

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

2021, №2, Том 8 / 2021, N 2, Vol. 8 <https://t-s.today/issue-2-2021.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/12SATS221.pdf>

DOI: 10.15862/12SATS221 (<https://doi.org/10.15862/12SATS221>)

## Конструктивно-технологическое обоснование конструктивных решений горных мостовых сооружений

<sup>1</sup>Магомедов М.М., <sup>2</sup>Овчинников И.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Магомедов Мухтар Магомедович, e-mail: [magomedovmm751@mail.ru](mailto:magomedovmm751@mail.ru)

**Аннотация.** В статье проанализированы особенности конструктивных решений мостовых сооружений для горных условий. Отмечается, что горная местность характеризуется не только сложным пересеченным рельефом, но и протеканием в ней землетрясений и их генетических разновидностей: оползней, обвалов, камнепадов и пр. Также отмечается, что взаимодействие равнинных мостовых сооружений и окружающей среды является односторонним в то время, как горные мосты сами испытывают негативное влияние горной местности окружающей среды. В качестве примера горной местности рассматривается территория республики Дагестан. Исследуется проблема привязки мостовых сооружений к различным районам горной местности.

Отмечается особенность взаимодействия горных рек и мостовых переходов, а также влияние рек на конструктивное обоснование решений горных мостов. Рассматривается возможность применения каскадных систем урегулирования водного режима горных рек с целью рационального проектирования мостовых переходов с несколькими отверстиями. Приводятся разные варианты размещения

мостовых переходов относительно горных рек и описаны их особенности.

Рассмотрены и проанализированы существующие опорные части и деформационные швы с точки зрения пригодности их применения на горных мостовых сооружениях. Обосновывается необходимость применения сейсмоизолирующих деформационных швов и их влияние на условия проезда транспортных средств через мостовое сооружение во время землетрясения. Отмечается проблема применения дорожных одежд на горных мостовых сооружениях, описываются и анализируются самые распространенные конструкции дорожных одежд. Приводятся концепции «идеального» моста и их прикладное значение применительно к горной местности.

Рассмотренные в рамках данной статьи конструктивные и технологические решения позволят повысить эффективность мостовых сооружений в горных условиях.

**Ключевые слова:** горная местность; мостовые сооружения; стихийные процессы; дорожная одежда; конструктивное решение; деформационные швы; опорные части; подмыв опор; горные реки

## Constructive and technological substantiation of constructive solutions for mountain bridge structures

<sup>1</sup>Mukhtar M. Magomedov, <sup>2</sup>Igor G. Ovchinnikov

<sup>1</sup>Saratov State Technical University Named after Y. Gagarin, Saratov, Russia

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

**Corresponding author:** Mukhtar M. Magomedov, e-mail: magomedovmm751@mail.ru

**Abstract.** In this article structural concepts peculiarities of bridge structures for mountain conditions were analyzed. It is noted that the mountainous terrain is characterized not only by a complex broken rock but also by the course of earthquakes and their genetic varieties: landslides, avalanches, rockfalls, etc. It is also noted that the interaction of the plain bridge and the environment is one-sided, while mountainous bridges themselves are negatively influenced by the mountainous environment. The Republic of Dagestan territory is considered an example of mountainous terrain. The linking bridge structures problem to various mountainous terrain regions is investigated here.

The peculiarity of the mountain rivers and bridge crossings interaction is noted in this paper, as well as the influence of rivers on the constructive justification of the mountain bridges solutions. The possibility of using cascade systems for regulating the mountain rivers water regime for the rational bridge crossings design with several holes is considered. Various options for the bridge crossings placement relative to

mountain rivers are given as well as described their peculiarities.

Current support parts and expansion joints are considered and analyzed from the mountain bridge use on structures suitability point of view. The necessity of using seismic-insulating expansion joints and their influence on the conditions of vehicles passing through the bridge structure during an earthquake is substantiated here. The problem of using road pavements on mountain bridge structures is noted, the most common road pavements designs are described and analyzed. The concepts of the "ideal" bridge and their applied significance in relation to mountainous terrain are presented.

The constructive and technological solutions considered within the framework of this article will improve the bridge structure's efficiency in mountainous conditions.

**Keywords:** mountainous terrain; bridge structures; spontaneous processes; road pavement; constructive solution; expansion joints; supporting parts; supports underscoring; mountain rivers

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

Мостовое сооружение — это важный и ответственный элемент транспортной инфраструктуры, от состояния которого зависит безопасность пересечения различных препятствий, встречающихся на автомобильных дорогах. Препятствия могут быть разные: существующие автомобильные или железные дороги, жилые и промышленные объекты, реки и озера, глубокие овраги и ущелья, — последние являются характерной особенностью мостовых сооружений в горной местности.

Горной местностью, согласно определению технического справочника, является местность, находящаяся на абсолютной высоте 1000 м и более или имеющая пересеченный рельеф с относительными превышениями 500 м и более<sup>1</sup>. Она составляет порядка 30 % всей территории Российской Федерации. К ней относятся горные массивы Кавказа, Урала, Алтая, Крыма и др. Также и страны СНГ включают в свою территорию горные массивы.



*Рисунок 1. Хребет «Квартихунинский» в окрестности с. Чалда  
(источник: <https://welcomedagestan.ru/dagestan/gergebelskij/chalda/#&gid=null&pid=1>  
дата обращения (19.06.2021))*

*Figure 1. Ridge "Kvartikhuninskiy" in the vicinity of the village. Chalda  
(source: <https://welcomedagestan.ru/dagestan/gergebelskij/chalda/#&gid=null&pid=1>  
accessed date (19.06.2021))*

Как известно, горные системы являются результатом столкновения друг с другом тектонических плит. Очевидным свидетельством этому является резкий угол выступа пластов земной коры в горной местности (рисунок 1). Данный процесс хоть и протекает очень медленно, но является непрерывным и несет в себе большой разрушающий потенциал, который

---

<sup>1</sup> <https://official.academic.ru/12092> дата обращения (20.06.2021).

при столкновении тектонических плит выходит наружу, разрушая отдельные конструкции сооружений и зданий, а иногда и целиком сами эти сооружения и здания<sup>2,3</sup>.

Мостовые сооружения, применяемые в горной местности, например, на территории республики Дагестан, часто представлены каменными арочными конструкциями (рисунок 2).



*Рисунок 2. Арочный каменный мост в окрестности с. Батлаич (фото авторов)*

*Figure 2. Stone bridge in the vicinity of the village. Batlaich (photo by authors)*

Такие мосты хоть и обладают высокой прочностью и долговечностью, но обычно имеют малые величины пролета и высокую материалоемкость и являются наиболее уязвимыми для сейсмического воздействия вследствие своей малой податливости, о чем свидетельствуют данные о разрушениях транспортных сооружений после Дагестанского землетрясения в 1970 г. Следовательно, в горной местности необходимо применять эффективные конструкции мостовых сооружений с учетом возможности использования в них конструктивных и технологических решений, способствующих повышению безопасности и живучести мостов.

## 1. Анализ состояния проблемы

### 1. Analysis of the problem state

Сейсмическое воздействие на искусственные сооружения с древних времен до наших дней является острой проблемой из-за своей масштабности, катастрофичности и непредсказуемости. Землетрясения происходят ежедневно, но не всегда в разрушительных масштабах. По уровню активности землетрясений и их разрушающего фактора вся карта

<sup>2</sup> Шестоперов, Г.С. Сейсмостойкость мостов / Г.С. Шестоперов. — Москва М.: Транспорт, 1984. — 143 с.

<sup>3</sup> Шрепп, Б.В. Основы геотектоники: Учеб. пособие / Б.В. Шрепп, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова; Б.В. Шрепп, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова; М-во образования РФ. Новокузнец. фил.-ин-т Кемер. гос. ун-та. — Новокузнецк: Новокузнец. фил.-ин-т Кемер. гос. ун-та, 2003. — 59 с. — ISBN 5835302142.

мира разделена на несколько зон. В числе самых активных зон находятся горные массивы и территории, приуроченные к ним.

Протекающие в горной местности стихийные процессы во многом обусловлены сейсмической активностью пластов земной коры, на стыке которых и находятся горные массивы. Так, к примеру, разные генетические разновидности опасных геологических процессов (ОГП) на территории Северного Кавказа обусловлены ее расположением в зоне альпийской тектономагматической активизации Большого Кавказа. Их воздействие на экономику исчисляется миллиардами рублей. На данной территории на фоне выраженной дифференцированности напряженного состояния на постоянной основе возникают локальные очаги современных геодинамических процессов [1; 2].

При проектировании горных мостовых сооружений необходимо учитывать особенности гидрогеологических, аэродинамических условий горной местности, а также сейсмоактивность горной местности с ее вытекающими последствиями: камнепадами, оползнями, обвалами и пр. (рисунок 3). В противном случае, при неправильном проектировании горных мостовых сооружений учащаются аварии на них, которые порою становятся причиной гибели людей и животных, находящихся на мосту или в непосредственной близости от него, а также блокирования доступа к нескольким десяткам населенных пунктов горной местности и т. д.<sup>4</sup> [3; 4].



*Рисунок 3. Разрушение автодороги обвалом  
вблизи горы Ахульго, р. Дагестан (фото авторов)*

*Figure 3. The road structural failure by a landslide  
near Mount Akhulgo, Rep. Dagestan (photo by authors)*

Мосты, сооруженные на равнинной местности, отличаются от горных мостов одной важной особенностью: первые односторонне влияют на

---

<sup>4</sup> Аварии транспортных сооружений и их предупреждение: учебное пособие для магистрантов направления 08.04.01 «Строительство». Прикладная программа «Искусственные сооружения на транспорте, способы возведения и эксплуатации» / И.И. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников, И.С. Шатилов. — Чебоксары: ИД «Среда», 2020. — 216 с.

окружающую среду, тогда как стихийные факторы горной местности сами оказывают негативное влияние на горные мостовые сооружения. Поэтому мостовые сооружения в горной местности должны обладать бОльшим подмостовым габаритом, чем мосты на равнинной местности, т. е. должны иметь более высокие опоры и пролеты большей величины [5].

Необходимо отметить, что данная тематика активно изучается и за рубежом, о чем свидетельствуют работы [6–13].

## 2. Постановка цели

### 2. Objectives

Целью настоящей статьи является изучение особенностей взаимодействия мостовых сооружений и горной местности и анализ конструктивно-технологических решений горных мостов. В рамках статьи также рассмотрена особенность работы дорожных одежд на горных мостовых сооружениях и концепция «идеального» моста с их прикладным значением применительно к горной местности.

## 3. Конструктивные решения горных мостовых сооружений [14]

### 3. Structural concept for mountain bridge structures

Рассмотрим существующие конструктивные решения мостовых сооружений и проанализируем пригодность их для применения в горной местности. В современном мире существуют следующие основные конструктивные схемы мостов: балочно-разрезные, балочно-неразрезные, рамные, арочные, вантовые и висячие.

**Балочно-разрезные** мосты перекрывают одним отдельным пролетным строением один пролет и имеют следующие преимущества: малые температурные перемещения концов пролетных строений и отсутствие дополнительных усилий из-за возможной осадки опор вследствие статической определимости разрезной схемы. Недостатками являются неизбежная несимметричная передача усилий с пролетных строений на опоры; бОльшее количество деформационных швов, чем в балочно-неразрезных мостах, что снижает комфорт проезда по мосту транспортных средств и увеличивает количество болевых точек моста. Эти недостатки требуют сооружения опор с бОльшим поперечным сечением, чем в балочно-неразрезных мостах.

Также важным недостатком балочно-разрезных мостов является малая величина пролетов, которые позволяют перекрывать эти мосты. При

необходимости пересечь широкие и глубокие овраги и ущелья данная конструктивная схема требует разбивки на большее количество пролетов, чем в балочно-неразрезных мостах. Это приводит к увеличению количества промежуточных опор мостов с большим поперечным сечением вследствие их работы на внецентренное сжатие. Увеличение количества опор балочных мостов означает увеличение своего рода препятствий для продуктов стихийных процессов, протекающих в горной местности.

Следовательно, данная статическая схема мостовых сооружений в горной местности нерациональна за исключением случаев необходимости перекрытия узких ущелий и оврагов.

**Балочно-неразрезные мосты** имеют следующие преимущества: возможность перекрытия больших пролетов, значительное снижение усилий (разгрузка) из-за объединения нескольких пролетов в одну ветвь, центральная передача усилий с пролетных строений на опоры, значительно уменьшается количество деформационных швов, вследствие чего улучшается комфортность езды по мосту. Центральная передача нагрузки и разгрузка внутренних усилий снижают материалоемкость опор данной статической схемы. Может складываться ощущение, что данная конструктивная схема вовсе лишена недостатков, но это не так: на концах неразрезной ветви пролетных строений возникают большие температурные линейные перемещения; возникают дополнительные усилия при возможной осадке опор, что требует применения сложных и дорогих конструкций деформационных швов.



*Рисунок 4. Виадук через перевал Бреннер (источник:  
<https://vk.com/@mirinteresennet-europabrucke-bridge-most-evropy-pereval-brenner>  
дата обращения (20.06.2021))*

*Figure 4. Viaduct over the Brenner Pass (source:  
<https://vk.com/@mirinteresennet-europabrucke-bridge-most-evropy-pereval-brenner>  
accessed date (20.06.2021))*

Однако в современном мире, когда освоена технология сооружения опор на любых грунтах, возможная осадка опор не оказывает существенного влияния на работу неразрезного пролетного строения. К

тому же горная местность обычно характеризуется грунтами с высокими физико-механическими характеристиками<sup>5</sup>.

В качестве примера применения балочно-неразрезной конструктивной схемы можно привести виадук Бреннер, сооруженный в Германии. Основной пролет составляет 198 м, а высота опор — 181 м (рисунок 4).

**Арочные мосты** относятся к распорным системам, в опорных пятах которых возникают и вертикальные, и горизонтальные реакции при воздействии на конструкцию вертикальных нагрузок. Преимуществами данных мостов является возможность перекрытия весьма больших пролетов (до 500 м) за счет разгрузки усилий в арке, а также ее работа, в основном, на сжатие, что позволяет использовать бетон высокой прочности. По эстетическим характеристикам арочные мосты превалируют над балочными, но их конструкции сложны, а опоры массивны. В горной местности арочные мосты находят широкое применение, т. к. обычно обеспечивается необходимая прочность грунтов под массивные фундаменты арочных пят; арочные мосты легче вписываются в рельеф.

По расположению проезжей части относительно арки различают мосты с ездой поверху, посередине и понизу. В горной местности с точки зрения экономии выгодны мосты с ездой поверху (рисунок 5), т. к. длина арки в этом случае укорачивается вследствие сужения расстояния между пятами арки, по сравнению с арочными мостами с ездой посередине.



*Рисунок 5. Арочный мост с ездой поверху (источник: <http://fotokto.ru/photo/view/4430970.html> дата обращения (20.06.2021))*

*Figure 5. Archy bridge with roadway above (source: <http://fotokto.ru/photo/view/4430970.html> accessed date (20.06.2021))*

**Рамные мосты** отличаются от балочных тем, что опоры и ригели соединяются жестко, вследствие чего внутренние усилия в них распределяются иначе, чем в балочных мостах. В рамных мостах опоры

<sup>5</sup> Инженерные сооружения в транспортном строительстве. В 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. учреждений высш. образования / [П.М. Саламахин, Л.В. Маковский, В.И. Попов и др.]; под ред. П.М. Саламахина. — 3-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2014. — 352 с.



воспринимают не только продольные усилия, но и значительные изгибающие моменты, что требует их усиленного армирования. По статической схеме рамные мосты классифицируются аналогично арочным на 3-х шарнирные, 2-х шарнирные и бесшарнирные. Достоинства и недостатки каждого из этих конструктивных решений рамных и арочных мостов аналогичны.

Применяют рамные мосты с вертикальными или наклонными опорами (последние носят название «бегущая лань»). Мосты типа «бегущая лань» целесообразны в горной местности ввиду того, что наклонные опоры будут короче, чем вертикальные (рисунок 6). Это приводит к значительной экономии материалов<sup>5</sup>.



*Рисунок 6. Рамный мост типа «Бегущая Лань» (источник: [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php%3Ftitle%3DSfalassa\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php%3Ftitle%3DSfalassa_Bridge) дата обращения (20.06.2021))*

*Figure 6. Frame-type bridge of the "Running Doe" type (source: [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php%3Ftitle%3DSfalassa\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php%3Ftitle%3DSfalassa_Bridge) accessed date (20.06.2021))*

**Вантовые мосты** применяются при перекрытии гигантских (150–500 м) и супер гигантских пролетов (более 500 м) и очень целесообразны в горной местности. Данная система мостов требует очень прочных грунтов оснований, что и обеспечивается скальными породами горной местности; их можно разместить ближе к вершинам горных массивов, а в некоторых случаях — и над вершинами. В отличие от конструкций висячих мостов конструкции вантовых мостов легки, но менее сопротивляются аэродинамическим нагрузкам, а также перекрывают меньшие пролеты. Однако они более живучи и могут обеспечить безаварийный выезд транспортных средств с моста в случае обрыва вант (до 2–3 вант).



*Рисунок 7. Вантовый мост Hisgaura (источник: [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Hisgaura\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Hisgaura_Bridge) дата обращения (20.06.2021))*

*Figure 7. Hisgaura cable-stayed bridge (source: [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Hisgaura\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Hisgaura_Bridge) accessed date (20.06.2021))*

Примером применения вантового моста в горной местности является мост Hisgaura, который числится в числе самых высоких мостов мира (рисунок 7). Основной пролет составляет 330 м. Мостовое полотно этого моста «парит» в воздухе на высоте 135 м.

**Висячие мосты** являются рекордсменами по длине основного пролета среди всех остальных конструктивных решений мостов (рекорд составляет 1991 м). Данная система мостов требует, как и вантовых, весьма прочных грунтов оснований, что и обеспечивается скальными породами. Применение висячих и вантовых мостов сокращает расходы на устройство дорог для преодоления препятствий и расходы топлива транспортных средств за счет возможности пересечь глубокие горные ущелья и овраги по кратчайшей прямой линии в плане. Все это существенно влияет и на экономику того или иного государства, на территории которого находится такое большепролетное мостовое сооружение. В перспективе сооружение вантовых и висячих мостов даже выгоднее сооружения мостов других конструктивных решений, не смотря на, казалось бы, их высокую стоимость<sup>5</sup>.

## **4. Основания и фундаменты опор горных мостовых сооружений; влияние горных рек на конструктивные решения мостов**

### **4. Bases and foundations of mountain bridge structures support; the mountain rivers influence on the bridge structural concept**

Необходимо отметить, что конструктивные решения горных мостов назначаются не только исходя из геологических условий и особенностей

протекания стихийных процессов в горной местности, но и с учетом физико-механических характеристик грунтов района строительства мостового перехода.

Горная местность характеризуется сложным тектоническим строением. Проанализируем особенности структуры и распределения различных пород грунтов на примере территории республики Дагестан. Так, изгибы на ее территории обладают толщиной терригенных осадков мощностью до нескольких километров. Под чехлом терригенных пород залегают толщи известняков мелового возраста. А надвиговая зона сформировалась в результате образования пластов маломощных слоев песчаников и известняков. В силу своей слабости эти породы размывыты и перекрыты осадками антропогенеза. Также на формирование рельефа и распределение пород грунтов большое влияние оказала и гидрогеографическая деятельность. Поверхности близлежащих к водным массам террас сложены преимущественно крупнообломочным материалом с подчиненным значением песков и грунтов. На низменных участках Дагестана происходило развеивание отложений и накопление пыли, которая к современности стала лессовидными породами с мощностью в несколько десятков метров [15; 16].

Как видно из выше представленного анализа, геодинамические процессы, проходившие на территории республики Дагестан, привели к неоднородному распределению грунтов на ее различных участках. Следовательно, при проектировании фундаментов горных мостовых сооружений применяемые для них конструктивные решения будут отличаться в зависимости от расположения района строительства мостового перехода.

Как и пролетные строения, так и фундаменты и основания мостов также подвергаются негативному влиянию факторов горной местности, что выражается в особенном характере протекания водных масс в горной местности: ее реки обладают высокой скоростью, хаотичностью и неопределенностью. Значит, методы изысканий мостовых переходов, применяющиеся для равнинных рек, могут быть не столь эффективными по отношению к рекам в горной местности. Пренебрежение данным обстоятельством может привести к преждевременному выходу из строя моста вследствие размыва опор или подходной насыпи. Из-за того, что пролетные строения проектируют без учета особенностей той или иной горной реки, учащаются аварии на мостовых переходах [17; 18].

Для горных бурных рек возможно применение искусственного регулирования траекторий их течений путем строительства гидротехнических сооружений каскадной системы. В случае резкого увеличения расхода горных рек над критическим значением можно

рассмотреть вариант разделения одного русла на несколько русел, что приведет к уменьшению их расхода. Для последнего случая горные мосты можно рассмотреть с несколькими отверстиями с использованием подходных насыпей между отдельными мостовыми сооружениями. Также возможно совмещение искусственного регулирования горных рек с применением гидрогенераторов для электрообеспечения мостового перехода.

Горные мосты, как и равнинные, в зависимости от их расположения в плане относительно рек могут быть классифицированы следующим образом: вариант 1 — мосты, пересекающие реку под прямым углом; вариант 2 — мосты, пересекающие реку с косиной; вариант 3 — мосты, размещенные по пойменной части реки.

Вариант 1 пересекает горную реку в направлении, перпендикулярном ее течению. В этом случае на опоры мостов течение реки будет оказывать воздействие в поперечном к продольной оси моста направлении.

Вариант 2 используется в случаях, когда применение мостового перехода с прямым углом пересечения может оказаться невыгодным в экономическом плане или из-за существующей геологической и рельефной ситуации в районе мостового перехода. Данное решение уменьшит расход по направлению, нормальному к продольной оси моста, но течение реки будет действовать на опоры мостов под углом.

Применение 3 варианта возможно при наличии резких откосов горных массивов по одному или двум бортам горной реки. Такое же решение может быть применено и в случае пересечения глубоких ущелий. Данный вариант позволяет применить конструктивные решения с малой величиной пролетов.



**Рисунок 8.** Вариант размещения мостового перехода по пойменной части горной реки (источник: <https://mkala.mk.ru/economics/2019/12/03/most-v-gorakh-dagestana-oboydyotsya-v-47-mln.html> дата обращения (20.06.2021))

**Figure 8.** Placing option of a bridge crossing on the alluvial part of a mountain river (source: <https://mkala.mk.ru/economics/2019/12/03/most-v-gorakh-dagestana-oboydyotsya-v-47-mln.html> accessed date (20.06.2021))

Пример размещения на пойменной части реки мостового сооружения с балочными конструкциями небольших пролетов показан на рисунке 8.

## **5. Сейсмоизолирующие опорные части и деформационные швы**

### **5. Seismic isolating supports and expansion joints**

Сейсмостойкость является одной из болевых точек мостовых сооружений, особенно, большепролетных. Мосты в горной местности являются наиболее уязвимыми объектами сейсмического воздействия. Немалый потенциал разрушения, который включает в себе землетрясение, диктует необходимость применения на мостовых сооружениях устройств, обеспечивающих достаточную сейсмоизоляцию. Невозможность разъединения во время землетрясения опор и пролетных строений моста, по которому непосредственно происходит движение транспортных средств и пешеходов, побуждает к рассмотрению целесообразности применения на мостовых сооружениях в горной местности существующих решений опорных частей (ОЧ) и деформационных швов мостов (ДШ) [19].

В вопросе обеспечения сейсмостойкости мостов большое значение приобретают опорные части, которые являются звеньями, передающими сейсмическую энергию от опор на пролетные строения мостов, а также ДШ, которые обеспечивают безопасность перемещения торцов пролетных строений.

Землетрясение представляет собой разрушающую природную стихию с кинематической составляющей, но не силовой. Воздействие землетрясения на мостовое сооружение проявляется в виде перемещений фундамента и опор моста. Землетрясение может оказать крайне негативное динамическое воздействие на статически неопределимые конструктивные системы мостовых сооружений вследствие перемещений опор, как в вертикальном направлении, так и в горизонтальном<sup>6</sup>.

Сейсмические колебания существенно повреждают мостовые сооружения по причине того, что кинематические характеристики землетрясения, такие как ускорение, скорость и перемещения поверхности грунта многократно увеличиваются в силу резонансных явлений. Это приводит к многократному увеличению амплитуды колебаний в конструкциях мостового сооружения, больше всех подверженных сейсмическому воздействию, по сравнению с амплитудами колебаний грунта. При расчете мостовых сооружений на сейсмическое воздействие во

---

<sup>6</sup> Курбацкий, Е.Н. Сейсмоизолирующие устройства для мостов: учеб. пособие / Е.Н. Курбацкий. — Москва — М.: МИИТ, 2010. — 73 с.

внимание принимают следующие характеристики движения грунта: пиковые значения ускорения, скорости и перемещения; продолжительность землетрясения; спектр частот колебаний грунта. Все эти характеристики оказывают существенное влияние на реакцию сооружений на землетрясение [20].

В современном мире для расчета сооружений на сейсмостойкость повсеместное распространение получил метод спектров ответов, предложенный в 1926 году японским ученым Суехиро. Данный метод на основе имеющихся данных о поведении сооружений во время землетрясений показывает, что увеличение периода собственных колебаний сооружений хоть и приводит к снижению пиковых значений ускорений, но увеличивает амплитуды перемещений. Также было выявлено, что увеличение коэффициента демпфирования приводит к снижению как пиковых значений ускорений, так и пиковых значений перемещений. А это означает, что для защиты большепролетных мостовых сооружений от неблагоприятного сейсмического воздействия необходимо заменить обычные ОЧ на сейсмоизолирующие ОЧ, обладающие коэффициентом демпфирования в 5 и 10 раз больше, чем обычные<sup>7</sup>.

Рассмотрим существующие виды опорных частей мостовых сооружений и проанализируем целесообразность их применения на горных большепролетных мостовых сооружениях. Существует несколько основных типов сейсмоизолирующих опорных частей, получивших наибольшее распространение на практике: (1) резинометаллические (эластомерные) опорные части (РОЧ); (2) опорные части скольжения.

Первые подразделяются еще на 3 подвида: (1) РОЧ из натуральной и синтетической резины с малым коэффициентом демпфирования; (2) РОЧ из натуральной резины с большим коэффициентом демпфирования (3) РОЧ из натуральной резины со свинцовым стержнем. По форме эти ОЧ подразделяют на цилиндрические и прямоугольные РОЧ из натуральной или синтетической резины.

Опорные части скольжения подразделяются на плоские и сферические опорные части<sup>8</sup>.

РОЧ с малым коэффициентом демпфирования (всего 2–3 %) характеризуются линейной зависимостью перемещений от силы при сдвиге до 100 % и более. Данный вид опорных частей применяют для опирания

---

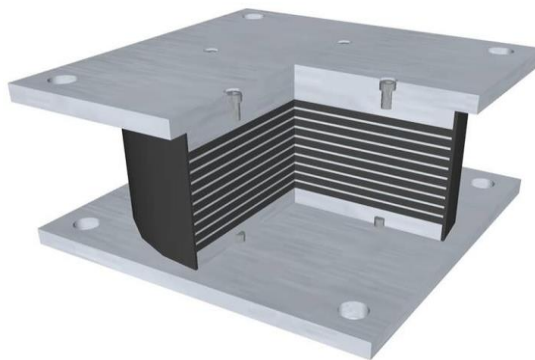
<sup>7</sup> Уздин, А.М. Развитие теории сейсмостойкости мостов и других инженерных сооружений с учетом динамического взаимодействия фундамента с основанием: специальность 05.23.1505.23.02 "Основания и фундаменты, подземные сооружения": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Уздин Александр Моисеевич. — Санкт-Петербург, 1992. — 51 с.

<sup>8</sup> Современные конструкции опорных частей автодорожных мостов: учеб. пособие / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, И.В. Алексеенко и др. — Саратов: СГТУ, 2004. — 130 с.

пролетных строений длиной до 30 м. Применительно к горным мостовым сооружениям этот вид опорных частей не нашел широкого применения из-за ограничений по пролету и малому коэффициенту демпфирования. Из-за недостаточного демпфирования при использовании этих РОЧ необходимо предусмотреть установку дополнительных сейсмоизолирующих устройств.

РОЧ с высоким коэффициентом демпфирования (10–20 %) характеризуются линейной зависимостью перемещений от силы при сдвиге до 200–350 % и более. Особенностью таких опорных частей является то, что их жесткость и демпфирующие свойства зависят от предшествующих нагрузок<sup>6</sup>.

Рассмотрим РОЧ с высоким демпфированием LASTO ®HDRB фирмы «mageba» (рисунок 9). Конструкция представляет собой круглые в плане слои резины и металлические пластины. При обычных нагрузках данный вид РОЧ работает аналогично обычным опорным частям, а при сейсмическом воздействии гасит энергию за счет деформаций и выделения тепла. Данные РОЧ были использованы при реконструкции моста Martigny в Швейцарии, а также при строительстве моста Bach Dang Bridge во Вьетнаме.



**Рисунок 9.** Схема РОЧ LASTO ®HDRB (источник: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Industry/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm> дата обращения (20.06.2021))

**Figure 9.** Scheme of ROCH LASTO ®HDRB (source: <https://www.mageba-group.com/ru/ru/1026/Industry/Seismic-devices/LASTO-HDRB/Detail.htm> accessed date (20.06.2021))

РОЧ со свинцовым стержнем были изобретены в 1975 г. в Новой Зеландии и получили широкое применение во многих странах мира. Деформации сдвига обеспечиваются до 125–200 %. Главное отличие данного вида РОЧ состоит в применении впрессованного в опорную часть свинцового стержня, который рассеивает энергию благодаря свойству текучести свинца. Важным преимуществом свинцового стержня является отсутствие усталостных явлений, так как свинец перекристаллизовывается при нормальной температуре. Данный вид РОЧ является эффективным

диссипатором энергии и используется как для повышения сейсмостойкости старых мостов, так и при строительстве новых [21].

Одними из распространенных решений сейсмоизолирующих опорных частей являются *фрикционные опорные части*. Диссипация сейсмической энергии в таких опорных частях происходит за счет работы силы трения и выделения тепла в окружающую среду. Их несомненным преимуществом является возможность уменьшения пиковых значений перемещений колебаний в широком диапазоне частот. Следует отметить значимый недостаток фрикционных опорных частей, заключающийся в том, что после землетрясения пролетное строение не принимает свое первоначальное положение; также укажем на непредсказуемость величины реакции. Следовательно, с фрикционными опорными частями необходимо дополнительно установить упругие элементы, которые возвращают пролетное строение в первоначальное положение.

Описанный выше недостаток фрикционных опорных частей был устранен созданием фрикционно-маятниковых опорных частей. Они представляют собой два тела, соприкасающихся по сферическим поверхностям одинакового радиуса. Применяют опорные части с вогнутостью вниз или вверх, но предпочтение отдается опорным частям с вогнутостью вниз в целях уменьшения загрязнения. Горизонтальные колебания пролетного строения маятниковые опорные части воспринимают скольжением поверхностей двух тел относительно друг друга. После землетрясения данный вид опорных частей возвращает пролетное строение в первоначальное местоположение за счет перехода кинетической энергии в потенциальную. При необходимости увеличения демпфирующих свойств этих опорных частей наносят слой, увеличивающий силу трения между поверхностями скользящих тел. Сила трения находится в диапазоне 5–35 %<sup>6</sup>.

Важным преимуществом фрикционных маятниковых опорных частей является их высокая несущая способность (до 130000 кН), что позволяет применять их для горных большепролетных мостов.

Рассмотрим еще один вид фрикционных опорных частей — *фрикционно-подвижное болтовое соединение* (ФПС), которое было предложено в НИИ мостов ЛИИЖТа в 1980 г. ФПС представляют собой соединения металлоконструкций высокопрочными болтами, которые располагаются в овальных отверстиях. Овалы выполняют вдоль возможного направления действия сейсмических нагрузок. Во время землетрясения происходит взаимная сдвигка соединяемых деталей на величину 3–4 диаметров высокопрочных болтов.

Рассмотрим предложенную авторами [23] конструкцию опорного устройства моста с применением ФПС. Сейсмоизолирующий элемент



выполняют в виде упругого столика из стальных стержней и пакета стальных листов, соединяемых ФПС. Главной особенностью данной конструкции является передача вертикальной нагрузки на подвижную опорную часть и горизонтальной нагрузки на сейсмоизолирующий элемент. При этом сила трения в ФПС не превосходит критической нагрузки на опору и столик. Авторы [23] проанализировали сейсмостойкость данной конструкции при воздействии максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Результаты расчета показывают, что принятая конструкция обеспечивает сохранность опор и предотвращает сброс пролетного строения с опор. По предлагаемой авторами методике и с использованием предлагаемой конструкции опорной части с применением ФПС было построено более 100 мостовых опор в г. Сочи.

Рассмотрим более подробно особенности применения деформационных швов на горных мостовых сооружениях и проанализируем современные решения ДШ. Деформационные швы (ДШ) — это конструкции, которые обеспечивают плавный переход транспортных средств с одного пролетного строения на другое или на подходные насыпи. Именно они воспринимают линейные и угловые перемещения торцов пролетных строений от температурных воздействий и различных нагрузок<sup>9</sup> [24]. Помимо своего главного предназначения ДШ должны обеспечивать защиту пролетных строений и нижерасположенных опор от агрессивного воздействия окружающей среды. К тому же, они вместе с проезжей частью в зимнее время могут подвергаться антигололедной обработке специальными химикатами, основанными на хлоридах. Как показывает опыт большинства стран Западной Европы, данная химическая обработка проезжей части в зимнее время крайне негативно влияет на долговечность ДШ, от сохранности которых и зависит долговечность самих пролетных строений. То есть правильный выбор ДШ, и их эксплуатация во многом определяют долговечность всего мостового сооружения [23].

ДШ являются одной из болевых точек мостовых сооружений и, как было выше сказано, от них зависит долговечность мостового сооружения. Следовательно, при прочих равных условиях для мостового сооружения необходимо подобрать такое конструктивное решение ДШ, при котором количество ДШ будет сведено к минимуму с учетом экономических и других показателей [25].

Необходимо отметить, что надежная защита мостового сооружения от сейсмического воздействия зависит не только от применения эффективных сейсмоизолирующих ОЧ, но и соответствующих решений ДШ. Эти решения

---

<sup>9</sup> Деформационные швы автодорожных мостов: Учеб. пособие: [Для студентов, обучающихся по спец. 291100 "Мосты и трансп. тоннели" и 291000 "Стр-во автомоб. дорог и аэродромов"] / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, В.Н. Макаров, Б.С. Кисин; М-во образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. акад. — Волгоград: Волг-ГАСА, 2003. — ISBN 5982760102.

должны обеспечить во время землетрясения безопасность проезда транспортных средств и передвижения пешеходов с одного пролетного строения на другое. Кроме того, они должны обеспечить перемещения пролетных строений не только от температурного воздействия или от временной нагрузки в виде проезжающих по ним транспортных средств, но и от сейсмической нагрузки.

Как уже говорилось, горная местность ввиду ее негативного влияния на транспортные сооружения диктует необходимость применения балочно-неразрезных, арочных, рамных, вантовых и висячих мостов. В отличие от мало пролетных балочных мостов, данные статические схемы мостов характеризуются тем, что количество ДШ в них сведено к минимуму. Но вместе с этим ввиду большей величины пролетов мостов данных конструктивных решений, линейные перемещения от температуры будут больше, чем в мало пролетных мостовых сооружениях.

Подытоживая вышесказанное, отметим, что деформационные швы на горных мостовых сооружениях должны обеспечивать широкий диапазон перемещений.

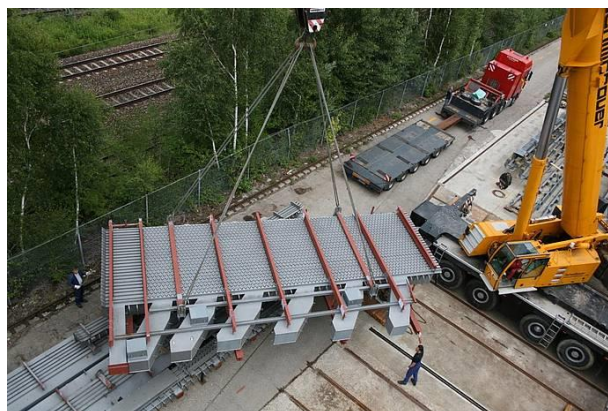
Рассмотрим различные виды деформационных швов и проанализируем целесообразность их применения на горных большепролетных мостовых сооружениях. В качестве примера будем рассматривать деформационные швы компании Maurer Sohne, которая является мировым брендом в области создания деформационных швов, опорных частей и других конструкций с повышенной сейсмостойкостью. В зависимости от количества компенсаторов, используемых для перекрытия зазора между пролетными строениями, ДШ подразделяются на несколько видов: (1) однопрофильные деформационные швы; (2) модульные деформационные швы. Последние подразделяются еще на 2 подвида: (1) балочно-решетчатый деформационный шов; (2) деформационный шов с поворотными траверсами. По характеристике работы деформационные швы подразделяются на деформационные швы с модульной системой и деформационные швы с блоками предохранителей (Fuse Box). Последние подразумевают конструкции с заданным местом разрушения во время землетрясения<sup>10</sup>.

Как показывает практика, недостатками однопрофильных и балочно-решетчатых ДШ являются потеря упругих свойств компенсаторов от агрессивного атмосферного воздействия, образование трещин из-за попадания в них мелких твердых частиц, а также потеря герметичности ДШ от развития трещин [23].

---

<sup>10</sup> <https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/avtodorozhnykh-mostov/index.html> дата обращения (20.06.2021).

При необходимости обеспечения еще большего диапазона продольных перемещений применяют ДШ с поворотными траверсами. Данный ДШ применяют при сложных перемещениях, когда благодаря свободным перемещениям каждого отдельного модуля обеспечивается общее перемещение в продольном и поперечном направлении от 160 мм до 1200 мм и более.



**Рисунок 10.** Деформационные швы с поворотными траверсами  
(источник: <https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/avtodorozhnykh-mostov/index.htm>  
дата обращения (20.06.2021))

**Figure 10.** Expansion joints with swiveling frame (source:  
<https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/avtodorozhnykh-mostov/index.htm>  
accessed date (20.06.2021))



**Рисунок 11.** Деформационный шов Fuse Box с заданным местом разрушения  
(источник: <https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/seismostoikie-shvy/index.html>  
дата обращения (20.06.2021))

**Figure 11.** Fuse Box expansion joint with a predetermined trouble spot (source:  
<https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/seismostoikie-shvy/index.html> accessed date  
(20.06.2021))

Но, несмотря на все преимущества выше рассмотренных видов ДШ, в сейсмически активных зонах применяют ДШ с поворотными траверсами типа DS (рисунок 10) и с заданным местом разрушения Fuse Box (рисунок 11). Последние позволяют более экономичное исполнение ДШ. Данные

конструкции воспринимают перемещения от сейсмических нагрузок либо с помощью модульной системы, либо блоками предохранителей. Благодаря очень широкому диапазону перемещений (от 3 м и более) повреждение мостового сооружения ограничивается или вовсе исключается. Следует отметить, что и после землетрясения данные ДШ позволяют безопасно проезжать через них.

ДШ с поворотными траверсами типа DS был использован на уникальном мосту Рион-Антирион, пересекающем Коринфский залив в Греции. Мост находится в сейсмически опасной зоне и на очень слабых грунтах. Помимо этого, сложность заключалась еще в том, что из-за движения тектонических плит расстояние между Пелопоннесом и материковой Грецией увеличивается на 30 мм в год. Мостовое сооружение имеет возможность раздвигаться на 35 мм в год<sup>11</sup>.

## **6. Дорожная одежда на горных мостовых сооружениях**

### **6. Road pavement on mountain bridges**

Наряду с деформационными швами большое влияние на долговечность горных мостовых сооружений оказывает и дорожная одежда. Одной из функций дорожной одежды на мостовом сооружении является изоляция пролетного строения от негативного воздействия агрессивных компонентов окружающей среды. Если дорожная одежда на подходной насыпи может пропускать воду через свои слои в тело подходной насыпи, то на мостовом сооружении дорожная одежда должна быть непроницаемой, в противном случае, это приведет к коррозии пролетного строения и к снижению долговечности моста. Следовательно, функцию гидроизоляции дорожная одежда должна обеспечивать за счет ее конструктивных решений. В этом и заключается главное отличие дорожных одежд на мостовом сооружении и на подходных насыпях. А значит, применение одних и тех же предпосылок при проектировании дорожной одежды в обоих этих случаях не является правильным [23].

Также необходимо отметить разный характер распределения температурного поля в подходных насыпях и мостовом сооружении. Ведь, к примеру, в холодный период года подходная насыпь служит дорожной одежде неким «теплым» основанием, а в пролетном строении температурные показатели значительно снижаются из-за того, что пролетное строение взаимодействует непосредственно с воздушной средой, температурные показатели которой значительно меньше, чем у подходной

<sup>11</sup> <https://www.maurer.eu/ru/produkcija/def-shvy/avtodorozhnykh-mostov/index.html> дата обращения (20.06.2021).

насыпи. Это приводит к образованию наледи на мостовом полотне в зимнее время, и пренебрежение этим фактом может привести к авариям на мостовом сооружении из-за резкого изменения величины коэффициента трения колес транспортных средств при переезде с подходной насыпи на пролетное строение. На характер распределения температурного поля воздушной среды может оказать влияние и фактор увеличения скорости движения воздушных потоков через ущелья. Это должно учитываться при эксплуатации горного мостового сооружения, возведенного через узкие ущелья и овраги.

Температура дорожной одежды определяет еще и характер работы одежды на мостовом сооружении: при отрицательной температуре дорожная одежда работает упруго, а при положительной — пластично. Значит, с учетом вышеописанной особенности распределения температуры дорожные одежды на подходных насыпях и на мостовом сооружении будут деформироваться по-разному, даже если для них применить одно и то же конструктивное решение с одними и теми же материалами [26].

Дорожные одежды на подходных насыпях и непосредственно на самом мостовом сооружении отличаются не только по характеру работы при различной температуре, но и по жесткостным и прочностным характеристикам оснований под ними. Плита проезжей части моста работает на восприятие нагрузки от движущегося транспорта и деформируется между главными балками. Большие деформации плиты приводят к образованию трещин в дорожной одежде, находящейся непосредственно на участке действия отрицательного изгибающего момента, а именно, над стенками главных балок и продольных ребер (в случае ортотропной плиты). Значит, дорожная одежда, укладываемая на мостовые сооружения с действием отрицательных изгибающих моментов, должна обладать высокими не только прочностными, но и деформационными характеристиками.

Мостовые сооружения в горной местности, как было уже сказано, предпочтительно должны быть большепролетными. Следовательно, при применении большепролетных конструктивных решений для горных мостов необходимо учесть и характер распределения знакопеременных внутренних усилий в пролетных строениях и выбрать конструкцию дорожной одежды с соответствующими характеристиками.

Рассмотрим распространенные виды конструкций дорожных одежд и проанализируем пригодность их применения на горных мостах, как сооружениях с действием значительных отрицательных изгибающих моментов ввиду своей большепролетности. Долгое время в качестве дорожной одежды свое применение находил плотный асфальтобетон. Но опыт эксплуатации мостовых сооружений показал, что срок службы

данного типа асфальтобетона составляет всего 3–5 лет ввиду недостаточной прочности и водопроницаемости. Нарушения выявлялись в виде появления продольных трещин в дорожной одежде и в нарушении сцепления между ее слоями. В связи с неудовлетворенностью работы плотного асфальтобетона на мостах стали применяться более современные типы дорожных одежд — литой полимер асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА).

Литой полимерасфальтобетон обладает высокой прочностью на восприятие растягивающих усилий при изгибе. Его предел прочности на растяжение при изгибе равен 5,6 МПа, в то время как у плотного асфальтобетона данный показатель варьируется от 0,8 до 1,5 МПа. Это позволяет уменьшить толщину дорожной одежды до 70–80 мм. Помимо своей высокой прочности литой полимерасфальтобетон обладает и хорошими гидроизоляционными свойствами из-за практически нулевой водопроницаемости. Для повышения шероховатости в верхний слой из литого полимерасфальтобетона нужно обязательно втапливать очерненный щебень. Попытки применять литой асфальтобетон в качестве нижнего слоя дорожной одежды с устройством верхнего слоя из уплотняемого горячего асфальтобетона ни к чему хорошему не приводят, так как этот типа асфальтобетона водопроницаемый и вода, попадая в него, может замерзнуть при низких температурах, вызывая разрушения этого слоя. Кроме того из-за уплотняемости этого слоя возникает проблема организации хорошего сопряжения дорожной одежды с деформационными швами.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) получил широкое распространение в качестве материала для дорожной одежды на автомобильных дорогах. Он обладает довольно высокой прочностью и шероховатостью, однако его водопроницаемость составляет 2–4 %, то есть он пропускает воду, накапливая её и разрушаясь при замораживании. Кроме того, ЩМА плохо работает на растяжение, и потому имеются примеры образования трещин в верхнем слое из ЩМА на мостовых сооружениях в зоне отрицательных изгибающих моментов (на первой очереди вантового Обуховского моста через Неву в Санкт Петербурге пришлось снять фрезой верхний слой из ЩМА и заменить его на слой из литого асфальтобетона). Следовательно применение ЩМА для устройства дорожной одежды на мостах не только ничем не обосновано, но даже и вредно с инженерной точки зрения.

Самой эффективной конструкцией дорожной одежды на мостах является применение двух слоев из литого полимерасфальтобетона с условием посыпки верхнего слоя черным щебнем с фракцией 15–20 мм для увеличения сцепления. Увеличение сцепления дорожной одежды особенно важно для горных мостовых сооружений, так как его снижение может привести к увеличению количества аварий. В случае воздействия больших

отрицательных изгибающих моментов на пролетное строение возможно применение и трехслойной дорожной одежды [26–28].

## **7. Концепции «идеального» моста и их прикладное значение для горных мостовых сооружений**

### **7. The concept of "ideal" bridge and their applied significance for mountain bridge structures**

Понятие «идеальный» мост — весьма условное и может трактоваться по-разному. Но одним из интересных, перспективных и прикладных являются следующие две концепции, определяемые авторами [29] в своей работе: (1) идеальный мост — это мост, все конструктивные элементы которого имеют одинаковую долговечность и одинаковую скорость деградации; (2) идеальный мост — это мост, каждый конструктивный элемент которого обладает долговечностью большей, чем у вышерасположенных элементов. В первом случае, для мостового сооружения с реализованной на нем данной концепции возможность ремонта исключается до выработки им своего жизненного цикла. Во втором случае, возможный ремонт того или иного конструктивного элемента не будет сопровождаться принятием мер для «временной» изоляции вышерасположенных элементов, как это часто случается на практике, например, при замене опорных частей с поднятием пролетного строения. Это приводит к повреждениям пролетного строения, а в некоторых случаях — и к его разрушению. Согласно данной концепции конструктивным элементом с наибольшей долговечностью будет фундамент, а с наименьшей долговечностью — дорожная одежда и другие элементы мостового полотна.

Предлагается немного видоизменить формулировку второй концепции: нижележащие конструктивные элементы должны иметь долговечность, большую, чем у вышерасположенных, и кратную величине долговечности последних. Так, если опорные части имеют долговечность 40 лет, а пролетные строения — 20 лет, то после исчерпания ресурса последних и их замены на новые, в запасе ОЧ останется ресурс, равный ресурсу новых пролетных строений. Также возможно комбинированное применение вышеперечисленных концепций в одном мостовом сооружении.

Преимущество применения вышеописанных концепций лучше всего обосновывается для горных мостов, как сооружений, находящихся в районах со сложными геологическими условиями. Для мостовых сооружений, пересекающих горные ущелья или реки по кривой в плане, возможность ремонта ОЧ с одновременным поднятием пролетного строения

вовсе исключается, потому как смещение центра тяжести пролетного строения относительно мест приложения усилий домкратов будет настолько велико, что пролетное строение может опрокинуться за счет возникновения крутящего момента.

## Заключение

### Conclusion

Выше проведенный анализ показывает, что проблема обоснования конструктивных решений горных мостовых сооружений заключается не только в необходимости обеспечения проезда по сложному сильнопересеченному рельефу, но и в изолировании самого мостового сооружения от негативного воздействия окружающей среды. Последнее может выражаться как непосредственно сейсмической активностью, так и ее генетическими разновидностями: камнепадами, обвалами, оползневыми процессами, селями. Следовательно, при разработке проектов горных мостовых сооружений необходимо применять комплексный подход, учитывающий совокупность действия различных факторов окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Караев Ю.И.** Влияние опасных экзогенных геологических процессов на высоконапорные ГЭС (на примере Зарамагских ГЭС, РСО-Алания) / Ю.И. Караев // Геология и геофизика Юга России. — 2013. — № 4. — С. 23–33. — URL: <http://geosouth.ru/article/view/507> (дата обращения: 01.05.2021).
2. **Магомедов Р.А.** Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа / Р.А. Магомедов. — DOI <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.72.56.006> // Геология и геофизика Юга России. — 2021. — Т 11, № 1. — С. 69–80. — URL: <http://geosouth.ru/article/view/642> (дата обращения: 01.05.2021).
3. **Бычковский Н.Н.** Проблемы проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции транспортных сооружений и пути их решения. Часть 1 / Н.Н. Бычковский. — Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2008. — 810 с.
4. **Николов В.А.** Проблемы безопасности движения на горных дорогах / В.А. Николов, А.Л. Кортиев // Abstracts of III International Scientific and Practical Conference «Innovative development of science and education», Athens, Greece 24–26 May 2020 / Афины: ISGT Publishing House, 2020. — С. 196–201. — URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/INNOVATIVE-DEVELOPMENT-OF-SCIENCE-AND-EDUCATION-24-26.05.20.pdf> (дата обращения: 10.05.2021).



5. **Кортиев Л.И.** Особенности взаимодействия дорожно-транспортного комплекса и природной среды в горных условиях и оценка риска природного и техногенного характера при чрезвычайных ситуациях / Л.И. Кортиев, А.Л. Кортиев // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2009. — Т 5, № 3. — С. 27–33. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11837534> (дата обращения: 10.05.2021).
6. Concrete Construction Engineering Handbook. 2nd Edition / Под ред. Edward G. Nawy. — Нью-Йорк: CRC Press, 2008. — 1586 с.
7. Prestressed Concrete: A Fundamental Approach. 5th Edition / Под ред. Edward G. Nawy. — Нью-Йорк: Prentice Hall, 2005. — 984 с.
8. **Priestley M.J.N.** Seismic Design and Retrofit of Bridges / M.J.N. Priestley, F. Seible, G.M. Calvi. — Нью-Йорк: John Wiley & Sons, 1996. — 704 с.
9. **Hagiwaza R.** Earthquake Ground Motion Characteristics, Proceedings, 1-st Japan-Italy Workshop on Seismic Design of Bridges / R. Hagiwaza. — Цукуба: Public Works Research Institute, 1995.
10. **Sawires R.** Earthquake Engineering — From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures / R. Sawires, J.A. Peláez, R.E. Fat-Helbary [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.5772/58499>. — Риека: Intech, 2015. — 408 с. — URL: <https://www.intechopen.com/books/earthquake-engineering-from-engineering-seismology-to-optimal-seismic-design-of-engineering-structures> (дата обращения: 10.05.2021).
11. The Seismic Design Handbook. 2-nd edition / Под ред. Naeim F. — Нью-Йорк: Springer Science, 2001. — 848 с.
12. Bridge Engineering Handbook: Seismic Design. 2nd Edition / Под ред. Chen W.F., Duan L. — Нью-Йорк: CRC Press, 2014. — 740 с.
13. Structural Bridge Engineering / Под ред. Shahidan S. — DOI <https://doi.org/10.5772/61683>. — Риека: InTechOpen, 2016. — 198 с. — URL: <https://www.intechopen.com/books/structural-bridge-engineering> (дата обращения: 14.05.2021).
14. **Магомедов М.М.** Конструктивные решения мостов в горной местности / М.М. Магомедов // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений: сб. статей / Минск: БНТУ, 2020. — С. 18–28.
15. **Погорелов А.В.** О взглядах на орографию и геоморфологическое районирование Большого Кавказа / А.В. Погорелов, П.Б. Нетребин // Географические исследования Краснодарского края: Сборник научных трудов / Ответственный редактор А.В. Погорелов Краснодар: КубГУ, 2011. — С. 7–20. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22685935> (дата обращения: 18.05.2021).
16. **Идрисов И.А.** Особенности формирования рельефа Северного Дагестана / И.А. Идрисов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. — 2011. — № 2. — С. 102–107. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16913923> (дата обращения: 18.05.2021).

17. **Осипова Т.В.** Проектирование опор мостового перехода с учетом формирования местного размыва / Т.В. Осипова, Д.Е. Осипов // Техника и технология транспорта. — 2019. — № S(11). — С. 16. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38206108> (дата обращения: 18.05.2021).
18. **Довгелюк Н.В.** Исследование влияния различных факторов на величину размыва русла под мостом / Н.В. Довгелюк, Д.Н. Добровольский, М.А. Масловская // Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного архитектора РФ В.Н. Городкова, Брянск, 12–13 марта 2014 года / Брянск: БГИТУ, 2014. — С. 278–280. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27558025> (дата обращения: 18.05.2021).
19. **Шекербеков У.Т.** Сейсмостойкость конструкций балочных мостов / У.Т. Шекербеков, Н.А. Осмонканов // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. — 2014. — № 1. — С. 170–173. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24282382> (дата обращения: 18.05.2021).
20. **Апсеметов М.Ч.** Некоторые вопросы о собственных колебаниях конструкций при сейсмоизоляции сооружений / М.Ч. Апсеметов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2017. — № 6. — С. 44–49. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32244279> (дата обращения: 18.05.2021).
21. **Омаров Х.М.** Оптимальные параметры систем активной сейсмозащиты сооружений с резинометаллическими опорами / Х.М. Омаров. — Махачкала: Типография Алеф, 2018. — 210 с. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35390109> (дата обращения: 20.05.2021).
22. **Кузнецова И.О.** Применение фрикционно-подвижных болтовых соединений для обеспечения сейсмостойкости строительных конструкций мостов и других сооружений / И.О. Кузнецова, С.С. Ваничева, М.В. Фрезе [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2016. — Т 13, № 3. — С. 353–360. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27258545> (дата обращения: 20.05.2021).
23. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания: научно-техническое издание / И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров [и др.]. — Под ред. И.Г. Овчинникова. — Саратов: Кубик, 2014. — 504 с.
24. **Алексеев С.В.** Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов / С.В. Алексеев, В.А. Трепалин, С.М. Шевченко, А.А. Трифонова // Путьевой навигатор. — 2020. — № 43. — С. 3. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43158634> (дата обращения: 20.05.2021).
25. **Ефанов А.В.** Статический и динамический расчет деформационных швов автодорожных мостов / А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2006. — № 6. — С. 102–106. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13010669> (дата обращения: 20.05.2021).

26. **Овчинников И.Г.** Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Интернет-журнал «Наукоеведение». — 2014. — Т 6, № 5. — С. 37КО514. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/37KO514.pdf> (дата обращения: 20.05.2021).
27. **Тазетдинов А.А.** Применение литого полимерного асфальтобетона для устройства дорожных одежд на мостах: преимущества, недостатки, особенности приготовления, транспортировки, укладки. Опыт применения / А.А. Тазетдинов // Техника и технология транспорта. — 2019. — № S(11). — С. 41. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38206133> (дата обращения: 20.05.2021).
28. **Кочетков А.В.** Анализ и оценка риска потери устойчивости автомобиля на радиусе закругления съезда для определения обеспеченной скорости движения / А.В. Кочетков, Н.В. Щеголева, В.Ю. Задворнов [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.15862/08SATS318> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2018. — Т 5, № 3. — URL: <https://t-s.today/PDF/08SATS318.pdf> (дата обращения: 20.05.2021).
29. **Овчинников И.Г.** Экологически рациональное проектирование мостовых сооружений как один из факторов устойчивого развития региона / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Каспий в цифровую эпоху: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках Международного научного форума «Каспий 2021: пути устойчивого развития», Астрахань, 27 мая 2021 года / Астраханский государственный университет Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. — С. 587–592.

---

**Сведения об авторах:**

**Магомедов Мухтар Магомедович** — магистрант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия, e-mail: [magomedovmm751@mail.ru](mailto:magomedovmm751@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0049-3410>

**Овчинников Игорь Георгиевич** — доктор технических наук, профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, e-mail: [bridgesar@mail.ru](mailto:bridgesar@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=2922](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922)  
Publons: <https://publons.com/researcher/2611921/igor-g-ovchinnikov/>

---

Статья получена: 16.06.2021. Принята к публикации: 04.07.2021. Опубликована онлайн: 18.07.2021.

*Грант президента РФ поступающим в магистратуру*

## REFERENCES

1. Karayev Yu.I. Influence dangerous dangerous geological processes on the high — pressure HPPS (for example Zaramagskaya HPP, North Ossesetia Alania). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2013; (4): 23–33. Available at: <http://geosouth.ru/article/view/507> (accessed 1st May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Magomedov R.A. Features of relationship between spatial-time distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the earth's crust blocks and fault-block tectonics of the Eastern Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021; 11(1): 69–80. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.72.56.006>.
3. Bychkovskiy N.N. [Problems of design, construction, operation, reconstruction of transport facilities and ways to solve them. Part 1]. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2008. (In Russ.).
4. Nikolov V.A., Kortiyev A.L. Traffic safety problems on mountain roads. In: *Abstracts of III International Scientific and Practical Conference «Innovative development of science and education», Athens, Greece 24–26 May 2020*. Athens: ISGT Publishing House; 2020. p. 196–201. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/INNOVATIVE-DEVELOPMENT-OF-SCIENCE-AND-EDUCATION-24-26.05.20.pdf> (accessed 10th May 2021). (In Russ.).
5. Kortiev L.I., Kortiev A.L. Features of co-operation road of a transport complex and natural environment in mountain terms and estimation of risk of natural and tekhnogennogo character at extraordinary situations. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2009; 5(3): 27–33. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11837534> (accessed 10th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Edward G. Nawy ed. *Concrete Construction Engineering Handbook*. 2nd Edition. New York: CRC Press; 2008. (In Eng.).
7. Edward G. Nawy ed. *Prestressed Concrete: A Fundamental Approach*. 5th Edition. New York: Prentice Hall; 2005. (In Eng.).
8. Priestley M.J.N., Seible F., Calvi G.M. *Seismic Design and Retrofit of Bridges*. New York: John Wiley & Sons; 1996. (In Eng.).
9. Hagiwaza R. *Earthquake Ground Motion Characteristics, Proceedings, 1-st Japan-Italy Workshop on Seismic Design of Bridges*. Tsukuba: Public Works Research Institute; 1995. (In Eng.).
10. Sawires R., Peláez J.A., Fat-Helbary R.E. et al. *Earthquake Engineering — From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures*. Rijeka: Intech; 2015. Available at: <https://www.intechopen.com/books/earthquake-engineering-from-engineering-seismology-to-optimal-seismic-design-of-engineering-structures> (accessed 10th May 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5772/58499>.
11. Naeim F. ed. *The Seismic Design Handbook*. 2nd Edition. New York: Springer Science; 2001. (In Eng.).
12. Chen W.F., Duan L. eds. *Bridge Engineering Handbook: Seismic Design*. 2nd Edition. New York: CRC Press; 2014. (In Eng.).
13. Shahidan S. ed. *Structural Bridge Engineering*. Rijeka: InTechOpen; 2016. Available at: <https://www.intechopen.com/books/structural-bridge-engineering> (accessed 14th May 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5772/61683>.

14. Magomedov M.M. [Design solutions for bridges in mountainous areas]. In: [*Modern trends in the design, construction, repair and maintenance of transport facilities: a collection of articles*]. Minsk: BNTU; 2020. p. 18–28. (In Russ.).
15. Pogorelov A.V., Netrobin P.B. [About views on orography and geomorphological zoning of the Greater Caucasus]. In: Pogorelov A.V. ed. [*Geographical research of the Krasnodar Territory: Collection of scientific papers*]. Krasnodar: Kuban State University; 2011. p. 7–20. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22685935> (accessed 18th May 2021). (In Russ.).
16. Idrisov I.A. [Features of the formation of the relief of Northern Dagestan]. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2011; (2): 102–107. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16913923> (accessed 18th May 2021). (In Russ.).
17. Osipova T.V., Osipova D.E. Design of bridge supports with regard to the formation of local erosion. *Electronic Scientific Publication (ESP) — “Technique and Technology of Transport”*. 2019; (S(11)): 16. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38206108> (accessed 18th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
18. Dovgelyuk N.V., Dobrovol'skiy D.N., Maslovskaya M.A. Study of the influence of various factors on the amount of erosion of the channel under the bridge. In: Bryansk State Engineering and Technological Academy. [*Architecture, urban planning, historical, cultural and ecological environment of the cities of central Russia, Ukraine and Belarus: Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of the honored architect of the Russian Federation V.N. Gorodkova, Bryansk, March 12–13, 2014*]. Bryansk: Bryansk State Engineering and Technological Academy; 2014. p. 278–280. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27558025> (accessed 18th May 2021). (In Russ.).
19. Shekerbekov U.T., Osmonkanov N.A. [Seismic resistance of girder bridge structures]. *The Herald of KSUCTA*. 2014; (1): 170–173. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24282382> (accessed 18th May 2021). (In Russ.).
20. Apsemetov M.Ch. Some questions about own vibrations of structures in seismic insulation of constructions. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2017; (6): 44–49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32244279> (accessed 18th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
21. Omarov Kh.M. [Optimal parameters of active seismic protection systems for structures with rubber-metal bearings]. Makhachkala: Tipografiya Alef; 2018. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35390109> (accessed 20th May 2021). (In Russ.).
22. Kuznetsova I.O., Vanicheva S.S., Freze M.V., Dolgaya A.A., Azayev T.M., Zaynulabidova Kh.R. [Application of friction-movable bolted joints to ensure seismic resistance of building structures of bridges and other structures]. *Proceedings of Petersburg Transport Universit*. 2016; 13(3): 353–360. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27258545> (accessed 20th May 2021). (In Russ.).
23. Ovchinnikov I.G., Likverman A.I., Rasporov O.N. et al. Corrosion protection of metal and reinforced concrete bridge structures by painting: scientific and technical publication. Saratov: Kubik; 2014. (In Russ.).

24. Alekseyev S.V., Trepalin V.A., Shevchenko S.M., Trifonova A.A. [Modern methods of improving the construction of expansion joints of road bridges]. *Putevoy navigator*. 2020; (43): 3. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43158634> (accessed 20th May 2021). (In Russ.).
25. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G. [Static and dynamic analysis of expansion joints of road bridges]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture*. 2006; (6): 102–106. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13010669> (accessed 20th May 2021). (In Russ.).
26. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Pavement on bridge structures: home and foreign experience. *Naukovedenie*. 2014; 6(5): 37KO514. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/37KO514.pdf> (accessed 20th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
27. Tazetdinov A.A. Application of cast polymer asphalt concrete for the device of pavement on bridges: advantages, disadvantages, features of preparation, transportation, laying. Application experience. *Electronic Scientific Publication (ESP) — “Technique and Technology of Transport”*. 2019; (S(11)): 41. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38206133> (accessed 20th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
28. Kochetkov A.V., Shchegoleva N.V., Zadvornov V.Yu., Kochetkov V.A., Shashkov I.G. Analysis and assessment of the risk of loss of stability of the car at the radius of the round-off of the Congress to determine the speed. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018; 5(3): 08SATS318. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/08SATS318>.
29. Ovchinnikov I.G. [Sustainable design of bridge structures as one of the factors of sustainable development of the region]. In: Astrakhan State University. [*The Caspian in the Digital Age: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation in the framework of the International Scientific Forum "Caspian 2021: Ways of Sustainable Development", Astrakhan, May 27, 2021*]. Astrakhan: Publishing House «Astrakhanskiy universitet»; 2021. p. 587–592. (In Russ.).

---

**Information about the authors:**

**Mukhtar M. Magomedov** — Saratov State Technical University Named after Y. Gagarin, Saratov, Russia, e-mail: [magomedovmm751@mail.ru](mailto:magomedovmm751@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0049-3410>

**Igor G. Ovchinnikov** — Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia, e-mail: [bridgesar@mail.ru](mailto:bridgesar@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>  
ПИИЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=2922](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=2922)  
Publons: <https://publons.com/researcher/2611921/igor-g-ovchinnikov/>

---

Submitted: 16th June 1 Revised: 04th July 2021. Published online: 18th July 2021.

*Grant of the President of the Russian Federation for applicants to the magistracy*