. 3249. — URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/18/3249>. — DOI: [10.3390/buildings15083249](https://doi.org/10.3390/buildings15083249). (дата обращения: 12.12.2025).
12. Обеспечение безопасности движения транспортных средств на мостовых переходах в сложных дорожных условиях / В.В. Старков, Б.Н. Карев, Н.А. Филатова [и др.] // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 4(51). — С. 242. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37845387>. — EDN: [LZUUDG](#). (дата обращения: 12.12.2025).
13. Дорохина, А.Д. Влияние габаритов мостовых сооружений на безопасность движения / А.Д. Дорохина // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2017. — № 2(12). — С. 10. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29425550>. — EDN: [YTXXFF](#). (дата обращения: 12.12.2025).
14. Ермаков, В.А. Технологические решения по разработке грунта при реализации технологии "сверху вниз" / В.А. Ермаков, Е.И. Белова // Строительство: наука и образование. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 23–32. — URL: <https://www.nso-journal.ru/jour/article/view/82>. — DOI: [10.22227/2305-5502.2022.4.2](https://doi.org/10.22227/2305-5502.2022.4.2). — EDN: [LRBGCV](#). (дата обращения: 12.12.2025).
15. Сидоренко, Т.А. Особенности разработки грунта в предгорье и горной местности / Т.А. Сидоренко // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе: Сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 23 мая 2024 года. — Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. — С. 366–370. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68540764>. — EDN: [DNMMBA](#). (дата обращения: 12.12.2025).

16. Комина, Е.Е. Обеспечение производственной безопасности при строительстве и реконструкции мостов / Е.Е. Комина // Вестник науки и образования. — 2021. — № 8-2(111). — С. 44–47. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393257>. — EDN: [PKGJQP](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393257). (дата обращения: 12.12.2025).
17. Impact protection of bridge piers against rockfall / S. He, Sh. Yan, Yu. Deng, W. Liu // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. — 2019. — Vol. 78, No. 4. — P. 2671–2680. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-018-1250-5>. — DOI: [10.1007/s10064-018-1250-5](https://doi.org/10.1007/s10064-018-1250-5). — EDN: [NACJWZ](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393257). (дата обращения: 12.12.2025).
18. Магомедов, М.М. Инженерная защита горных мостовых сооружений / М.М. Магомедов // Научные достижения высшей школы: сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 07 февраля 2022 года. — Петрозаводск: Международный центр научного партнерства "Новая Наука" (ИП Ивановская И.И.), 2022. — С. 31–35. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47953257>. — EDN: [NMKAWW](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47953257). (дата обращения: 12.12.2025).
19. Самаркин-Джарский, К.Г. Эффективность селезащитных мероприятий в пределах Краснополянского горнолыжного кластера города Сочи (Западный Кавказ) / К.Г. Самаркин-Джарский, Е.В. Дзаганя // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 6-й Международной конференции, Душанбе–Хорог, Таджикистан, 20–26 сентября 2021 года / Отв. редакторы С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. Том 1. — Душанбе–Хорог, Таджикистан: Общество с ограниченной ответственностью "Промоушн", 2020. — С. 517–529. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44651551>. — EDN: [IHHQKS](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44651551). (дата обращения: 12.12.2025).
20. Yang, M. Application of fiber Bragg grating sensing technology and physical model in bridge detection / M. Yang, H. Xu // Results in Physics. — 2023. — Vol. 54. — P. 107058. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379723008513>. — DOI: [10.1016/j.rinp.2023.107058](https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.107058). — EDN: [RJCIEU](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44651551). (дата обращения: 12.12.2025).
21. Сарвас, А.С. Защита от ветра при движении по мостовым сооружениям / А.С. Сарвас // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений: материалы II Международной студенческой конференции. Секция 1. Современные направления в проектировании и строительстве транспортных сооружений [Электронный ресурс]. — Минск: БНТУ, 2018. — С. 46–50. — URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/38396>. (дата обращения: 12.12.2025).

Vazenmiller Nikita Mikhailovich

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: vazenmiller02@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1132-3165>

Ovchinnikov Igor Georgievich

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru
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=57191523105>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7102605749>

Safety considerations during bridge construction in mountainous areas

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of specific risks and safety methods during the construction and operation of bridge structures in challenging mountainous terrain. The topic's relevance stems from the limited experience in transport infrastructure construction in this rapidly developing sector. Bridge structures in the mountains are subject to new developments and engineering solutions tailored to individual construction conditions.

The paper examines in detail the specifics of comprehensive safety management across three construction stages: design and site organization, construction, and operation. Specifically, an analysis of solutions for a unique new bridge in China across the Huajiang Canyon was conducted.

During the design phase, the need for a thorough site survey, specifically an analysis of natural and climatic conditions, is emphasized. Emphasis is placed on performing the necessary calculations for bridges in mountainous areas. Existing safety solutions are presented to minimize hazardous factors and incidents. Solutions for organizing a safe construction site are considered.

During the construction phase, potential hazards are analyzed, and engineering and innovative solutions are presented. During the operational phase, the importance of monitoring bridge structures in mountainous areas is discussed, particularly when protecting them from the effects of mountain winds. Measures to ensure safe bridge traffic are presented.

A conclusion is reached regarding the importance of ensuring the safety of bridges in mountainous areas as unique structures.

Keywords: construction of bridges in mountainous areas; safety during bridge construction; innovative technologies in bridge construction; virtual construction and BIM technologies; seismic safety of bridge structures; real-time bridge condition monitoring; the impact of climatic conditions on bridge stability; shock-resistant and mudflow-resistant structures