

Коргин А.В., д-р техн. наук, проф.,  
Романец В.А., аспирант,  
Ермаков В.А., канд. техн. наук, доц.,  
Зейд Килани Л.З., ст. препод.

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*В статье авторы рассматривают мировой опыт применения алюминиевых сплавов при строительстве и реконструкции мостов: мост через реку Сагены (Канада), подъемный мост «Riekerhavenburg» (Нидерланды), Мост «Real Ferdinando» (Италия), подъемный мост «Gateshead Millennium Bridge» (Англия), пешеходный мост в Катаре, «Коломенский мост» в Санкт-Петербурге и пешеходные мосты в Нижнем Новгороде. Представлены качества алюминиевых сплавов, выгодно отличающие их от других строительных материалов. Авторы рассмотрели технологию замены стале-железобетонных плит проезжей части мостов на алюминиевую плиту, что позволяет в несколько раз снизить вес конструкции при значительном увеличении грузоподъемности реконструируемого моста. Помимо ряда очевидных преимуществ мостов из алюминиевых сплавов, указаны факторы, сдерживающие их более широкое внедрение на территории Российской Федерации. Перечислены нормативные документы, действующие в США и странах Европейского Союза. Рассмотрена программа испытаний серии образцов из нескольких алюминиевых сплавов и полноразмерного пешеходного моста с целью определения характеристик этих материалов.*

*Применение алюминиевых сплавов в строительстве мостов является выгодным с коммерческой точки зрения, снизит влияние операций технического обслуживания конструкций на окружающую среду, приведет к минимизации потребления материалов.*

**Ключевые слова:** *алюминиевые сплавы, строительство мостов, реконструкция, нормативная документация, обзор.*

**Введение:** Одной из важнейших современных тенденций развития промышленности и строительства является все более расширяющееся использование современных инновационных материалов и технологий. К таким материалам, безусловно, относится алюминий [1, 2], по праву носящий название «материал 21-го века», находящий широчайшее применение во многих сферах промышленного производства. Так, например, алюминий и сплавы на его основе, на сегодняшний день, широко применяются в авиационной, электротехнической, автомобильной, транспортной и строительной отрасли (конструкции покрытий не подверженные циклической нагрузке).

Данные сферы применения обусловлены качествами, выгодно отличающими алюминий от других материалов:

- низкий удельный вес (треть от удельного веса стали);
- высокая удельная прочность – превосходящая сталь и бетон;
- высокие показатели вязкости разрушения;
- повышенная сейсмостойкость конструкций как следствие уменьшения веса и более высокой демпфирующей способности при сравнительно низком модуле Юнга;

- отличная прессуемость алюминия позволяет получать строительный профиль практически любой формы, обеспечивающей оптимальное размещение металла в зонах с наиболее высокой нагрузкой;

- превосходная коррозионная стойкость отдельных сплавов в агрессивных условиях дорожных реагентов и атмосферных осадков избавляет от необходимости периодического окрашивания конструкций;

- легкость производства крупногабаритных широких панелей требуемой длины позволяет вынести сборку конструкций за пределы стройплощадки, что позволит значительно сэкономить время монтажа конструкций;

- высокая доходность утилизации при минимальных потерях.

При данных очевидных преимуществах, тем не менее, алюминий и сплавы на его основе обладают рядом недостатков:

- повышенная деформативность конструкций за счет низкого модуля упругости;

- пониженная сопротивляемость усталостным разрушениям при динамическом характере воздействий;

- повышенная чувствительность алюминиевых сплавов к концентрации напряжений;

- риск гальванической коррозии в зонах контакта со стальными элементами конструкций.

Сопоставление преимуществ и недостатков алюминиевых сплавов показывает, что применение данных материалов возможно в области пролетных строений и мостов.

#### Обзор алюминиевых мостов за рубежом:

Значительная доля строительства мостов из алюминиевых сплавов за рубежом [3–8] говорит о том, что применение указанных материалов прошло проверку временем и доказало свою целесообразность.

Первый полностью алюминиевый мост в США был построен в 1946 году через реку Грасс компанией Alcoa Inc. Целью строительства являлась демонстрация возможности использования алюминиевых сплавов при строительстве мостов. В Канаде первый алюминиевый мост был возведен через реку Сагней в 1950 году (фото 1).

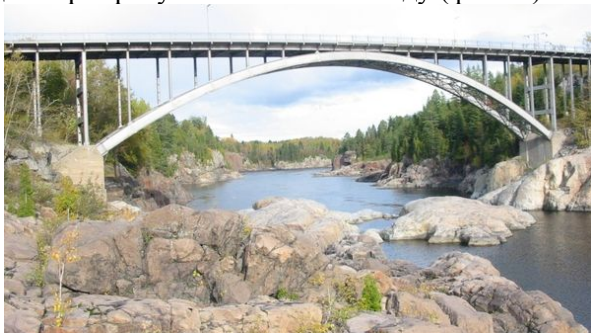


Фото 1. Мост через реку Сагней

Другие примеры современных полностью алюминиевых автомобильных мостов, как правило, предназначены для специальных случаев, когда малый вес особенно важен для получения успешной конструкции. К их числу относятся подъемные (или разводные) мосты, например, мост Riekerhavenburg, построенный в Нидерландах в 2003 году (фото 2, 3), плавучие мосты и подвижные мосты для спасательных и военных целей.



Фото 2. Плавучая переправа

Примером применения алюминиевых сплавов при проведении реконструкции является автомобильный подвесной мост «Real Ferdinando», расположенный в Италии, в котором продольные и поперечные балки настила были заменены на

балки из сплавов 7020Т6 и 6060Т6 соответственно (фото 4).



Фото 3. Подъемный мост Riekerhavenburg в Нидерландах



Фото 4. Мост «Real Ferdinando», Италия

Тенденция развития экологически чистых видов транспорта в Европе и Северной Америке привела к разработке алюминиевых пешеходных мостов с велосипедными дорожками. В первую очередь, сюда относится оригинальный подвесной мост через р. Тайн около г. Ньюкасла в Англии (Gateshead Millennium Bridge).

Мост, конструкция которого весит 800 т, предназначен для движения пешеходов и велосипедов в крупнейший английский культурно – развлекательный комплекс. Алюминиевое полотно моста и стальная несущая конструкция, к которой подвешено полотно, представляют собой дуги, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях. Для пропуска морских судов обе дуги моста поворачиваются на 45° относительно горизонтальной оси (фото 5).

Полностью из алюминиевого сплава был построен пешеходный мост пролётом 80 м в городе Доха, Катар (фото 6).



Фото 5. Подъемный мост Gateshead Millennium Bridge, Англия:

*а* – положение моста для движения пешеходов и велосипедистов; *б* – положение моста для движения судов



Фото 6. Пешеходный мост, Катар

**Обзор нормативных документов:** Увеличение объемов строительства мостов за рубежом обусловлено принятием нормативных документов для проектирования. Так, например, нормативным документом в США регламентирующим правила проектирования мостов из алюминиевых сплавов является AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Раздел по проектированию из алюминиевых сплавов был внесен в 2007 году.

Канадский норматив CAN/CSA-S6 (Canadian Highway Bridge Design Code – Проектирование автодорожных мостов) осенью 2011 года был дополнен приложением «Алюминиевые конструкции».

В странах Европейского союза, на данный момент, для проектирования мостов из алюминиевых сплавов используются Еврокод EN 1999-1-3.

Основной причиной отсутствия широкого распространения строительства мостов из алюминиевых сплавов в Российской Федерации [9] от зарубежных стран является отсутствие нормативной документации, регламентирующей проектирование таких мостов.

Необходимость разработки специальных технических условий (СТУ) для каждого объекта затрудняет массовое внедрение алюминиевых сплавов в мостостроение в нашей стране.

**Обзор алюминиевых мостов в РФ:** Существует опыт применения алюминиевого сплава при строительстве пешеходного моста в СССР. Строительство осуществлялось в 1968–1969 гг. Данный мост существует в настоящее время, он пересекает канал Грибоедова в г. Санкт-Петербург (Коломенский мост) (фото 7).



Фото 7. Коломенский мост

В 2017 году были установлены пешеходные мосты из алюминиевых сплавов в Нижегородской области (фото 8).

Сборка мостов производилась на заводе металлоконструкций и, благодаря небольшому весу, они монтировались путем установки готовых пролетов в проектное положение.



Фото 8. Монтаж пешеходного моста, 2017 год

**Выводы:** Легкие алюминиевые конструкции могут найти применение не только при строительстве новых мостов, но и при реконструкции или расширении существующих [10, 11, 12]. Например, государственные программы «Развитие индустрии отдыха и туризма на 2012-2018 годы» и «Развитие транспортной системы» включают в себя программу развития велоинфра-

структуры в г. Москва. Основываясь на зарубежном опыте, можно утверждать, что дополнительное устройство велосипедных полос на действующих автомобильных мостах приведет к образованию новых велосипедных маршрутов, и, как следствие, к развитию велоинфраструктуры в городе. Принципиальная схема такого устройства велодорожек представлена на рис. 9.

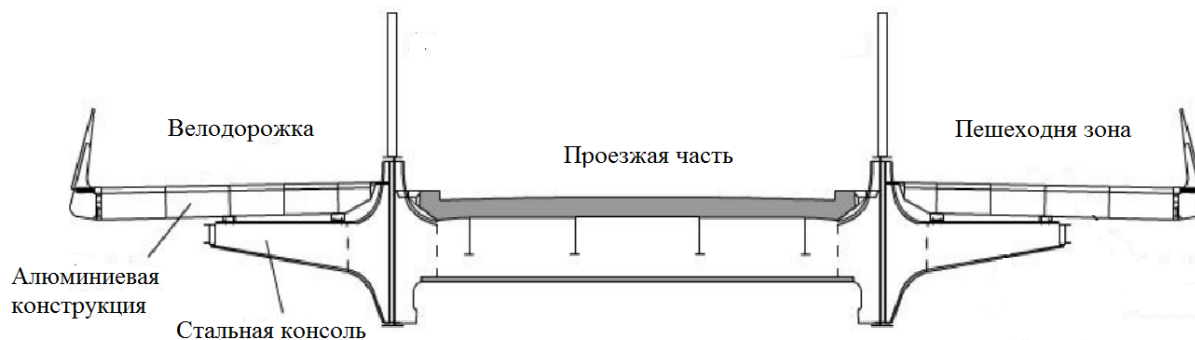


Рис. 9. Схема реконструкции автомобильных мостов с устройством велодорожек

Важной особенностью использования алюминиевых сплавов при реконструкции существующих мостов является технология замены сталежелезобетонных плит проезжей части на алюминиевую плиту [13], что позволяет в несколько раз снизить вес конструкции при значительном увеличении грузоподъемности реконструируемого моста.

Наиболее совершенной готовой конструкцией полотна моста является конструкция, разработанная на основе ортотропной панели компаниями Reynolds (RMC – входит в компанию Alcoa) и High Steel Structures (HSS), носящая фирменное название Alumodeck (рис. 10).



Рис. 10. Ортотропная панель системы Alumodeck

Прессованные панели [14, 15] из сплава 6061Т6 сваривают в секции. Рабочую поверхность проезжей части покрывают синтетической смолой с песчаным наполнителем, что обеспечивает снижение удельной «мертвой» нагрузки до  $80 \text{ кг/м}^2$ .

Внедрение алюминиевых сплавов при строительстве мостов в сетях автодорог будет способствовать развитию транспортной системы России, от которой, в свою очередь, зависит рост

ВВП. Применение алюминиевых сплавов позволит оперативно возводить и реконструировать мосты, в местах труднодоступных для размещения большого количества строительной техники, проводить монтаж или реконструкцию мостов на загруженных трассах без длительного перекрытия движения транспорта.

Конструкции из алюминиевых сплавов могут найти применение при реконструкции мостов с железобетонным полотном. Применение современных дорожных плит из алюминиевых сплавов значительно снизит собственный вес дорожного полотна, что в некоторых случаях позволит произвести расширение проезжей части.

Однако, помимо ряда очевидных преимуществ мостов из алюминиевых сплавов, существуют факторы, сдерживающие их более широкое внедрение. Помимо особенностей, усложняющих проектирование и реализацию узловых соединений алюминиевых конструкций, и отсутствия большого количества высококвалифицированных специалистов, весомой причиной является отсутствие нормативно-технической базы, позволяющей проектировать мосты из алюминиевых сплавов.

Одной из основных причин отсутствия, на сегодняшний день, отечественной нормативной документации по проектированию мостов из алюминиевых сплавов является недостаточный объем экспериментальных исследований по таким, важным для мостостроения, свойствам материалов, как усталостные характеристики, чувствительность к концентрации напряжений.

По инициативе Алюминиевой Ассоциации и ОК «РУСАЛ» на базе НИУ МГСУ ведется разработка свода Правил «Мосты с конструкциями из

алюминиевых сплавов. Правила проектирования».

Документ восполнит пробелы в существующих нормативах (СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы»), представит методику расчета конструкций из алюминиевых сплавов на усталость для возможности их применения в мостовых сооружениях, и, как следствие, вызовет увеличение объемов проектирования и строительства на территории России.

Для разработки данного документа была составлена программа испытаний серии образцов из нескольких алюминиевых сплавов и полноразмерного пешеходного моста.

Испытания образцов включают в себя:

- испытания на растяжение;
- испытания на ударный изгиб;
- испытания для оценки трещиностойкости;
- испытания на усталость.

Как наиболее перспективные для использования в мостостроении, для исследования выбрано 3 алюминиевых сплава:

1. Сплав АД35 системы Al-Mg-Si;
2. Сплав 1915Т системы Al-Zn-Mg;
3. Сплав 1565С системы Al-Mg.

Результаты испытаний позволят сделать выводы о работе этих материалов при усталостных нагрузках и влиянии концентраторов напряжений, характерных для мостовых сооружений.

Применение алюминиевых сплавов в строительстве мостов является выгодным с коммерческой точки зрения, снизит влияние операций технического обслуживания конструкций на окружающую среду, приведет к минимизации потребления материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гросу Р.А. Перспективы применения сталеалюминиевых конструкций в мостостроении // В сборнике: Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014) Материалы Международной научной конференции молодых ученых, Томск, 2014, С. 383–390.

2. Горбунов Ю.А. Глубокая переработка алюминиевых сплавов в РФ и возможности ее развития в Красноярском крае // Журнал сибирского федерального университета. Серия:

техника и технологии. 2016. №7. С. 1120–1130.

3. Road and pedestrian bridges in aluminium, Executive Summary, Report on visits and meetings in Sweden, Holland, and the United States, Aluminium Association of Canada, 2015.

4. Siwowski T., Aluminium bridges – Past, Present and Future, Structural Engineering International. 2006. Vol. 4. Pp. 286–293.

5. Hoglund T., Nilsson L. Aluminium in Bridge Decks and in a New Military Bridge in Sweden, Structural Eng. Int. 2006. № 4. Pp. 348–351

6. Das S.K., Kaufman J.G., Aluminium alloys for bridges and bridge decks. The Minerals, Metals & materials Society. 2007. Pp. 61–72.

7. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Буреев А.К., Применение принципа тренсегрители для создания мостовых конструкций часть 2. Примеры мостов – тренсегрители // транспортные сооружения. 2017. №3 URL: <https://t-s.today/01TS317.html>

8. Yang Zhang, Jun Feng Qiu, Hei Bai. Application and research progress of aluminum alloy bridge decks, Key Engineering Materials. 2012. Pp. 763–770.

9. Трищенко В.И. Алюминиевые мосты: спрос отстает от предложения // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5 (72). С. 73–78.

10. Osman Hag-Elsafi and Screenivas Alampali, “Cost Effective Rehabilitation of two Aluminum Bridges on Long Island, New York, “Practice Periodical on Structural Design and construction“, August. 2002. Pp. 11–17.

11. Doksanovic T., Dzeba I., Markulak D. Applications of Aluminium Alloys in Civil Engineering, Tehnicki Vjestnik Tech. Gazzete. 2017. Pp. 1609–1618

12. Siwowski T. Structural behavior of aluminium bridge deck panels. Engineering structures. 2009. Vol. 31. Pp. 1349–1353.

13. Siwowski T. Test and finite element Analysis of an “Aluminium Lightweight Concrete” Composite Girder, structural Engineering International. 2006. Vol. 16. Pp. 319–325.

14. Siwowski T., Lakota W. Numerical and experimental dynamic analysis of aluminium bridge deck panel. Archives of Civil Engineering. 2005. Vol. 51. Pp. 587–607.

15. Siwowski T. FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel Archives of civil engineering. 2009. Vol. 3. Pp. 347–365.

*Информация об авторах*

**Коргин Андрей Валентинович**, доктор технических наук, профессор образовательного сектора НОЦ Испытание сооружений.

E-mail: [korguine@mgsu.ru](mailto:korguine@mgsu.ru)

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Романец Владимир Анатольевич**, аспирант образовательного сектора НОЦ Испытание сооружений.

E-mail: Ivolodia@mail.ru

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Ермаков Валентин Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент образовательного сектора НОЦ Испытание сооружений.

E-mail: ermakov@mgsu.ru

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Зейд Килани Лейс Зейдович**, старший преподаватель образовательного сектора НОЦ Испытание сооружений.

E-mail: lostprojekt@gmail.com

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в мае 2018 г.

© Коргин А.В., Романец В.А., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З., 2018

**Korgin A.V., Romanets V.A., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z.**

## **PROSPECTS AND PROBLEMS OF USING ALUMINUM ALLOYS IN THE CONSTRUCTION OF BRIDGES IN THE RUSSIAN FEDERATION**

*In the article, authors consider the world experience of using aluminum alloys in the construction and reconstruction of bridges: a bridge over the Saguenay River (Canada), the Riekerhavenburg lift bridge (Netherlands), the Real Ferdinando Bridge (Italy), the Gateshead Millennium Bridge (England) lift bridge, the Qatar pedestrian bridge, the "Kolomenski" Bridge in St. Petersburg and pedestrian bridges in Nizhny Novgorod. Advantages of Aluminum alloys properties over other materials are presented. The authors considered the technology of substituting steel reinforced concrete slabs for carriageway bridges on an aluminum plate, which allows reducing the weight of the structure and significantly increase in the lifting capacity of the reconstructed bridge. In addition to a number of obvious advantages of aluminum bridges, there are factors that do not allow their wide introduction on the territory of the Russian Federation. Current United States and European codes were analyzed. For determining properties of an aluminum alloys a testing program for a series of samples and a full-sized pedestrian bridge a testing program was compiled. The use of aluminum alloys in the construction of bridges is profitable from a commercial point of view, will reduce the impact of maintenance operations on the environment, leading to a minimization of the consumption of materials.*

**Keywords:** review, aluminum alloys, construction of bridges, reconstruction, regulatory documentation.

### **REFERENCES**

1. Groce R.A. The prospects of application of stalealuminevy designs in a bridge building. In the collection: Perspective materials in construction and the equipment (PMST-2014) Materials of the International scientific conference of young scientists, Tomsk, 2014, pp. 383–390.
2. Gorbunov Ju.A. Deep processing of aluminum alloys in Russia and possibilities of its development in the Krasnoyarsk territory. J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2016, no. 7, pp. 1120–1130.
3. Road and pedestrian bridges in aluminium, Executive Summary, Report on visits and meetings in Sweden, Holland, and the United States, Aluminium Association of Canada, 2015.
4. Siwowski T., Aluminium bridges – Past, Present and Future, Structural Engineering International, 2006, vol. 4, pp. 286–293.
5. Hoglund T., Nilsson L. Aluminium in Bridge Decks and in a New Military Bridge in Sweden, Structural Eng. Int, 2006, no. 4, pp. 348–351.
6. Das S.K., Kaufman J.G., Aluminium alloys for bridges and bridge decks. The Minerals, Metals & materials Society, 2007, pp. 61–72.
7. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Bureev A.K. Application of a tensegrity principle for creating bridge structures. Part 2. The "tensegrity" system overview. Russian journal of transport engineering, 2017, vol. 4, no. 3. Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS317.pdf> (In Russ.) DOI: 10.15862/01TS317
8. Yang Zhang, Jun Feng Qiu, Hei Bai. Application and research progress of aluminum alloy bridge decks. Key Engineering Materials, 2012, pp. 763–770.
9. Trishchenko V.I. Aluminium bridges: demand is behind the supply. Transport Rossijskoj Federacii, 2017, no. 5 (72), pp. 73–78.
10. Osman Hag-Elsafi and Screenivas Alampali, "Cost Effective Rehabilitation of two Aluminum Bridges on Long Island, New York, "Practice Periodical on Structural Design and construction", August, 2002, pp. 11–17.

11. Doksanovic T., Dzeba I., Markulak D. Applications of Aluminium Alloys in Civil Engineering, Tehnicki Vjestnik Tech. Gazzete, 2017, pp. 1609–1618.

12. Siwowski T. Structural behavior of aluminium bridge deck panels. Engineering structures, 2009, vol. 31, pp. 1349–1353.

13. Siwowski T. Test and finite element Analysis of an “Aluminium Lightweight Concrete”

Composite Girder, structural Engineering. International, 2006, vol. 16, pp. 319–325.

14. Siwowski T., Lakota W. Numerical and experimental dynamic analysis of aluminium bridge deck panel. Archives of Civil Engineering, 2005, vol. 51, pp. 587–607.

15. Siwowski T. FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel Archives of civil engineering. 2009, vol. 3, pp. 347–365.

*Information about the author*

**Andrey V. Korgin**, PhD, Professor.

E-mail: korguine@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering National Research University.  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

**Vladimir A. Romanets**, Postgraduate student.

E-mail: Ivolodia@mail.ru

Moscow State University of Civil Engineering National Research University.  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

**Valentin A. Ermakov**, PhD, Assistant professor

E-mail: ermakov@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering National Research University.  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

**Laith Z. Zeyd Kilani**, Senior lecturer.

E-mail: lostprojekt@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering National Research University.  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

---

*Received in May 2018*

**Для цитирования:**

Коргин А.В., Романец В.А., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Перспективы и проблемы применения алюминиевых сплавов при строительстве мостов в Российской Федерации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №9. С. 42–48. DOI: 10.12737/article\_5bab4a1a42eee3.23235487

**For citation:**

Korgin A.V., Romanets V.A., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z. Prospects and problems of using aluminum alloys in the construction of bridges in the russian federation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 9, pp. 42–48. DOI: 10.12737/article\_5bab4a1a42eee3.23235487