

УДК 624.21

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.К. Углов¹, М.С. Касаткин²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Любой мост является уникальным сооружением, так как не бывает идентичных исходных данных для проектирования. В последние десятилетия все чаще приходится решать проблемы повышения грузоподъемности и пропускной способности старых мостов, а также сохранения их исторического облика с восстановлением утраченных или находящихся в неудовлетворительном состоянии элементов архитектурного убранства. В статье рассмотрен исторический зарубежный и отечественный опыт проектирования и строительства мостовых сооружений, а также основные проблемы, сложившиеся в результате их строительства. Рассмотрено многообразие существующих мостовых сооружений, приведены примеры. Перечислены конструкции мостовых сооружений в зависимости от материала, размера, типа и статической схемы. Акцентировано внимание на необходимости внедрения BIM-технологий в мостостроение, что позволит существенно сократить рабочее время и финансовые затраты, так как дает возможность спроектировать и заранее протестировать работоспособность всех инженерных решений и концепций ещё до начала процесса строительства. Информационная модель послужит ценнейшим источником полной информационной картины обо всех этапах строительства транспортной системы: от ключевой концепции до момента эксплуатации.

Ключевые слова: мосты, мостовые сооружения, мостостроение, конструктивные решения, городская застройка, статическая схема.

Ссылка для цитирования: Углов А.К., Касаткин М.С. Конструктивные решения мостовых сооружений // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 31-38. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/31-38.pdf>

CONSTRUCTION SOLUTIONS FOR BRIDGE STRUCTURES

A.K. Uglov¹, M.S. Kasatkin²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Any bridge is a unique structure, since there are no identical initial design data. In recent decades, more and more often it is necessary to solve the problems of increasing the carrying capacity and carrying capacity of old bridges, as well as preserving their historical appearance with the restoration of elements of architectural decoration that have been lost or in an unsatisfactory state. The article examines the historical foreign and domestic experience in the design and construction of bridge structures, as well as the main problems that have arisen as a result of their construction. The variety of existing bridge structures is considered, examples are given. The structures of bridge structures are listed depending on the material, size, type and static scheme. Attention is focused on the need to introduce BIM technologies in bridge construction, which will significantly reduce working time and financial costs, since it makes it possible to design and test the performance of all engineering solutions and concepts before the start of the construction process. The information model will serve as the most valuable source of a complete information picture about all stages of the construction of the transport system: from the key concept to the moment of operation.

Keywords: bridges, bridge structures, bridge construction, structural solutions, urban development, static scheme.

For citation: Uglov A.K., Kasatkin M.S. Construction solutions for bridge structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 2 (2). Pp. 31-38. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/31-38.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Любой мост является уникальным сооружением, так как не бывает идентичных исходных данных для проектирования. Люди нуждались в них с давних времён. С разрастанием городов и увеличением численности населения, а также появлением автомобилей и увеличением товарооборота между городами и странами, люди стали нуждаться в более крупных мостах с многополосным движением.

Степень изученности темы достаточно высока. Этот вопрос в своих трудах рассматривали зарубежные и отечественные специалисты, в том числе: Аверченко Г.А. [1-5], Алексеев С.В. [6, 7], Большев А.С. [8] и другие исследователи [9-13].

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

Первые мосты представляли собой опорные балки, например, стволы деревьев, которые укладывались поперёк ручья. Чтобы балки не прогибались, при большой длине пролёта, сооружались дополнительные наклонные опоры, состоящие из других брёвен.

Огромный прорыв в развитии мостостроения совершили римляне. Они одними из первых начали организованное строительство мостов, чтобы облегчить свои военные компании. Ими создавались полноценные гильдии строителей мостов, которые осуществляли свою деятельность по всей стране. Помимо этого, римлянами был открыт природный цемент, который был назван «пуццолана», использовавшийся для создания пирсов в реках. Особенностью римских мостов является их арочная форма, позволившая создавать гораздо более длинные пролёты, помимо этого, такие мосты отличались своей прочностью, по сравнению с деревянными аналогами. Изобретённый римскими строителями «коффердам» – временное ограждение из деревянных свай, вбитых в русло реки, позволил создавать бетонные опоры прямо посередине реки. Применение коффердамов в наше время приведено на рис.1.

После падения Римской империи развитие технологий строительства мостов значительно замедлилось, но не прекратилось. Очередное «новшество» появилось в средние века, когда стали использоваться остроконечные арки. В эту эпоху мосты использовались не только для пересечения различных препятствий, но и для размещения на них домов, торговых лавок, часовен, либо же башен и крепостных вольев. Помимо остроконечных арок, в средние века впервые стали использоваться подъёмные мосты. Одним из выдающихся мостов того времени считается Лондонский мост (рис.2), построенный в 1209 году и состоящий из 19 остроконечных арок длиной от 4,5 до 10,2 метров.



Рис.1. Современное использование коффердамов¹
Fig. 1. Modern use of rubber dams



Рис.2. Старый Лондонский мост, Англия²
Fig. 2. Old London Bridge, England

Эпоха Возрождения так же стала знаменательной для мостостроения. Мостостроение набирало свои обороты, а технологии строительства становились все более совершенными. К середине XVIII века каменное строительство достигло своего расцвета. Инженеры того времени создавали довольно ровные арки. Одним из таких мостов является мост Ватерлоо (рис.3), построенный Джоном Ренни.

¹ Remote Control Functions on a Flat Top Potain Tower Crane boost Serbian bridge reconstruction productivity [Электронный ресурс]. - URL: <https://cranemarket.com/blog/remote-control-functions-on-a-flat-top-potain-tower-crane-boost-serbian-bridge-reconstruction-productivity> (дата обращения: 07.08.2021)

² Мостостроение [Электронный ресурс]. – URL: <https://art-grea.ru/mostostroenie.html> (дата обращения: 07.08.2021)

Промышленная революция и повсеместное использование металлоконструкций повлияли и на сферу строительства мостов. Благодаря своей прочности и относительной дешевизне, железо и чугун быстро стали набирать популярность в качестве основного материала моста. Первый мост на основе железа был построен в 1779 году Абрахамом Дарби. Он представлял из себя ребристую конструкцию, почти полукруглой формы. Изображение моста представлено на рис.4. Однако, благодаря прочности железа, мост имел пустые полости в своей конструкции, которые позволили ему пережить наводнение в 1795 году, что и стало толчком в распространении железных мостов. Использование ковального железа позволило дизайнерам отклониться от устоявшихся технологий строительства мостов и внести что-то абсолютно новое, например, в начале 19-ого века стали сооружаться первые цепные подвесные мосты.



Рис.3. Мост Ватерлоо через реку Темза, Англия³
Fig. 3. Waterloo Bridge over the River Thames, England



Рис.4. Первый железный мост через р. Северн, Англия⁴
Fig. 4. First iron bridge over the River Severn, England

С появлением железобетона, отличавшимся своими несущими качествами, в строительстве, длина пролётов возросла до невообразимых пределов. Так, в 1899 году был построен мост через реку Хеннебик в Шательро, Франция, который считался самым длинным арочным мостом 19-ого века (рис.5). Он имеет три арки, каждая из которых простирается на 48 метров.

Самый знаменитый мост из железобетона был построен в 20-ом веке через устье реки Элорн, Франция. Инженером-проектировщиком был француз Эжен Фрейсине. Этот мост, построенный в 1930 году, получил название Плугастель (рис.6). Он имел 3 огромных арочных пролёта, каждый из которых 176 метров длиной. Из-за масштабов моста Фрейсине пришлось изучать ползучесть бетона под напряжением, что, в дальнейшем, поспособствовало разработке технологии предварительного напряжения, которая заключалась в том, что бетон перед строительством проходил стадию дополнительного сжатия с использованием высокопрочной стали.



Рис.5. Мост через реку Хеннебик в Шательро, Франция⁵
Fig. 5. Bridge over the Hennebic river in Chatellerault

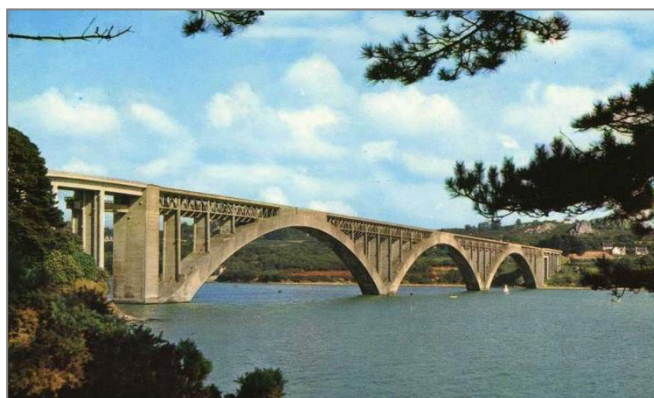


Рис.6. Мост Плугастель через реку Элорн, Франция⁶
Fig. 6. Plugastel Bridge over the Elorn River, France

³ Waterloo Bridge, London [Электронный ресурс]. – URL: <https://thearkofgrace.com/2012/06/21/waterloo-bridge-london/> (дата обращения: 09.08.2021)

⁴ Абрахам Дарби [Электронный ресурс]. – URL: <https://quakers.ru/абрахам-дарби/> (дата обращения: 09.08.2021)

⁵ Châtellerault [Электронный ресурс]. – URL: <https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/368445/1245031> (дата обращения: 09.08.2021)

⁶ Brest [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.simplonpc.co.uk/Brest.html> (дата обращения: 09.08.2021)

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Основные элементы моста – это опоры, пролётное строение и проезжая часть. Опоры на концах моста называют устоями или береговыми опорами, а те, что находятся в воде и основаны на поддонном грунте – промежуточными опорами или быками. Пролёт – это расстояние между соседними опорами. На определённой высоте, зависимой от подмостового судоходного габарита и высотных отметок проезда по мосту, его перекрывает пролётное строение, закреплённое на опорах. По проезжей части пролётного строения проходит ездовое полотно для транспорта, либо, если мост пешеходный – пешеходное полотно.

Существует множество различных типов мостов, поэтому их классифицируют по тем или иным основным признакам. Рассмотрим некоторые виды классификаций.

Таблица 1. Классификация мостовых сооружений
 Table 1. Classification of bridge structures

Признак классификации	Вид и описание мостового сооружения
Материал	<i>Деревянные</i> - несущие элементы пролётного строения таких мостов изготовлены из дерева
	<i>Каменные</i> (рис.3) - опоры и пролётные строения выполнены из каменной кладки
	<i>Железобетонные</i> (рис.6) - основные несущие элементы изготовлены из железобетона
	<i>Стальные</i> (рис.4) - несущие элементы пролётного строения выполнены из стали
	<i>Сталежелезобетонные</i> - мосты из стальных и железобетонных элементов, объединённых между собой анкерами, принимающими сдвиг между сталью и бетоном
Размер	<i>Малые</i> - длиной до 25 метров
	<i>Средние</i> - длиной от 25 до 100 метров
	<i>Большие</i> - длиной свыше 100 метров, либо автодорожные длиной менее 100 метров, но с пролётами свыше 60 метров
	<i>Внеклассные мосты</i> - эстакады с пролётами более 100 м или полной длины свыше 300 м с пролётами более 60; мосты со сложными статическими схемами; системы совмещённых мостов с движением в одном или разных уровнях; мосты разводных систем
	<i>Мосты (мостовые переходы)</i> - мосты через реки или другие водные препятствия
Тип	<i>Путепроводы</i> - мосты через железные и автомобильные дороги
	<i>Виадук</i> (рис.7) – мосты, перекрывающие ущелья или узкие долины
	<i>Эстакады</i> (рис.8) – длинные мосты, как правило одной высоты, с небольшими пролётами, перекрывающие суходолы или поймы рек, а также проходящие по застроенным территориям в городах
	<i>Разводные мосты</i> (рис.9) – мосты с перемещающимися пролётами для пропуска судов
	<i>Наплавные мосты</i> – мосты, которые в качестве опор используют плавучие средства
	<i>Балочные мосты</i> – пролётные строения представляют собой изгибаемую балку со сплошной стенкой
Статические схемы	<i>Фермы</i> (рис.10) – мосты, у которых балочные пролётные строения выполнены из ферм: стержневых систем с неизменной геометрией и объединением в узлах шарнирами, работающих на основную нагрузку
	<i>Арочные мосты</i> (рис.3) – пролётные строения представляют собой арку
	<i>Висячие мосты</i> (рис.11) – балка жёсткости таких сооружений закреплена при помощи подвесок на кабелях, перекинутых через пилоны
	<i>Вантовые мосты</i> (рис.12) – балка жёсткости придерживается наклонными канатными элементами, закреплёнными на пилонах
	<i>Консольные мосты</i> (рис.13) – это мосты, пролётные строения которых свешиваются за пределами опор, и состоят из анкерной части, находящейся между опорами, и части, свешивающейся от опоры до конца фермы (консоли). Расстояние между опорой и концом консоли, а также между двумя консолями перекрывается подвесными пролётными строениями
	<i>Рамные мосты</i> (рис.14) – пролётное строение и опоры связаны между собой изгибом

В Красноуфимском районе Свердловской области на железнодорожной линии Москва – Казань – Екатеринбург построено сразу несколько виадуков. Один из самых красивых расположен около поселка Пудлинговый (рис.7).

Эстакада – это инженерное сооружение для размещения дороги выше уровня земли. Она позволяет развести транспортные потоки в месте пересечения дорог на несколько уровней, чем снизить возможность образования автомобильных пробок на определенном участке (рис.8).



Рис.7. Виадук в Свердловской области (перегон Чёрная Речка – Пудлинговый), Россия⁷

Fig. 7. Viaduct in the Sverdlovsk region (section Chornaya Rechka - Pudlingovy), Russia



Рис.8. Эстакада Северо-восточной хорды в Москве, Россия⁸

Fig. 8. Overpass of the Northeast Expressway in Moscow, Russia

Большое количество разнообразных мостовых сооружений можно увидеть в Санкт-Петербурге: разводные (рис.9) и вантовые (рис.12) мосты, эстакады, различные путепроводы и др. Каждый мост имеет свою историю, свои конструктивные особенности, свой неповторимый архитектурный облик.

В качестве разновидностей мостов в зависимости от статической схемы можно привести мост со статической схемой типа Ферма в Швеции (рис.10) и мост с рамной статической схемой в Финляндия (рис.14).



Рис.9. Дворцовый мост в Санкт-Петербурге, Россия⁹
Fig. 9. Palace Bridge in Saint Petersburg, Russia



Рис.10. Мост со статической схемой типа Ферма, Швеция¹⁰

Fig. 10. Static Truss Bridge, Sweden

⁷ Шотландская железная дорога Виадук Гленфиннан [Электронный ресурс]. – URL: <https://fishki.net/mix/2019726-shotlandskaja-zheleznaja-doroga-viaduk-glenfinnan-bolshe-izvestna-miru-kak-doroga.html?sign=42202959217161%2C248336044573164> (дата обращения: 12.08.2021)

⁸ В Москве открыт новый участок Северо-Восточной хорды [Электронный ресурс]. – URL: <https://productcenter.ru/articles/russia/16074/v-nbsp-moskvie-otkryt-novyi-uchastok-sieviero-vostochnoi-khordy> (дата обращения: 12.08.2021)

⁹ Санкт-Петербург. Мосты [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fotoprizer.ru/foto-alboms/alboms/sankt-peterburg-mosti/?q=488&albm=5979> (дата обращения: 12.08.2021)

¹⁰ Швеция [Электронный ресурс]. – URL: <https://pixabay.com/ru/photos/швеция-мост-архитектуры-небо-77223/> (дата обращения: 12.08.2021)

Еще одним ярким примером зарубежного мостостроения является висячий мост в Тароко, Тайвань (рис.11). Использование мостов висячего типа часто связано с невозможностью установить мост на опорные столбы.



Рис.11. Висячий мост в Тароко, Тайвань¹¹
Fig. 11. Suspension bridge in Taroko, Taiwan



Рис.12. Большой Обуховский мост, Санкт-Петербург¹²
Fig. 12. Big Obukhovskiy bridge, Saint Petersburg

Консольные мосты представляют собой конструкции, пролётные строения которых свешиваются за пределы опор, и состоят из анкерной части, находящейся между опорами, и части, свешивающейся от опоры до конца фермы (консоли). Примером такого вида мостового сооружения является мост Форт-бридж в Шотландии (рис.13). Консольные мосты сейчас почти не строят из-за ощутимых деформаций в местах шарниров и большого расхода стали.



Рис.13. Мост Форт-бридж в Шотландии¹³
Fig. 13. Fort bridge in Scotland

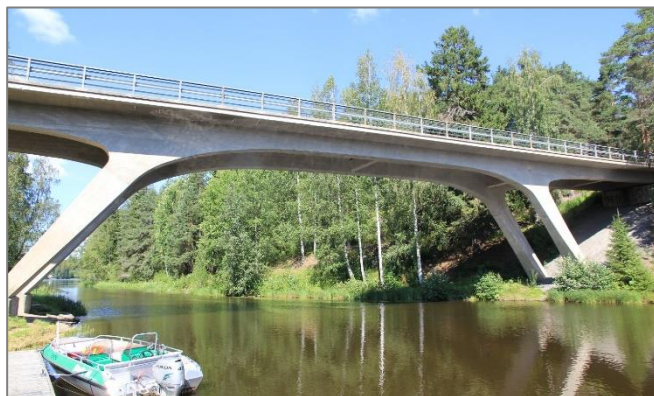


Рис.14. Мост с рамной статической схемой в Састамале, Финляндия¹⁴
Fig. 14. Static frame bridge in Sastamala, Finland

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия все чаще приходится решать проблемы повышения грузоподъемности и пропускной способности старых мостов, а также сохранения их исторического облика с восстановлением утраченных или находящихся в неудовлетворительном состоянии элементов архитектурного убранства.

С каждым годом строительство мостовых сооружений приобретает все больший масштаб. Усложняются конструктивные и архитектурные формы мостовых сооружений, осваиваются новейшие

¹¹ Мост в Тароко [Электронный ресурс]. – URL: <https://pxhere.com/ru/photo/1169098> (дата обращения 13.08.2021)

¹² Большой Обуховский мост [Электронный ресурс]. – URL: <https://mos-holidays.ru/spb/mosty/bolshoj-obukhovskij-most/> (дата обращения: 13.08.2021)

¹³ Мост Форт-Бридж (Forth Bridge) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.bridgesall.ru/blog/most_forth_bridzh_forth_bridge/2012-12-01-22 (дата обращения: 13.08.2021)

¹⁴ Bridge over Otamusjoki river in Sastamala [Электронный ресурс]. – URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Otamusjoen_silta_2.JPG (дата обращения: 13.08.2021)

строительные технологии и материалы. Контролировать и управлять крупными технологическими процессами невозможно без использования компьютерных технологий. В этой связи всё более широкое применение в области строительства находят BIM-технологии.

Внедрение BIM-технологий в мостостроение позволяет существенно сократить рабочее время и финансовые затраты, так как дает возможность спроектировать и заранее протестировать работоспособность всех инженерных решений и концепций ещё до начала процесса строительства [13]

Информационная модель является ценнейшим источником полной информационной картины обо всех этапах строительства транспортной системы: от ключевой концепции до момента эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуга Н.А., Аверченко Г.А., Васильев К.А., Борисов В.А., Исмаилов А.М. Планирование затрат и пути совершенствования службы эксплуатации мостов // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 30-41.
2. Аверченко Г.А., Баланин А.П., Новоселов А.В., Даляев Н.Ю. Пути повышения качества содержания, ремонта, реконструкции и строительства мостовых сооружений // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 3 (15). С. 36-48.
3. Пискун А.С., Ганец Г.В., Аверченко Г.А. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаха // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 957-967. DOI:10.22227/1997-0935.2020.7.957-967
4. Зорина Е.А., Ким Дэ Ун, Аверченко Г.А., Уколов С.А. Устойчивость конструкций автодорожных и железнодорожных мостов при вынужденных колебаниях стержневых систем // Путевой навигатор. 2021. № 47 (73). С. 39-47.
5. Васильев К.А., Борисов В.А., Аверченко Г.А. Понтонные (наплавные) мосты из некондиционных труб полиэтилена низкого давления // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 37-45.
6. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
7. Трифонова А.А., Алексеев С.В., Егосин А.М. Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов // Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 42-54.
8. Большев А.С., Благовидова И.Л., Пьянов А.В. Проектирование и реализация морской операции по установке пролетных строений крымского моста // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2018. № 52-53. С. 6-22.
9. Жосан А., Папин В. Проблемы современного мостостроения // Инженерные исследования. – 2021. – № 1(1). – С. 20-25.
10. Руссу М.В., Портных М.Д., Гамаюнова О.С. Исторический аспект строительства мостов Санкт-Петербурга // Творчество и современность. 2020. № 1 (12). С. 44-53.
11. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 27-36.
12. Guzeev R.N., Domaingo A. Long span bridges buffeting response to wind turbulence // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 1 (93). С. 35-49.
13. Морина Е.А., Макаров А.И. BIM-технологии в мостовом проектировании // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 6 (57). С. 30-46.

REFERENCES

1. Guga N.A., Averchenko G.A., Vasiliev K.A., Borisov V.A., Ismailov A.M. Cost planning and ways to improve the bridge operation service // Transportnyye sistemy i tekhnologii [Transport systems and technologies]. 2021. T. 7. No. 2. Pp. 30-41.
2. Averchenko G.A., Balanin A.P., Novoselov A.V., Dalyaev N.Yu. Ways to improve the quality of maintenance, repair, reconstruction and construction of bridge structures // Aktual'nyye problemy voyenno-nauchnykh issledovaniy [Actual problems of military scientific research]. 2021. No. 3 (15). Pp. 36-48.
3. Piskun A.S., Ganets G.V., Averchenko G.A. Methods of full-scale inspection of a reinforced concrete bridge on the example of a bridge across the Kosopasha river // Vestnik MGSU. 2020.Vol. 15.No. 7. Pp. 957-967. DOI:10.22227/1997-0935.2020.7.957-967
4. Zorina E.A., Kim Dae Un, Averchenko G.A., Ukolov S.A. Stability of structures of road and railway bridges under forced vibrations of rod systems // Putevoy navigator [Travel navigator]. 2021. No. 47 (73). Pp. 39-47.
5. Vasiliev K.A., Borisov V.A., Averchenko G.A. Pontoon (floating) bridges made of substandard low-pressure polyethylene pipes // Transportnyye sistemy i tekhnologii [Transport systems and technologies]. 2021. T. 7. No. 1. Pp. 37-45.
6. Alekseev S.V., Trepalin V.A., Shevchenko S.M., Trifonova A.A. Modern methods of improving the design of expansion joints of road bridges // Putevoy navigator [Travel navigator]. 2020. No. 43 (69). P. 3.
7. Trifonova A.A., Alekseev S.V., Egoshin A.M. Actual designs of expansion joints of road bridges // Transportnyye sistemy i tekhnologii [Transport systems and technologies]. 2021. T. 7. No. 2. Pp. 42-54.

8. Bolshev A.S., Blagovidova I.L., Pyanov A.V. Design and implementation of a marine operation to install spans of the Crimean bridge // Nauchno-tehnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva [Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping]. 2018. No. 52-53. Pp. 6-22.
9. Zhosan A., Papin V. Problems of modern bridge construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering research]. 2021. No. 1 (1). Pp. 20-25.
10. Russu M.V., Portnykh M.D., Gamayunova O.S. The historical aspect of the construction of bridges in St. Petersburg // Tvorchestvo i sovremennost' [Creativity and modernity]. 2020. No. 1 (12). Pp. 44-53.
11. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // AlfaBuild. 2019. No. 1 (8). Pp. 27-36.
12. Guzeev R.N., Domaingo A. Long span bridges buffeting response to wind turbulence // Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 1 (93). Pp. 35-49.
13. Morina E.A., Makarov A.I. BIM technologies in bridge design // Construction of unique buildings and structures. 2017. No. 6 (57). Pp. 30-46.

ОБ АВТОРАХ

Алексей Константинович Углов – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: uglov.ak@edu.spbstu.ru

Матвей Сергеевич Касаткин – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: kasatkin.ms@edu.spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Alexey K. Uglov – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: uglov.ak@edu.spbstu.ru

Matvey S. Kasatkin – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: kasatkin.ms@edu.spbstu.ru