

М.М. Магомедов¹, И.Г. Овчинников²

¹Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
Саратов, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЭСТАКАД В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассматриваются особенности конструктивного обоснования решений автодорожных и железнодорожных эстакад в горной местности. Будучи важными элементами транспортной инфраструктуры, они позволяют подвижным составам и транспортным средствам не только преодолеть существующие преграды в горной местности, но и защитить их от негативных геологических процессов, протекающих в ней. Поэтому при проектировании горных эстакад необходимо учитывать сильную пересеченность рельефа и влияние рельефа на особенности протекания процессов стихийных бедствий, что позволит определить рациональное местоположение опор искусственного сооружения с целью минимизации негативного воздействия продуктов.

Осуществлен краткий анализ существующих статических схем эстакадных сооружений, целесообразности их применения как для автодорожных, так и для железнодорожных мостов. Показывается, что конструктивные решения, принимаемые для автодорожных эстакад, не во всех случаях актуальны для железнодорожных эстакад. При рациональном расположении опор балочно-неразрезная система является целесообразной для автодорожных эстакад ввиду ее экономичности и меньшего количества деформационных швов, в то время как для железнодорожных эстакад применение этого конструктивного решения может привести к потере устойчивости пути и излома рельсов. Также рассматриваются часто встречающиеся в горной местности геологические ситуации. Анализируется возможность применения спиральных эстакад, обсуждаются предпосылки конструктивного обоснования криволинейных в плане эстакад в горных условиях. Кроме того, отмечается существующая проблема образования наледи на ездовом полотне горных эстакад, заключающаяся в особенности аэродинамической работы воздушных потоков при их протекании через горные ущелья.

Ключевые слова: мост, горная местность, большепролетные мосты, конструктивное решение, стихийные бедствия, спиральная эстакада, криволинейная эстакада.

M.M. Magomedov¹, I.G. Ovchinnikov²

¹ Saratov State Technical University named after Y.Gagarin, Saratov, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF THE CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF THE OVERPASSES IN MOUNTAIN CONDITIONS

The article is devoted to the consideration of the constructive substantiation of roads' and railways' solutions in mountainous terrains. Being important elements of transport infrastructure, they allow rolling stock and vehicles not only to overcome obstacles in mountainous terrains, but also to protect them from negative geological processes taking place there. That's why, when designing mountain overpasses, it is necessary to take into account the strong ruggedness of the relief and its influence on the features of the course of natural disasters, which will make it possible to determine the rational location of the supports of an artificial structure in order to minimize the negative impact of products.

A short analysis of the existing static schemes of overpass structures was conducted, and the feasibility of their application for both road and railway bridges was examined. It is shown that the constructive solutions adopted for highway overpasses are not in all cases relevant for railway overpasses. A rational arrangement of supports will allow for beam-axle solution to be expedient for road overpasses due to its lower cost and a smaller number of expansion joints, while for railways the use of this constructive solution can lead to a loss of track stability and rail fracture.

In the article geological situations that are often encountered in mountainous terrains are also discussed. The possibility of using spiral overpasses is analyzed; the prerequisites for constructive substantiation of curvilinear overpasses in mountain conditions are also discussed. At the end of the article, the authors point out the existing problem of ice formation on the roadways of mountain overpasses, which includes, in particular, the aerodynamic work of air flows when they flow through mountain gorges.

Keywords: bridge, mountainous terrain, long-span bridges, constructive solution, natural disasters, spiral overpass, curvilinear overpass.

Введение

Важными элементами транспортной инфраструктуры являются автодорожные и железнодорожные мостовые сооружения, а среди мостовых сооружений немаловажное место занимают эстакады – многопролетные искусственные сооружения часто с малой величиной пролета (число пролетов от 8–10 и более). Эстакады часто используются при создании транспортных развязок на высокоскоростных автомагистралях, а также для обеспечения проезда над территорией, которая занята городскими объектами промышленного назначения [1]. Однако применение эстакад не ограничивается лишь их использованием в черте городской инфраструктуры, их можно применять и в горной местности в качестве подходов к мостовому сооружению более высокого класса, например, к вантовому или висячему мосту (рис. 1). Это позволяет не устраивать подходные насыпи высотой 20–25 м [2]. Также эстакады позволяют обеспечить безопасный проезд по крутым склонам горных массивов или поймам горных рек, где создание автомобильных или железных дорог затруднено из-за неопределенности границ пойменных частей рек.



Рис. 1. Использование эстакад в качестве подходных сооружений к вантовому мосту Baluarte, Мексика¹

Передвижение по сильнопересеченному рельефу горной местности становится сложной задачей из-за необходимости преодоления таких препятствий, как глубокие овраги и ущелья, горные реки с неопределимым стохастическим течением, камнепады, сели, оползни, обвалы – последние являются характерными для горной местности стихийными бедствиями. Такие факторы окружающей среды и определяют самое главное отличие горных эстакад от городских или же построенных на развязках. Отличие заключается в том, что городские эстакады влияют на окружающую среду практически односторонне (т.е. воздействие эстакад на грунт), а горные эстакады, кроме того, и сами испытывают негативное влияние окружающей среды. Значит, главной задачей при проектировании горных эстакад является выбор таких конструктивных решений, которые обеспечат безопасность как проезда транспортных средств, так и самих эстакад от стихийных процессов окружающей среды [3–5].

Анализ существующих видов статических схем эстакад

В практике мостостроения большое распространение получили эстакадные сооружения рамного, балочно-разрезного и балочно-неразрезного типа.

Балочно-разрезные эстакады обладают важным преимуществом, заключающемся в их «нечувствительности» к возможным перемещениям их опор как в вертикальном, так и в гори-

¹ Industry traffic [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.reduper.com/industry/traffic/bridge/river-bridge/baluarte-bridge> (дата обращения: 10.09.2021).

зонтальном направлении (возможные просадки опор, динамические удары продуктов обвалов, лавин, камнепадов и т.д.). Однако при проектировании криволинейных эстакад с разрезными пролетами необходимо ограничивать кривизну пролетного строения с целью недопущения его опрокидывания при монтаже из-за переноса центра тяжести за критическую величину. Еще одним существенным недостатком балочных разрезных эстакад является избыточное количество в них деформационных швов и опорных частей, то есть так называемых «болевых точек» мостового сооружения.

Балочно-неразрезные эстакады, в отличие от разрезных, обладают меньшей материалоемкостью за счет перераспределения усилий вследствие их статической неопределимости и из-за центральной передачи усилий на их опоры. Но этот вид конструктивного решения эстакад чувствителен к воздействию, возникающему вне системы «мост – транспорт», и из-за значительной длины ветви пролетов на ее концах появляются большие перемещения, что требует применения дорогих видов деформационных швов и опорных частей. При проектировании балочно-неразрезной эстакады необходимо располагать опоры в зоне, максимально недосыгаемой для продуктов стихийных бедствий, а там, где это решение невозможно, нужно использовать инженерную защиту опор [3, 4, 6].

Рамные конструкции отличаются от балочных тем, что опоры и ригели в них соединяются жестко. Также их важным отличием является то, что при действии вертикальных нагрузок на опоры передаются и распорные нагрузки. При создании эстакад с использованием рамных конструкций необходимо проектировать опоры более массивными, чем у балочных эстакад.

Исходя из проведенного краткого анализа, можно выделить балочно-неразрезные эстакады как наиболее целесообразные в горной местности для автодорожного транспорта. Что же касается эстакад для железнодорожного транспорта, то в их случае ситуация меняется кардинальным образом. Дело в том, что в железнодорожных мостовых сооружениях в восприятии усилий от движущегося поездного состава задействованы не только сами балочные конструкции, но и рельсы железнодорожных путей. Проведенный авторами [7] анализ поведения бесстыкового пути на эстакадах показывает, что при увеличении длины неразрезной ветви пролетов возрастают усилия в рельсах в зоне перехода от одной ветви пролетов к другой. Так, в случае применения балочно-неразрезной системы для эстакады торможение подвижного состава в этой зоне приводит к повышению продольных усилий в рельсах в три раза, по сравнению с рельсами, находящимися на подходной насыпи. Это говорит о необходимости уменьшения длины ветвей неразрезных пролетов протяженных эстакад, к которым и относятся горные эстакады, с целью недопущения излома рельсов и потери устойчивости пути. С этой точки зрения для железнодорожных эстакад рациональным конструктивным решением является балочно-разрезная система [7].

Кривизна эстакад в плане и предпосылки ее обоснования

Горная местность характеризуется сильной пересеченностью рельефа, о чем свидетельствует и сильная искривленность изолиний на ее карте. При необходимости проектирования эстакады с незначительным продольным уклоном и с относительно равными по высоте опорами последние нужно располагать в точках, близких к изолиниям одного и того же уровня, с соблюдением принятой величины шага-пролета. А в случае проектирования эстакады с руководящим продольным уклоном (обычно меньше максимально допустимого на 15–20 промилле) с целью преодоления высотной разницы опоры на изолиниях располагают так, чтобы каждая опора сдвигалась от изолинии, на которой находится предыдущая опора, на значение высотной разницы, преодолимой за величину шага-пролета. Однако в этих рассмотренных случаях траектория прохода эстакады по горной местности будет сильно искривленной, а радиусы поворотов часто будут выходить за критическую величину. Поэтому в горной местности при создании эстакад с нормированной кривизной поворотов сложно обойтись без создания разных по высоте опор (рис. 2). Разница в высоте опор может сказываться на их поведении во время землетрясения из-за отличающейся гибкости каждой опоры. Как показывает имеющийся опыт землетрясений, самыми уязвимыми элементами мостов являются опоры малой высоты [8, 9].

Рис. 2. Эстакада Sky Road²

Траектория прохода горных эстакад определяется не только исходя из соображений выбора оптимальной высоты ее опор, но и принимая во внимание необходимость обеспечения допустимого продольного уклона трассы. Зачастую существующие горные дороги и серпантины имеют величину продольного уклона, заведомо превышающую установленную максимально допустимую. Например, участок дороги перед въездом в южный портал Гимринского автодорожного тоннеля в Республике Дагестан имеет средний продольный уклон 90–100 промилле, что превышает максимально допустимое значение более чем в два раза. Это приводит к повышению аварийности участка дороги с большим уклоном, особенно в зимнее время. Решением проблемы может быть сооружение эстакад с нормированным продольным уклоном.

Следует отметить, что применение одноуровневых эстакад с траекторией без собственно замыкания в плане может не способствовать преодолению резкой разницы высоты в горном рельефе. В этом случае можно прибегнуть к созданию спиральной эстакады. Радиус спирали эстакады и ее продольный уклон будут определять величину преодолимой высоты. Примером реализации данного конструктивного решения может служить эстакада Kawasu – Nanadara в Японии (рис. 3) Такие конструктивные решения позволяют применять плоские рамные или пространственные опоры. В психологическом плане водителями транспортных средств проезд по таким искусственным сооружениям воспринимается как утомляющий, но с экономической точки зрения спиральные эстакады более экономичны [10].

Другой стороной проблемы криволинейных эстакад в горной местности является обеспечение безопасности проезда транспортных средств на поворотах, особенно в зимнее время. Как известно, образование наледи на дорожной одежде в горных условиях в зимний период года зависит от того, находится ли дорожная одежда на мостовом сооружении или же на земляном полотне. Данный фактор объясняется тем, что земляное полотно под дорожной одеждой служит «теплым» основанием, тогда как пролетное строение эстакады взаимодействует непосредственно с воздушной средой, температура которой отличается от температуры грунтов. Этот процесс в горной местности усугубляется и тем, что скорость воздушных потоков резко возрастает при их проходе через ущелья за счет уменьшения их сечения. Пренебрежение этой особенностью воздействия окружающей среды на дорожную одежду на эстакаде может привести к авариям из-за резкой перемены коэффициента трения колес транспортных средств при их переезде на эстакаду с «теплой» дорожной одежды на земляном полотне или на крутых поворотах эстакады [11].

² News [Электронный ресурс]. – URL: <https://min.news/en/society/6c7f609940f8c52237a588826bc8c83c.html> (дата обращения: 10.09.2021).



Рис. 3. Спиральная эстакада Kawazu – Nanadara³

Частые геологические ситуации, которые встречаются на горных эстакадах

Горные эстакады могут применяться для подведения горных дорог к большепролетным мостовым переходам, пересекающим сложные геологические препятствия, представленные следующими частными случаями:

1. **Конус выноса.** Как известно, он является результатом деятельности лавин и селей; в нем сосредоточены рыхлые обломочные материалы. Его пересечение возможно путем устройства подъездной дороги с боковым заходом внутрь, к вершине конуса. Данное решение хоть и позволит применить конструктивное решение моста с меньшим пролетом, но увеличит расходы на сооружение подходов. А в горах это сопряжено с увеличением сложных скальных работ [12]. Такое решение с маленьким подмостовым габаритом не очень целесообразно также ввиду причины, которую мы изложили выше. Поэтому в таком случае горную эстакаду сооружают непосредственно до начала границы конуса выноса. Дальнейшее пересечение осуществляется сооружением арочных, рамных, вантовых или висячих мостов с величиной пролета 100–150 м.

2. **Водораздел с крутыми продольными уклонами.** В таком случае при сооружении мостовых переходов с меньшим пролетом приходится устраивать длинные серпантины с уклоном, принимаемым с величиной, близкой к предельно допустимому уклону. Серпантины сооружаются с двух бортов горной реки и спускаются до самого дна речной долины по горным склонам нередко повышенной скальной обвальности или возможности схождения снежных лавин. Данное решение сопровождается значительным увеличением перепробега, земляных работ (нередко в скальных грунтах). В случае же применения горных эстакад повышается безопасность проезда транспортных средств, людей и животных.

3. **Горная река.** При проходе горной автомобильной или железной дороги по низу речной долины необходимо учитывать неопределенность, стохастичность направления и скорости течения горной реки, что ведет к неопределенности границ ее пойм. Рациональным решением в этом случае является применение эстакад, которые в зависимости от величины искривленности горной реки могут переходить с одного ее берега на другой (рис. 4). Однако применение эстакад с опорами, попадающими в течение горной реки, связано с риском возникновения их местного размыва за счет высоких кинематических речных характеристик [13–15].

³ Amusingplanet [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.amusingplanet.com/2013/02/kawazu-nanadaru-loop-bridge-japan.html> (дата обращения: 10.09.2021).



Рис. 4. Эстакада, проходящая по пойменным частям горной реки⁴

Заключение

Приведенные примеры иллюстрируют целесообразность применения эстакадных искусственных сооружений в горной местности. Данная статья не охватывает весь спектр проблем, с которыми сталкиваются при проектировании горных эстакад, однако отмеченные проблемы должны быть учтены при проектировании реальных объектов и потому должны быть всесторонне изучены, а конструктивные решения эстакад в горной местности усовершенствованы.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Bin Y., Gong-Lian D., Nan H. Recent development of design and construction of short span high-speed railway bridges in China // Elsevier. Engineering Structures. – 2015. – Vol. 100. – P. 707–717.
2. Бахтин С.А., Овчинников И.Г., Инамов Р.Р. Висячие и вантовые мосты. Проектирование, расчет, особенности конструирования. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1999. – 124 с.
3. Кортиев Л.И., Кортиев А.Л. Особенности взаимодействия дорожно-транспортного комплекса и природной среды в горных условиях и оценка риска природного и техногенного характера при чрезвычайных ситуациях // Вестник Воронежского государственного технического университета. Энергетика и рациональное природопользование. – 2015. – № 5 (3). – С. 27–33.
4. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И.И. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников, И.С. Шатилов. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – 216 с.
5. Shermuxamedov U., Salixanov S., Shaumarov S., Zokirov F. Method of selecting optimal parameters of seismic-proof bearing parts of bridges and overpasses on high-speed railway lines // Journal of Critical Reviews. – 2020. – Vol. 7, issue 11. – P. 1578–1585.
6. Kudryavtsev S., Ulitskii V., Alekseev S., Kondrat'ev S. Consideration of soil strata heterogeneity influence on differential foundation settlements of overpasses for high-speed railways // MATEC Web of Conferences. 2019. – Vol. 265, № 02003. – P. 1–6.
7. Смирнов В.Н., Дьяченко А.О., Дьяченко Л.К. Особенности проектирования мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Бюллетень результатов научных исследований. Строительство и архитектура. – 2017. – № 3. – С. 69–81.

⁴ Economics [Электронный ресурс]. – URL: <https://mkala.mk.ru/economics/2019/12/03/most-v-gorakh-dagestana-obydyotsya-v-47-mln.html> (дата обращения: 10.09.2021).

8. Курбацкий Е.Н., Пестрякова Е.А., Зернов И.И. Сейсмостойкость мостов. Теория и приложения. – М.: Издательство АСВ, 2021. – 276 с.
9. Ayala A.G., Escamilla M. Modal irregularity in continuous reinforced concrete bridges. Detection, effect on the simplified seismic performance evaluation and ways of solution // Proceedings of the VI European Workshop on Irregular and Complex Structures, Technion, Haifa, Israel. – 2011. – Vol. 24, № 8. – P. 103–119.
10. Antoniou F., Konstantinidis D., Aretoulis G. Analytical Formulation for Early Cost Estimation and Material Consumption of Road Overpass Bridges // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 12, № 7. – P. 716–725.
11. Магомедов М.М., Овчинников И.Г. Конструктивно-технологическое обоснование конструктивных решений горных мостовых сооружений // Транспортные сооружения. – 2021. – № 2.
12. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог: в 2 кн. – М.: Высш. шк., 2010. – Кн. 2. – 519 с.
13. Осипова Т.В., Осипов Д.Е. Проектирование опор мостового перехода с учетом формирования местного размыва // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 11.
14. Mubeen B., Salman B., Scour Reduction around Bridge Piers: A Review. International Journal of Engineering Inventions lines // International Journal of Engineering Inventions. – 2013. – Vol. 2, issue 7. – P. 07–15.
15. Алибеков А.К. Оценка размыва у свайных опор сооружений, пересекающих водотоки, с учетом показателей надежности и неоднородности грунтов основания // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. – № 45 (1). – С. 181–192.

References

1. Bin Y., Gong-Lian D., Nan H. Recent development of design and construction of short span high-speed railway bridges in China. *Elsevier. Engineering Structures*, 2015, vol. 100, pp. 707-717.
2. Bakhtin S.A., Ovchinnikov I.G., Inamov R.R. Visiachie i vantovye mosty. Proektirovanie, raschet, osobennosti konstruirovaniia [Suspension and cable-stayed bridges. Design, calculation and features of the construction]. Saratov, Sarat. gos. tekhn. un-t, 1999, 124 p.
3. Kortiev L.I., Kortiev A.L. Osobennosti vzaimodeistviia dorozhno-transportnogo kompleksa i prirodnoi sredy v gornykh usloviiah i otsenka riska prirodnogo i tekhnogenno kharaktera pri chrezvychainykh situatsiiakh [Interaction's features of road-transport complex and nature environment in mountainous conditions and an estimation of the technogenic risk in emergencies]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Energetika i ratsional'noe prirodopol'zovanie*, 2015, vol. 5, no 3, pp. 27-33.
4. Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G., Shatilov I.S. Avarii transportnykh sooruzhenii i ikh preduprezhdenie [Accidents of transport constructions and their prevention]. Cheboksary, ID «Sreda», 2020, 216 p.
5. Shermuxamedov U., Salixanov S., Shaumarov S., Zokirov F. Method of selecting optimal parameters of seismic-proof bearing parts of bridges and overpasses on high-speed railway lines. *Journal of Critical Reviews*, 2020, vol. 7, is. 11, pp. 1578-1585.
6. Kudryavtsev S., Ulitskii V., Alekseev S., Kondrat'ev S.. Consideration of soil strata heterogeneity influence on differential foundation settlements of overpasses for high-speed railways. *MATEC Web of Conferences*, 2019, Vol. 265, no. 02003, pp. 1-6.
7. Smirnov V.N., D'iachenko A.O., D'iachenko L.K. Osobennosti proektirovaniia mostov na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistraliakh [Design's features of bridges on high-speed railways]. *Biulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovani. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2017, no 3, pp. 69-81.
8. Kurbatskii E.N., Pestriakova E.A., Zernov I.I. Seismostoikost' mostov. Teoriia i prilozheniia [Seismic resistance of bridges. Theory and annexes]. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2021, 276 p.
9. Ayala, A.G. and Escamilla, M. Modal irregularity in continuous reinforced concrete bridges. Detection, effect on the simplified seismic performance evaluation and ways of solution. *Proceedings of the VI European Workshop on Irregular and Complex Structures, Technion, Haifa, Israel*, 2011, vol. 24, no. 8. pp. 103-119.
10. Antoniou F., Konstantinidis D., Aretoulis G. Analytical Formulation for Early Cost Estimation and Material Consumption of Road Overpass Bridges. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2016, vol. 12 (7), pp. 716-725.
11. Magomedov M.M., Ovchinnikov I.G. Constructive and technological substantiation of constructive solutions for mountain bridge structures. *Russian Journal of Transport Engineering*, 2021, vol. 2 (8), pp. 1-30.
12. Fedotov G.A., Pospelov P.I. Izyskaniia i proektirovanie avtomobil'nykh dorog. V 2 kn. Kn. 2 [Seek and design of the roads. In 2 Books. 2-nd Book]. Moscow, Vyssh. shk., 2010, 519 p.

13. Osipova T.V., Osipov D.E. Proektirovanie opor mostovogo perekhoda s uchetom formirovaniia mestnogo razmyva [Design of bridge supports given the establishment of the local scour]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*, 2019, vol. 11, no. 16.

14. Mubeen B., Salman B., Scour Reduction around Bridge Piers: A Review. International Journal of Engineering Inventions lines. *International Journal of Engineering Inventions*, 2013, vol. 2, is. 7, pp. 07-15.

15. Alibekov A.K. Otsenka razmyva u svainykh opor sooruzhenii, presekauiushchikh vodotoki, s uchetom pokazatelei nadezhnosti i neodnorodnosti gruntov osnovaniia [Estimation of the pile supports' scour of structures, as crossing the water flow, given the soil heterogeneity]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2018, vol. 45, no. 1, pp. 181-192.

Получено 09.11.2021

Об авторах

Магомедов Мухтар Магомедович (Саратов, Россия) – магистрант, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, тел. (987) 8-056-649, e-mail: magomedovmm751@mail.ru).

Овчинников Игорь Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Кафедра автомобильных дорог и мостов», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, тел. (937) 8-114-120, e-mail: bridgesar@mail.ru).

About the authors

Mukhtar M. Magomedov (Saratov, Russian Federation) – Master student, Saratov State Technical University named after Y. Gagarin (77, Polytechnicheskaya street, Saratov, 410054, tel. (987) 8-056-649, Russian Federation, e-mail: magomedovmm751@mail.ru).

Igor G. Ovchinnikov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy, Perm, 614990, tel. (937) 8-114-120, Russian Federation, e-mail: bridgesar@mail.ru).