

Мостовые сооружения вантового типа

А.Э. Разживина¹, А.Н. Соболева²

^{1,2} Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург,

Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 625

Аннотация

Во все времена число мостов и их размеры служили показателем сложности любой дороги, развитости инфраструктуры города, страны. Соответствие большепролетных мостовых сооружений, которые сейчас стали одной из основных целей строительства, строжайшим технико-эксплуатационным требованиям является важной практической задачей, которую преследуют в наше время. Вантовые конструкции мостов одна из самых обсуждаемых тем в современном строительстве. Целью данной статьи было провести исследование по рассмотрению основных характеристик вантовых конструкций мостов и выявление их преимуществ среди других видов данных сооружений. На основе анализа публикаций по данной теме исследования, были выявлены основные конструктивные характеристики всех видов мостов. Было произведено сравнение двух принципиальных схем строения и определены особенности каждого. В процессе работы были обозначены основные критерии динамического воздействия и динамической деформации конструкций, так же на основе вибрационного анализа динамическая прочность вантовых конструкций. На основе обзора данных по данной тематике, были определен ускоренный темп развития данной области и главные направления модернизации в материалах и способах строительства. Более того определены основные темпы оптимизации,

Ключевые слова: Вантовый мост, динамическое воздействие, конструктивные характеристики, распределенная деформация, динамическая прочность, вибрационный анализ, мостовое сооружение

Содержание

1. Введение	77
2. Обзор литературы	77

Контактный автор:

1. +7(912)4597550, Razzhivanastya@gmail.com (Разживина Анастасия Эдуардовна, студент)
2. +7(909)0528881, sobolevaa23@mail.ru (Соболева Алёна Николаевна, студент)

1. Введение

В современном мире мостостроение является неотъемлемой частью формирования не только дорожного полотна и инфраструктуры, но и внешнего облика города. В связи с этим строительство мостов подвержено самым высоким требованиям, что свидетельствует о технико-экономическом потенциале общества. Перед застройщиком часто встают разного рода задачи, решение которых невозможно без применения нестандартных технических подходов. Однако, несмотря на развитие технологий в области инновационных композитных материалов и усовершенствование конструктивно-технологических решений в строительстве мостовых конструкций, преимущественно используются традиционные методы строительства и проектирования.

С каждым годом в России расширяется сеть автомобильных дорог, увеличивается ее протяженность. В связи с этим появляется необходимость в возведении мостовых конструкций, отвечающих определенным требованиям как местности застройки, так и возлагаемой на них динамической нагрузки. Для осуществления данной задачи появляется необходимость в применении конструктивных форм и методов, отвечающих поставленным задачам. Конструкции должны быть максимально унифицированы и стандартизованы. Это позволит возводить мостовые сооружения из стандартных элементов, что значительно ускорит сроки возведения. Большие объемы строительства мостов требуют дальнейшего прогресса совершенствования конструкций мостов и связанных с этим инженерных решений. Кроме того, необходимо качественное исследование конструкций, для выявления ее устойчивости к подвижной нагрузке. Кроме того, необходим постоянный мониторинг показателей системы с помощью статических, динамических и конструкционных расчетов.

Высочайшие технические и конструкционные требования к проектированию мостовых сооружений и индивидуальные условия каждого места застройки привело к созданию большого количества их видов и классификаций. В связи с этим появилась необходимость в выявлении статических схем, являющихся наиболее выгодными как технически, так и экономически. Актуальность сравнений различных видов мостовых сооружений (в зависимости от их технологии возведения и архитектурных решений) должны иметь постоянный и системный характер при необходимости разрешения любых инженерных и динамических проблем. Данное сравнение охватывает эксплуатацию, испытание конструкций подвижными нагрузками, динамические характеристики, а также архитектурное проектирование, которое очень тесно связана с развитием строительной техники, состоянием научных знаний, типами применяемых материалов и конструкций, методикой проектирования и расчета сооружений, технологией строительных работ. Особое значение имеет расчет мостовых конструкций как пространственных систем, а также учет динамического действия подвижных нагрузок, проходящих по мостам с большой скоростью. Особый интерес на данный момент представляет вантовая конструкция мостовых сооружений, преимущества и недостатки которой являются необходимыми и актуальными объектами исследования.

2. Обзор литературы

Глубокое и всестороннее рассмотрение различных аспектов теоретического и практического изучения динамических характеристик вантовых конструкции содержится в трудах: Hashemi, S.K., Bradford M.A., Valipour H.R., Kim S., Park J., Kim H.K., Kang, Hou Jun, Guo, Tie Ding, Zhao, Yue Yu, Liu, H.-T., Wei, M.-H., Xiao, Y.-Q., Поддаевой О. И., Чурина П. С., Егорова В.В., Алексашкина Е.Н., Забродина М.П., Паутова А.Б., Зылева В.Б., Григорьева Н.А. [1-7].

В работе Hashemi, S.K., Bradford M.A., Valipour H.R. приведены исследования технологических проблем, возникающих при воздействии взрывной нагрузки, провоцирующей динамический отклик мостового сооружения [1].

В статье Kim S., Park J., Kim H.K. дана оценка эксплуатационных характеристик вантового моста при воздействии вихревой вибрации. [2].

Kang, Hou Jun, Guo, Tie Ding, Zhao, Yue Yu в своей работе делают акцент на результатах разработки новой динамической мостовой модели, на основе которой лежат инновационные конструкционные решения [3].

Значительный вклад в изучение влияния подвижных нагрузок на вантовые мостовые сооружения внесли ученые: Park J., Kim S., Kim H.K., Sun, Ceshi, Zhao, Yaobing, Wang, Zhiqian, Yau J.D., Yang Y.B., Кадисов Г. М., Чернышов В. В., Бахтин С.А., Шмакова И.О., Горелов С.Н., Жаданов В.И., Аркаев М.А. [8-14].

В статье Park J., Kim S., Kim H.K. дана оценка виброустойчивости балок вантового моста. Заключение сделано по результатам естественных испытаний методом конечных элементов [8].

Кадисов Г.М. и Чернышов В.В. в своей работе делают акцент на вариантах моделирования вантовых мостов для решения задач о динамике [12].

Бахтин С.А. и Шмакова И.О. в своей статье исследовали дальнейшее развитие транспортных систем для снижения влияния подвижной нагрузки [13].

Анализ наиболее значимых факторов, определяющих прочность вантовой мостовой конструкции был представлен в трудах: Yufen Zhou, Suren Chen, Chunguang Liu, Shibo Zhang, Ertong Hao, Пуриковой И.А., Овчинникова И.Г., Овчинникова И.И., Нигаматовой О.И., Михалдыкина Е.С., Зубкова Д.А., Кошелевой Е.Л., Сергеевцева Е.Ю. [15-19].

В статье Овчинникова И.Г., Овчинникова И.И., Нигаматовой О.И. и Михалдыкина Е.С. мониторинг мостовых сооружений считается определяющим фактором в сохранении прочности вантовых мостов [18]. В работе Зубкова Д.А., Кошелевой Е.Л. и Сергеевцева Е.Ю. проведены динамические исследования вантовых конструкций, возведенных в сейсмически активных районах. В результате были обобщены основные факторы, способствующие сохранению прочности строений [19]. Работы Cluley N.C., Shepherd R., Потапова В.Д., Папаева М.А., Бахтина С.А., Козьмина Н.А., Биттибаева С.М., Курганова Р.А., Белова А.Н., Наймановой Г.Т., Сафронова В.С., Петранина А.А., Петреня

Е.Н., Косенко М.В., Бегоулевой А. О., Бородай Д.И., Дараган К.А., Коновалова К.В., Шелудько Ю.В. посвящены изучению долговечности и надежности вантовых мостов [20-27].

В труде Биттибаева С.М., Курганова Р.А., Белова А.Н. и Наймановой Г.Т. рассмотрены вопросы надежности вантовых мостов. Акцент делается на использовании деформационных критерием механики разрушения [23].

Работа Бородай Д.И. представляет новый подход в оценке долговечности элементов мостов. В результате предложена модель оценки ресурсов долговечности мостовых сооружений [26].

Существует ряд работ, касающихся архитектурных и конструктивных решений при проектировании вантовых мостовых конструкций. К таким относятся труды: Манкевича С.В., Овчинникова И.Г., Дядченко Г.С., Киселева Д.Б. [28-30].

Работа Манкевича С.В. представляет новый подход в оценке конструктивных решений и архитектурных форм мостов, в конструкции которых использованы инновационные конструктивные решения и материалы [28].

Другое обобщение роли архитектурных решений сделано Овчинниковым И.Г. и Дядченко Г.С. Выводы сделаны по результатам теоретических и экспериментальных исследований основных характеристик и схем архитектурных проектов [29].

Однако, не смотря на большой объем исследований, посвященных аэродинамическим и конструкционным характеристикам вантовых мостовых сооружений, до настоящего времени не были выявлены их главные прочностные и функциональные преимущества среди других видов мостовых конструкций.

3. Цель исследования

Целью исследования является оптимизация проектирования и строительства вантовых пролетных конструкций, выявление их преимуществ среди других мостовых сооружений.

4. Виды и классификации мостов, определения

С давних пор мосты стали неотъемлемой частью нашей жизни. Как и многие другие сооружения они претерпевали изменения: менялись конструкции, материалы, совершенствовались технологии строительства – все это привело к разнообразию видов и классификаций мостов в современном мире. Сейчас достижение науки и техники позволяет нам в каждом конкретном случае создавать индивидуальные конструкции мостов и особые архитектурные решения, зависящие от ряда условий: природных, экономических, градостроительных. Немаловажным условием являются сроки работы.

Исходя из этих положений, классификацию мостов можно представить в виде схемы:



Рис.1. Классификация мостовых конструкций

Балочный

Один из самых простых видов мостов. Особенность этой конструкции состоит в использовании балок в качестве пролетных строений. Ими же перекрывают расстояния между опорами. В свою очередь такая схема подразделяется на следующие:

- Разрезная система — каждая балка перекрывает один пролет, составляя тем самым ряд несущей конструкции. Такая система способна устоять на любых типах грунтов, но при этом должны быть обеспечены две точки опоры в каждом пролете, что приводит к большому количеству стыковочных деформационных швов.
- Неразрезная система — одна балка пролётного строения перекрывает несколько пролётов или сразу все. Высота такой конструкции не велика, и в отличие от разрезной системы количество деформационных швов значительно уменьшается. Как и во всех конструкциях присутствуют недостатки: чувствительность к изменению грунта.
- Консольная система — состоит из двух типов балок. Главные балки основных пролетов разгружаются консолями, уменьшая основных пролетов и получая экономию в расходе материалов таких конструкция не возникают неблагоприятные напряжения на опоры. В настоящее время мосты такой схемы сооружаются довольно редко из-за сложности конструкции и низкой комфортности использования.
- Температурно-неразрезная система — состоит из балок с двойной опорой, объединённых в цепь с помощью верхней соединительной плиты. Такая схема объединяет в себе две: под действием вертикальных нагрузок — разрезную, а под действием горизонтальных — как неразрезную. Её достоинством является меньшее количество деформационных швов, а недостатком — обязательное наличие двух опорных частей на каждой промежуточной опоре.
- Фермерные — легкие решётчатые конструкции, позволяющая перекрывать достаточно большие пролёты.

Распорные системы

Отличаются от балочных тем, что нагрузки, передаваемые с пролётных строений на опоры, имеют не только вертикальную, но и горизонтальную составляющую, называемую в строительной механике распором. Конструкции данного вида сильно отличаются друг от друга:

- Арочный мост — один из самых древних типов моста. Состоит из криволинейной конструкции, воспринимающей на себя всю нагрузку. Основным преимуществом данного типа моста является экономия материала, благодаря полости формы, а недостатком — твердая и надежная опора, так называемые глубокозалегающие грунты.
- Висячие — мост, в котором основная несущая конструкция выполнена из гибких элементов, находящихся в растянутом состоянии, проезжая часть подвешена. Данный вид конструкции позволяет создавать самые длинные и высокие пролеты в мире. Так же стоит ответить, что для создания такого типа моста необходим плотный фундамент.
- Вантовые — разновидность висячих мостов, состоящие из пилонов, которые монтируются к опоре, и вант — железных тросов, которые являются основной несущей конструкцией. Наиболее часто вантовая система применяется при перекрытии глубоких и/или широких рек и в городских условиях.
- Рамная система — состоит из рам. Роль опор играют стойки. Такие системы в перекрытиях больших пролетов могут иметь разнообразные очертания. Небольшая высота и сравнительно большее пространство под мостом (балочная система) являются неоспоримыми преимуществами рамной системы. Недостатками рамной системы являются сложность строительства и чувствительность к деформации основания, а строить их дорого и очень сложно.
- Комбинированная схема — соединяет в себе распорные и балочные конструкции, часто встречается в городской среде.

5. Сравнение и анализ распорных и балочных систем

Чем дальше развивается человек и человечество, тем больше растет его сфера влияния, и у него появляется потребность в освоении новых территорий. Благо технический прогресс и инновационные методы строительства позволяют это сделать. Но как бы не развивался человек в мостостроении он попрежнему придерживается традиционных методов строительства и статистических схем. Но, к счастью, все это происходит не в ущерб. При разных условиях, эстетическом восприятии и особенностям местности, с учетом ветровых, температурных, гидрологических и сейсмических воздействий, ожидаемые в период заданного срока эксплуатации строители предпочитают использовать разные типы мостов. Рассмотрим два основных типа, и их характеристики.

Критерии сравнения	Балочное	Распорные
Воздействия и нагрузки	Такой вид статистической схемы воспринимает исключительно вертикальные нагрузки	Такая конструкция моста позволяет ему воспринимать как горизонтальные нагрузки, так и вертикальные
Особенности	Дает возможность обеспечить переход не большой дистанции	В основном мосты с продолжительными пролетами, через большие расстояния
Опора	Мосты с маленькими пролетами должны обеспечиваться большим количеством опор	При отсутствии возможности установить необходимое количество опор для балочной системы. Но необходимостью в данном типе являются глубокозалегающие грунты
Архитектурное решение	Мосты, за счет основной несущей конструкции – балок, выглядят более устойчивыми, надежными, заполняя собой пространство выглядят уютно, создавая привычные очертания городской среды.	Мосты данного типа выглядят легкими и не отягощающими, позволяя создавать причудливые образы и силуэты
Экономический аспект	Монотонная монолитная конструкция не позволяет экономит на материале, тем самым такие проекты не отличаются большой экономией на материале	За счет полых конструкций уменьшается стоимость проектов и сооружений

Таким образом, можно увидеть, что в современном мире актуальнее использование второго типа мостов, за счет явного преимущества в решении задач современности. Сложные ландшафтные условия и стремление создать проект, не нарушая естественной красоты природы, приводит архитекторов и строителей к распорочной схеме, из-за ряда очевидных преимуществ: обеспечение наибольшей устойчивости, за счет равного распределения нагрузки, возможность обойтись меньшим количеством опор и их закрепление на неблагоприятном ландшафте. И простор для творчества. В мире, где интенсивное судоходство, такая же неотъемлемая черта, как и загруженный автомобильный трафик, мосты, позволяющие обеспечить пространство для крупногабаритных судов, незаменимы.

6. Преимущества и недостатки вантовых конструкций

Последние пол века можно назвать исключительно эпохой вантовых мостов. Популярность данный вид сооружения приобрел еще около двух столетий назад, завоевал именно сейчас. В чем же преимущество этого вида большепролетных конструкций, и в чем они способны конкурировать с другими видами распорных конструкций.

Основные достоинства вантовых мостов – легкость несущих конструкций, большая перекрывающая способность, высокая экономичность по стоимости и расходу материала, возможность навесного монтажа. Относительно небольшая высота и размеры поперечного сечения балок жесткости даже при достаточно больших пролетах делают их благоприятными для изготовления на заводах металлоконструкций, устраняют необходимость членить по высоте на блоки из условий перевозки и упрощают их монтаж. Первые два достоинства обусловлены работой вант только на растяжение, что позволяет эффективно использовать в них стали высокой прочности. Вантовые пролетные строения по расходу стали практически при пролетах более 100 м всегда экономичнее балочных цельностальных, а также балочных сталежелезобетонных. Возможность навесного монтажа определяется структурой вантовых систем. Ажурный силуэт вантовых мостов с балками жесткости постоянной высоты и наклонными вантами хорошо соответствует архитектурным требованиям современного мостостроения.

Отрицательная особенность вантовых мостов – их пониженная жесткость по сравнению с мостами некоторых других систем. Это обусловлено высокими напряжениями, допускаемыми в вантах от временной нагрузки, пониженным модулем упругости некоторых типов вант, значительной их длиной в мостах больших пролетов, а также провисанием вант от собственного веса. Последнее приводит к тому, что вступлению вант в работу на растяжение, вызываемое временной нагрузкой, предшествуют дополнительные вертикальные прогибы пролетного строения, вызываемые уменьшением стрелы провисания вант. Провисание вант делает их как бы работающими с условно пониженным модулем продольной упругости. При этом ванты, имеющие разную длину и угол наклона, работают с разным условным модулем упругости.

Достоинства вантовых конструкций определяют технико-экономическую целесообразность их применения в мостах больших пролетов, где легкость несущих конструкций приобретает особо важное значение. Не исключена возможность их применения и в мостах сравнительно небольших пролетов.

Пониженная жесткость вантовых конструкций ограничивает их широкое использование в железнодорожных мостах. Они применяются главным образом в автодорожных и городских мостах. Однако имеются выдающиеся примеры возведенных вантовых мостов с балками жесткости под железную дорогу и совмещенных вантовых мостов.

7. Перспективы и тенденции развития

В современной практике строительства мостов достаточно распространенными являются вантовые конструкции пролетных строений, для которых во многих случаях сочетание показателей экономичности, архитектурной выразительности и удобства монтажа в условиях ограниченности во времени и пространстве является наиболее предпочтительными. В связи с современными требованиями к качеству инженерных сооружений, оптимизация проектирования и строительства вантовых пролетных конструкций – очень актуальная тема. Благодаря применению передовых технологий строительства мостов в комплексе с современными геосинтетическими материалами строители добиваются наращивания темпов стройки. При этом никакого ущерба для качества покрытия не существует. Наоборот, сокращение сроков строительства достигается в сочетании с улучшением эксплуатационных характеристик строительства мостов. Кроме того, повышение износоустойчивости современных вантовых конструкций способствует снижению стоимости обустройства дорог и уменьшения периодичности осуществления ремонтов. Современная техника строительства дорожных мостов обеспечивает увеличение периода эксплуатации материалов, используемых при обустройстве винтового подвесного сооружения. При этом инновационные усовершенствования демпферной системы гашения колебаний и технология смены неисправных вант без остановки движения обеспечивают повышение надёжности, прочности и долговечности вантовых мостов.

8. Выводы

Преимущества вантовых конструкций среди других видов мостовых сооружений определяются технико-экономической выгодностью, использованием инновационных архитектурно-конструктивных решений и устойчивостью не только к динамическим нагрузкам, но и природным воздействиям.

Мостовые конструкции вантового типа используются для развития дорожно-транспортной системы с учетом их индивидуальной пропускной способности. Их немаловажным преимуществом является большая неподвижность дорожного полотна при воздействии подвижной нагрузки, этот тип мостов намного устойчивее, что делает его пригодными для использования в качестве железнодорожных переправ. Тем не менее, в основном он применяется в качестве автодорожных и городских мостов.

Оптимизация проектирования и строительства вантовых пролетных конструкций выявляет основные динамические, конструкционные, архитектурные преимущества данных строений. Также немаловажным аспектом оптимизации является прочность конструкции, долговечность ее составных частей и их динамическая устойчивость.

Более того, такой мост считается экономным. Традиционный балочный мост является более дорогостоящим. При проектировании используется более тонкая балка жесткости, на которой отсутствуют изгибающие моменты. С ростом пролета экономичность конструкции возрастает, что показывает немаловажное преимущество вантового типа мостовых конструкций.

Благодарности

Авторы выражают глубочайшую признательность научному консультанту Лазареву Юрию Георгиевичу, заведующему кафедрой ДМТТ за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании настоящей статьи.

Литература

- [1]. Hashemi, S.K., Bradford M.A., Valipour H.R. Dynamic response and performance of cable-stayed bridges under blast load: Effects of pylon geometry. *Engineering Structures*. 2017. 50-66 p.
- [2]. Kim S., Park J., Kim H.K. Damping identification and serviceability assessment of a cable-stayed bridge based on operational monitoring data. *Journal of Bridge Engineering*. 2017. 22 p.
- [3]. Kang, Hou Jun, Guo, Tie Ding, Zhao, Yue Yu. Dynamic modeling and in-plane 1:1:1 internal resonance analysis of cable-stayed bridge. *European journal of mechanics a-solids*. 2017. 94-109 p.
- [4]. Liu, H.-T., Wei, M.-H., Xiao, Y.-Q. Nonlinear response analysis of a cable-beam coupled system. *Journal of Vibration and Shock* 2017. 50-66 p.
- [5]. Поддаева О. И., Чуринов П. С. Аэродинамические испытания мостовых конструкций // Научное обозрение. 2013. С. 321-324.
- [6]. Егоров В.В., Алексашкин Е.Н., Забродин М.П., Паутов А.Б. Предварительно напряженная вантовая конструкция // Патент на изобретение. 2001. С. 7-11.
- [7]. Зылев В.Б., Григорьев Н.А. Исследование динамического поведения вантовых конструкций при воздействии торнадо по модели y.k. wen // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2013. Т. 9. № 4. С. 158-164.
- [8]. Park J., Kim S., Kim H.K. Natural vibration analysis of multi-cables-stayed beam structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2017. 35-44 p.
- [9]. Sun, Ceshi, Zhao, Yaobing, Wang, Zhiqian. Effects of longitudinal girder vibration on non-linear cable responses in cable-stayed bridges. *European journal of environmental and civil engineering*. 2017. 94-107 p.
- [10]. Yau J.D., Yang Y.B. Vibration reduction for cable-stayed bridges traveled by high-speed trains. *Finite Elements in Analysis and Design*. 2004. 341-359 p.

References

- [1]. Hashemi, S.K., Bradford M.A., Valipour H.R. Dynamic response and performance of cable-stayed bridges under blast load: Effects of pylon geometry. *Engineering Structures*. 2017. 50-66 p.
- [2]. Kim S., Park J., Kim H.K. Damping identification and serviceability assessment of a cable-stayed bridge based on operational monitoring data. *Journal of Bridge Engineering*. 2017. 22 p.
- [3]. Kang, Hou Jun, Guo, Tie Ding, Zhao, Yue Yu. Dynamic modeling and in-plane 1:1:1 internal resonance analysis of cable-stayed bridge. *European journal of mechanics a-solids*. 2017. 94-109 p.
- [4]. Liu, H.-T., Wei, M.-H., Xiao, Y.-Q. Nonlinear response analysis of a cable-beam coupled system. *Journal of Vibration and Shock*. 2017. 50-66 p.
- [5]. Poddaeva O. I., Churin P. S. Aerodinamicheskie ispytaniya mostovykh konstruksiy [Aerodynamic tests of bridge structures]. *Nauchnoe obozrenie*. 2013. Pp. 321-324. (rus)
- [6]. Egorov V.V., Aleksashkin E.N., Zabrodin M.P., Pautov A.B. Predvaritel'no napryazhennaya vantovaya konstruksiya [Prestressed cable-stayed construction]. *Patent na izobretenie*. 2001. Pp. 7-11. (rus)
- [7]. Zylev V.B., Grigor'yev N.A. Issledovanie dinamicheskogo povedeniya vantovykh konstruksiy pri vozddeystvii tornado po modeli y.k. wen [Investigation of the dynamic behavior of cable-stayed structures under the influence of a tornado according to the model y.k. Wen]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2013. No. 9. 4. Pp. 158-164. (rus)
- [8]. Park J., Kim S., Kim H.K. Natural vibration analysis of multi-cables-stayed beam structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2017. 35-44 p.
- [9]. Sun, Ceshi, Zhao, Yaobing, Wang, Zhiqian. Effects of longitudinal girder vibration on non-linear cable responses in cable-stayed bridges. *European journal of environmental and civil engineering*. 2017. 94-107 p.
- [10]. Yau J.D., Yang Y.B. Vibration reduction for cable-stayed bridges traveled by high-speed trains. *Finite Elements in Analysis and Design*. 2004. 341-359 p.
- [11]. Kadisov G. M., Chernyshov V. V. Primenenie konechno-elementnogo modelirovaniya v zadache o vozddeystvii podvizhnoy nagruzki na vantovye mosty [Application of finite element modeling in the problem of the effect of a mobile load on cable-stayed bridges]. *V sbornike trudov konferentsii*. 2014. Pp. 175-182. (rus)

- [11]. Кадисов Г. М., Чернышов В. В. Применение конечно-элементного моделирования в задаче о воздействии подвижной нагрузки на вантовые мосты // В сборнике трудов конференции. 2014. С. 175-182.
- [12]. Кадисов Г.М., Чернышов В.В. Конечно-элементное моделирование динамики мостов при воздействии подвижной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2013. №9. С. 56-62.
- [13]. Бахтин С.А., Шмакова И.О. Многокритериальный подход при проектировании совмещенных мостов под железнодорожную и автомобильную нагрузки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. № 4 (35). С. 30-35.
- [14]. Горелов С.Н., Жаданов В.И., Аркаев М.А. Результаты численных исследований вантового пешеходного моста через реку Урал // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 9 (145). С. 177-183.
- [15]. Yufen Zhou, Suren Chen. Numerical investigation of cable breakage events on long-span cable-stayed bridges under stochastic traffic and wind. *Engineering Structures*. 2015. 299-315 p.
- [16]. Chunguang Liu, Shibo Zhang, Ertong Hao. Joint earthquake, wave and current action on the pile group cable-stayed bridge tower foundation: An experimental study. *Applied Ocean Research*. 2017. 157-169 p.
- [17]. Пурикова И. А. Многопролетные неразрезные балки с опорами на просадочных грунтах в расчетах мостов на прочность // Вестник СевКавГТИ. 2014. С. 142-147.
- [18]. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // Транспортные сооружения. 2014. Т. 1. № 2 (2). С. 1.
- [19]. Зубков Д.А., Кошелева Е.Л., Сергеевцев Е.Ю. Натурные исследования собственных колебаний гибких покрытий сооружений, возведенных в сейсмически активных районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 5. С. 30-34.
- [20]. Cluley N.C., Shepherd R. Analysis of concrete cable-stayed bridges for creep, shrinkage and relaxation effects. *Computers & Structures*. 1996. 337-350 p.
- [21]. Потапов В.Д., Папаев М.А. Аэродинамическая устойчивость висячих и вантовых мостов при стохастическом воздействии // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. С. 38-47.
- [22]. Бахтин С.А., Козьмин Н.А. Многокритериальная оптимизация конструкций городских вантовых пешеходных мостов: постановка и решение задачи // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 2 (30). С. 35-42.
- [23]. Биттибаев С.М., Курганов Р.А., Белов А.Н., Найманова Г.Т. Надежность и долговечность эксплуатируемых металлических мостов // Труды университета. 2001. С. 60-62.
- [24]. Сафронов В.С., Петранин А.А., Петреня Е.Н., Косенко М.В. Расчетный анализ живучести железобетонных пролетных строений
- [12]. Kadisov G.M., Chernyshov V.V. Konechno-elementnoe modelirovanie dinamiki mostov pri vozdeystvii podvizhnoy nagruzki [Finite element modeling of the dynamics of bridges under the action of a mobile load]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2013. No. 9. Pp. 56-62. (rus)
- [13]. Bakhtin S.A., Shmakova I.O. Mnogokriterial'nyy podkhod pri proektirovanii sovmeshchennykh mostov pod zheleznodorozhnyuyu i avtomobil'nyuyu nagruzki [Multicriteria approach in the design of combined bridges for rail and road loads]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2015. No. 4 (35). Pp. 30-35. (rus)
- [14]. Gorelov S.N., Zhadanov V.I., Arkaev M.A. Rezul'taty chislennykh issledovaniy vantovogo peshekhodnogo mosta cherez reku Ural [Results of numerical studies of a cable pedestrian bridge across the Ural River]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No. 9 (145). Pp. 177-183. (rus)
- [15]. Yufen Zhou, Suren Chen. Numerical investigation of cable breakage events on long-span cable-stayed bridges under stochastic traffic and wind. *Engineering Structures*. 2015. 299-315 p.
- [16]. Chunguang Liu, Shibo Zhang, Ertong Hao. Joint earthquake, wave and current action on the pile group cable-stayed bridge tower foundation: An experimental study. *Applied Ocean Research*. 2017. 157-169 p.
- [17]. Purikova I. A. Mnogoproletnye nerazreznye balki s oporami na prosadochnykh gruntakh v raschetakh mostov na prochnost' [Multiple-continuous continuous beams with supports on subsidence ground in the calculation of bridges for strength]. *Vestnik SevKavGTI*. 2014. Pp. 142-147. (rus)
- [18]. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Nigmatova O.I., Mikhaldykin E.S. Prochnostnoy monitoring mostovykh sooruzheniy i osobennosti ego primeneniya. Chast' 2. Nepreryvnyy monitoring sostoyaniya mostovykh sooruzheniy [Strength monitoring of bridge structures and features of its application. Part 2. Continuous monitoring of the state of bridge structures]. *Transportnye sooruzheniya*. 2014. No. 1. 2 (2). Pp. 1. (rus)
- [19]. Zubkov D.A., Kosheleva E.L., Sergeevtsev E.Yu. Naturnye issledovaniya sobstvennykh kolebaniy gibkikh pokrytiy sooruzheniy, vozvedennykh v seysmicheski aktivnykh rayonakh [Full-scale studies of natural oscillations of flexible coatings of structures erected in seismically active regions]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2011. No. 5. Pp. 30-34. (rus)
- [20]. Cluley N.C., Shepherd R. Analysis of concrete cable-stayed bridges for creep, shrinkage and relaxation effects. *Computers & Structures*. 1996. 337-350 p.
- [21]. Potapov V.D., Papaev M.A. Aerodinamicheskaya ustoychivost' visyachikh i vantovykh mostov pri stokhasticheskom vozdeystvii [Aerodynamic stability of hanging and cable-stayed bridges under stochastic effects]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2009. Pp. 38-47. (rus)
- [22]. Bakhtin S.A., Koz'min N.A. Mnogokriterial'naya optimizatsiya konstruksiy gorodskikh vantovykh peshekhodnykh mostov: postanovka i reshenie zadachi [Multicriteria optimization of urban cable-stayed pedestrian bridges: setting and solving the problem]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii*. 2013. № 2 (30). Pp. 35-42. (rus)
- [23]. Bittibaev S.M., Kurganov R.A., Belov A.N., Naymanova G.T. Nadezhnost' i dolgovechnost' ekspluatiruemykh metallicheskiy mostov [Reliability and durability of exploited metal bridges]. *Trudy universiteta*. 2001. Pp. 60-62. (rus)
- [24]. Safronov B.C., Petranin A.A., Petrenya E.N., Kosenko M.V. Raschetnyy analiz zhivuchesti zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy avtodorozhnykh mostov [Computational analysis of the survivability of reinforced concrete span structures of road bridges]. *Dorogi i mosty*. 2006. No. 2. Pp. 178-189. (rus)
- [25]. Begouleva A. O. Uchet vliyaniya konstruktivno-tekhnologicheskikh faktorov na dolgovechnost' ekspluatiruemykh stalezhelezobetonnykh proletnykh stroeniy mostov [Accounting

- автомобильных мостов // Дороги и мосты. 2006. № 2. С. 178-189.
- [25]. Бегоулева А. О. Учет влияния конструктивно-технологических факторов на долговечность эксплуатируемых сталежелезобетонных пролетных строений мостов // Вестник гражданских инженеров. 2013. №1. С.24-28.
- [26]. Бородай Д.И. Модель прогноза долговечности железобетонных пролетных строений автомобильных мостов // Наука та прогресс транспорту. 2010. С. 43-48.
- [27]. Дараган К.А., Коновалов К.В., Шелудько Ю.В. Мониторинг мостов - гарантия сохранения их надежности и долговечности // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. С. 136-144.
- [28]. Манкевич С.В. Поиск новых конструктивно-технологических решений и архитектурных форм мостов // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. 2009. № 12. С. 20-23.
- [29]. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура // Учеб. пособие по курсам "Проектирование мостов" и "Архитектура трансп. сооружений" для студентов. 2005.
- [30]. Киселев Д.Б. Арочно-вантовые комбинированные конструкции. Численные и экспериментальные исследования // Современное промышленное и гражданское строительство. 2006. Т. 2. № 1. С. 17-27.
- for the influence of constructive and technological factors on the durability of the exploited steel-concrete-span bridge structures of bridges]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2013. №1. Pp.24-28. (rus)
- [26]. Boroday D.I. Model' prognoza dolgovechnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy avtodorozhnykh mostov [Model of the prediction of the durability of reinforced concrete span structures of road bridges]. Nauka ta progress transportu. 2010. Pp. 43-48. (rus)
- [27]. Daragan K.A., Konovalov K.V., Shelud'ko Yu.V. Monitoring mostov - garantiya sokhraneniya ikh nadezhnosti i dolgovechnosti [Monitoring of bridges is a guarantee of maintaining their reliability and durability]. Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. 2013. Pp. 136-144. (rus)
- [28]. Mankevich S.V. Poisk novykh konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy i arkhitekturnykh form mostov [Search for new constructive and technological solutions and architectural forms of bridges]. Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2009. No. 12. Pp. 20-23. (rus)
- [29]. Ovchinnikov I.G., Dyadchenko G.S. Peshekhodnye mosty: konstruktziya, stroitel'stvo, arkhitektura [Pedestrian bridges: construction, construction, architecture]. Ucheb. posobie po kursam "Proektirovanie mostov" i "Arkhitektura transp. sooruzheniy" dlya studentov. 2005. (rus)
- [30]. Kiselev D.B. Arochno-vantovye kombinirovannye konstruktzii. Chislennye i eksperimental'nye issledovaniya [Arched cable-stayed combined structures. Numerical and experimental research]. Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2006. No. 2. 1. Pp. 17-27. (rus)

Разживина А.Э., Соболева А.Н., Мостовые сооружения вантового типа// Alfabuild. 2018.№3(5). С. 76-85

Razzhivina A., Soboleva A. Pontilice of cable structure. Alfabuild, 2018, 3(5), Pp. 76-85(rus)

Pontilice of cable structure

A. Razzhivina¹, A. Soboleva²

^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info review article

Abstract

The development of the city and the country can be determined by the number of bridges, the size and complexity of the road. One of the main goals and main tasks of the construction at present is the compliance of the construction of bridge structures with all strict requirements for safe operation. The purpose of this article is to study the main characteristics of cable-stayed bridges and to identify their advantages among other types of bridges, because they are one of the most discussed topics in construction. In the course of the work, an analysis of publications that correspond to this topic is carried out. The main characteristics of all types of bridges are shown. Also, a comparison of the two schemes of principle construction. Specific features of each type are determined and the main criteria for the strength of structures under the action of a mobile load are identified. As a result, the pace of optimization, the main directions of modernization are determined. The most acceptable materials in construction have been identified. Based on the results of the review of data on this topic, the accelerated rate of development was determined.

Keywords: cable-stayed bridge, dynamic response, Structural dynamics, structural performance, distributed strain, vibration analysis, pontilice.

Corresponding author

1. +7(912)4597550, Razzhivinastya@gmail.com (Razzhivina Anastasiya, Student)
2. +7(909)0528881, sobolevaa23@mail.ru (Soboleva Alyona, Student)