Спирин А.В., Гришина А.С., Клевеко В.И. Анализ существующих конструктивных решений концевых опор мостовых сооружений и схема применения фиброармированного грунта при их реконструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 5–12. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.01

Spirin A.V., Grishina A.S., Kleveko V.I. Analysis of existing constructive decisions of bridge abutments and application design of fiber reinforced soil under their reconstruction. *PNRPU Bulletin Construction and architecture*. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 5-12. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.01

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 1, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.01

УДК 624.164

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ КОНЦЕВЫХ ОПОР МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И СХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОАРМИРОВАННОГО ГРУНТА ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

А.В. Спирин, А.С. Гришина, В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 09 декабря 2015
Принята: 23 декабря 2015
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

массивные устои, обсыпные устои, устои с вертикальными стенками, реконструкция мостов и путепроводов, полипропиленовая фибра

АННОТАЦИЯ

Согласно приведенному в статье списку повреждений конструкций мостов и путепроводов установлено, что их основной причиной является работа крайних опор (устоев). Для предотвращения аварийных ситуаций и устранения повреждений требуется исследовать проблему мостовых сооружений более глубоко. Объектами изучения являются конструктивные особенности устоев. Цель работы заключается в том, чтобы проследить эволюцию конструктивных решений устоев и предложить новую конструкцию. В статье рассмотрены существующие конструкции крайних опор мостов и путепроводов. Проанализированы их преимущества и недостатки. На основе анализа сделано предположение, что самым приоритетным типом конструкции на данный момент являются устои с вертикальными стенками, при обратной засыпке которых используется армированный геосинтетическими материалами грунт. Остальные технические решения уступают в эффективности или экономичности. Предложено конструктивное решение для реконструкции устоев мостовых сооружений с применением фиброармированного грунта, который представляет собой усиленный дискретными волокнами массив грунта. В качестве примера рассмотрена замена обычного песка в насыпи на фиброармированный песок. Представлен расчет горизонтальной давления грунта насыпи на крайние опоры в данной конструкции. По результатам расчета сделан вывод, что применение фибропеска уменьшит нагрузку на опоры на 24 % по сравнению с применением традиционного песка. Новая конструктивная схема предпочтительна при реконструкции существующих мостовых сооружений, но может применяться и при новом строительстве. Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем для более глубокого изучения проблемы реконструкции мостовых сооружений.

© ПНИПУ

© Спирин Александр Валерьевич – магистрант, e-mail: alex-spearin@mail.ru.
Гришина Алла Сергеевна – аспирант, e-mail: koallita@yandex.ru.
Клевеко Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vlivkl@pochta.ru.

Aleksandr V. Spirin – Master Student, e-mail: alex-spearin@mail.ru.
Alla S. Grishina – Postgraduate Student, e-mail: koallita@yandex.ru.
Vladimir I. Kleveko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vlivkl@pochta.ru.

ANALYSIS OF EXISTING CONSTRUCTIVE DECISIONS OF BRIDGE ABUTMENTS AND APPLICATION DESIGN OF FIBER REINFORCED SOIL UNDER THEIR RECONSTRUCTION

A.V. Spirin, A.S. Grishina, V.I. Kleveko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 9 December 2015
Accepted: 23 December 2015
Published: 31 March 2016

Keywords:

massive abutment, buried
abutment, abutment with vertical
walls, bridges and overpasses
reconstruction, polypropylene fiber

ABSTRACT

According to the list of damage of bridges and overpasses given in the article it was found that the main cause of these injuries is the work of abutments. In order to prevent accidents and to fix damage advanced investigation of the problem of bridge structures is required. The objects of the research are the design features of the abutments. The purpose of work is tracing the evolution of the abutments design decisions and offering new design. The article describes the existing design of abutments and overpasses. Their advantages and disadvantages are analyzed. On the basis of the analysis it has been suggested that the abutments with vertical walls have the highest priority type of design at the moment. In such structures geosynthetic reinforced soil are used as a backfill. Other technical solutions are not efficient and economical. The article proposes a constructive decision for the reconstruction of the bridge abutments by using fiber reinforced soil, which is an array of strengthening soil by discrete fibers. As an example the replacement of conventional fill material by the fiber reinforced sand is examined. Calculation of the horizontal soil pressure on abutments in the embankment is presented for this structure. As a result of the calculation it was concluded that the use of fiber reinforced sand reduces the load on abutments by 24 % compared with the use of conventional sand. New constructive design is preferable under reconstruction of existing bridges, but it can be applied also in new construction. The results can be used in the future for more in-depth research of the bridges and overpasses reconstruction problem.

© PNRPU

В наши дни большое количество мостов и путепроводов нуждается в реконструкции по целому ряду причин, приведенному, в частности, в работе А.Д. Соколова [1].

Большая часть мостов находится в изношенном состоянии, требуется их ремонт и реконструкция ввиду различных видов повреждений. К ним относятся:

- заклинка пролетного строения;
- смещение и наклон устоев;
- излом шкафных стенок;
- повреждения и нарушение работы опорных частей;
- излом свай и стоек устоя;
- потеря устойчивости формы пролетного строения;
- коррозия арматуры;
- потеря несущей способности.

Чаще всего наиболее уязвимой частью конструкции оказываются концевые опоры мостов, называемые устоями. Причем это может быть характерно сразу для нескольких конструктивно-технологических решений устоев мостов. Они одновременно воспринимают нагрузки от различных воздействий, которые отличны друг от друга по своей природе и силе. Совершенствование конструктивно-технологических решений устоев мостов является актуальной проблемой современного строительства ввиду их малоизученности, небогатого списка инновационных конструкций, а также новых методов расчета, которые бы удовлетворяли требованиям надежности и безопасности, предъявляемым к мостам и путепроводам.

Целью данной работы является обзор существующих конструкций концевых опор мостовых сооружений и предложение новой конструктивной схемы обсыпных устоев, которая позволяет снизить боковое давление грунта на концевые опоры и может применяться как при реконструкции мостов, так и при новом строительстве.

Проследив эволюцию сопряжения мостов с подходными насыпями, можно выделить несколько типов непосредственно устоев мостов по их конструкции: массивные (гравитационные), обсыпные (с конусами) и с вертикальными стенками [2].

Массивные устои (рис. 1) выполняются в виде подпорных стенок из камня, бутовой кладки, бетона и железобетона. Такие устои воспринимают нагрузки от пролетного строения, переходной плиты и давления грунта подходной насыпи (или берегового склона). В данном случае грунт насыпи играет только негативную роль, заставляя возводить конструкции, которые бы могли обеспечить неподвижность и устойчивость опоры. Именно из соображений экономичности появились идеи о создании обсыпных устоев.

Рис. 1. Примеры массивных устоев: *а* – массивный устой на фундаменте мелкого заложения; *б* – массивный устой с открылками на свайном фундаменте; *в* – массивный устой с обратными стенками
Fig. 1. Examples of massive bridge abutments: *a* – massive abutment with shallow foundation; *b* – wing pile abutment; *c* – U-abutment

Обсыпные конструкции устоев с конусами, внутри которых располагаются несущие элементы устоя, являются на данный момент самыми распространенными, заменив массивные благодаря своим преимуществам. На рис. 2 изображены варианты различных обсыпных устоев.

Создается впечатление, что несущие элементы устоя, которые находятся внутри конуса, стали легкими и экономичными. При этом грунт насыпи образует устойчивый склон. Однако в ряде случаев данные преимущества нивелируются. Конусы обычно имеют откос с уклоном 1:1,5, а при высоких насыпях и слабых грунтах он может достигать 1:2 и более, что приводит к неоправданно большому удлинению мостового сооружения. Даже для малых и средних мостов может потребоваться два дополнительных пролета длиной 18–24 м, чтобы перекрыть конусы. Из-за удлинения моста требуется также устройство дополнительных опор, которые бы не были необходимы, если бы выбор пал на массивные устои. При этом несущие элементы устоя не освобождены от горизонтального давления грунта насыпи. Кроме того, в работах Д.М. Шапиро [3] показано, что в несущих конструкциях обсыпных устоев присутствуют дополнительные изгибающие моменты. Они возникают из-за деформации основания под воздействием веса подходной насыпи.

Рис. 2. Примеры обсыпных устоев: *a* – стоечный устой на фундаменте мелкого заложения; *б* – козловой устой на фундаменте мелкого заложения; *в* – рамный устой на свайном фундаменте; *г* – безростверковый устой на буровых сваях
Fig. 2. Examples of buried abutments: *a* – post abutment with shallow foundation; *b* – gantry abutment with shallow foundation; *c* – framed bent with pile foundation; *d* – abutment with boring pile foundation

Рис. 3. Конструкция устоев с вертикальными стенками
Fig. 3. The design of abutments with vertical walls

С появлением армогрунтовых систем стало возможным возводить устои с вертикальными стенками (также называемые устоями с раздельными функциями [4–6]). Возможно, в будущем именно они станут преобладающим типом. Данная конструкция позволяет полностью снять горизонтальное давление грунта насыпи с крайних опор, повышая устойчивость откоса на сдвиг за счет применения геосинтетических материалов в грунте насыпи и образуя подпорную стенку (рис. 3). Крайние опоры равноудалены от лицевых сторон подпорных стенок и воспринимают нагрузку только от пролетного строения. Такая конструкция предназначена прежде всего для применения в слабых грунтах. На рис. 4 показано сравнение трех вариантов конструкций для строительства путепровода.

Для уменьшения или полного снятия горизонтального давления грунта насыпи с несущих элементов внутри конуса, а также для повышения устойчивости откосов или с целью придания им больших уклонов в обсыпных устоях применяются геосинтетические материалы [7–9], в том числе геотекстиль. Данный метод аналогичен применению геосинтетиков при обратной засыпке в подпорных стенках, и в международных нормах уже давно описаны подобные технологии [9–11]. Экономическая эффективность использования армогрунта в устоях может достигать значительной доли от стоимости типового сооружения [12].

Авторы предлагают новое конструктивное решение, которое заключается в замене обычного грунта, использованного при устройстве обсыпных устоев, фиброармированным. Фиброгрунт представляет собой массив грунта, усиленного короткими дискретными волокнами. При равномерном смешивании с грунтом фибра дает увеличение прочности полученного композита. Существенно и то, что фибровое армирование не требует анкеровки, как линейное армирование георешетками или геотекстилем [13–15].

Рис. 4. Развитие конструктивных решений устоев: *а* – путепровод с массивными устоями с обратными стенками; *б* – путепровод с обсыпными устоями; *в* – путепровод с устоями с вертикальными стенками
Fig. 4. The development of abutment designs: *a* – overpass with massive U-abutment; *b* – overpass with buried abutments; *c* – overpass with vertical walls

В качестве примера выполнен расчет бокового давления грунта от веса насыпи на опоры мостов по основному нормативному документу в строительстве мостовых сооружений (СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы») и произведено сравнение результатов. В первом случае применяется песок мелкозернистый однородный, во втором – тот же песок, армированный полипропиленовыми волокнами. Необходимые для расчета физические характеристики и параметры прочности грунтов взяты из результатов лабораторных исследований прочностных характеристик фиброармированного песка [16] и представлены в табл. 1.

Расчет производился по следующей формуле:

$$p_n = \gamma_n h_x \tau_n, \quad (1)$$

где p_n – горизонтальное (боковое) давление; γ_n – удельный вес грунта, кН/м³; h_x – высота засыпки, м; τ_n – коэффициент нормативного бокового давления грунта засыпки береговых опор мостов, определяемый по формуле

$$\tau_n = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (2)$$

где φ_n – угол внутреннего трения грунта, град.

Таблица 1

Физические характеристики и параметры прочности исследуемых грунтов [16]

Table 1

Physical characteristics and strength parameters of the investigated soil [16]

Материал	Удельный вес γ , кН/м ³	Коэффициент водонасыщения S_r	Угол внутреннего трения φ , град	Удельное сцепление c , кПа
Песок	16,4	0,6	37	10
Песок с 1 % полипропилена	16,3		43	53

По результатам расчета для устоев мостов с высотой засыпки $h = 6$ м составлена табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета нагрузок

Table 2

The results of stress calculation

Материал	Высота засыпки h_x , м	Коэффициент бокового давления грунта засыпки τ_n	Горизонтальное давление грунта насыпи p_n , кПа	Относительное изменение коэффициента бокового давления
Песок	6,0	0,249	24,5	1,0
Песок с 1 % полипропилена		0,189	18,5	0,76

По результатам расчета можно заключить, что применение фибропеска вместо обычного позволяет уменьшить горизонтальное давление на опоры моста на 24 % в общем случае. Фибровое армирование увеличивает удельное сцепление и угол внутреннего трения песка, при этом дренажные свойства существенно не ухудшаются [16]. Это даст возможность сократить затраты на материалы несущих элементов, облегчить обратную засыпку насыпи, но сохранить или даже увеличить прочность и устойчивость.

В перспективе классические обсыпные устои, засыпанные фибропеском, могут составить конкуренцию устоям с раздельными функциями в плане реконструкции существующих мостов или снижения затрат на строительство новых.

Библиографический список

1. Соколов А.Д. Структурная схема применения армогрунтовых систем при реконструкции мостов // Дороги и мосты. – 2014. – № 1 (31). – С. 139–151.
2. Соколов А.Д. Армогрунтовые системы автодорожных мостов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 3 (69). – С. 9–12.
3. Шапиро Д.М. Математическое моделирование и методы расчета устоев автодорожных мостов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСИ, 1991.

4. Устой моста: патент на изобретение № 2136808. РФ, № 98123108/03 / А.Д. Соколов, В.И. Беда [и др.]. Заявл. 25.12.1998, опубл. 10.09.1999; Бюл. № 25.
5. Соколов А.Д. Устои с раздельными функциями // Дорожная держава. – 2007. – № 3. – С. 84–87.
6. Соколов А.Д. Устои мостов: взгляд в будущее // Автомобильные дороги. – 2007. – № 3. – С. 73–76.
7. Клевеко В.И., Соколова В.Д. Применение армированного грунта в конструкции устоев моста // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). – Пермь, 2014. – № 1. – С. 367–373.
8. Соколова В.Д. Применение армогрунта в конструкции устоев моста на лесовозной дороге // Северогеоэкотех-2014: материалы междунар. науч. конф. – Ч. 4. – Ухта: Изд-во Ухт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 102–104.
9. Вольмерт Л. Современное состояние исследований, строительства и международных норм по проектированию грунтовых подпорных стен, армированных геосинтетическими материалами // Геотехника. – 2012. – № 6. – С. 46–54.
10. Heerten G., Vollmert L., Herold A. Modern geotechnical construction methods for important infrastructural buildings // Geotechnical Problems of Engineering Constructions: Proceedings of the 10th Slovak Conference on Geotechnical Engineering. – Bratislava, Slovakia: Slovak University of Technology, 2011.
11. Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGeo (English version). – 2nd ed. – Berlin: German Geotechnical Society (DGGT), Ernst & Sohn, 2011.
12. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Экономическое обоснование применения армированного грунта в конструкции устоев мостов // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы V междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – Т. 1. – С. 85–88.
13. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M.A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. – 2012. – № 30. – P. 101–116.
14. Diambra A., Ibraim E. Fibre reinforced sands: experiments and modeling // Geotextiles and geomembranes. – 2010. – № 28. – P. 238–50.
15. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния нагруженного массива фиброармированного грунта, находящегося за подпорной стеной // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 135–148.
16. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Лабораторные исследования прочностных характеристик фиброармированного песка различной степени водонасыщения // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 6 (47). – С. 127–132.

References

1. Sokolov A.D. Strukturaia skhema primeneniia armogruntovykh sistem pri rekonstruktsii mostov [Structural scheme of reinforced soil systems of bridges under reconstruction]. *Dorogi i mosty*, 2014, no. 1 (31), pp. 139–151.
2. Sokolov A.D. Armogruntovyie sistemy avtodorozhnykh mostov [Reinforced soil systems of road bridges]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*, 2014, no. 3 (69), pp. 9–12.
3. Shapiro D.M. Matematicheskoe modelirovanie i metody rascheta ustoev avtodorozhnykh mostov [Mathematical modeling and calculation methods of highway bridges abutments]. Abstract of Ph.D. Moscow: MISI, 1991.
4. Sokolov A.D., Beda V.I. [et al.] Ustoi mosta [Bridge abutment]. *Patent na izobretenie № 2136808 Rossiiskaia Federatsiia, № 98123108/03*.

5. Sokolov A.D. Ustoi s razdel'nymi funktsiiami [Abutments with separate functions]. *Dorozhnaia derzhava*, 2007, no. 3, pp. 84-87.
6. Sokolov A.D. Ustoi mostov: vzgliad v budushchee [Bridge abutments: Looking to the Future]. *Avtomobil'nye dorogi*, 2007, no. 3, pp. 73-76.
7. Kleveko V.I., Sokolova V.D. Primenenie armirovannogo grunta v konstruktsii ustoev mosta [Reinforced soil application in the construction of bridge abutment]. *Materialy XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem) "Ekologiya i nauchno-tehnicheskii progress. Urbanistika"*. Perm', 2014, pp. 367-373.
8. Sokolova V.D. Primenenie armogrunta v konstruktsii ustoev mosta na lesovoznoi doroge [Application of reinforced soil when designing the bridge abutments on forest roads]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. "Severogeoekotekh-2014"*. Ukhtinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2014, pp. 102-104.
9. Vol'mert L. Sovremennoe sostoiianie issledovani, stroitel'stva i mezhdunarodnykh norm po proektirovaniu gruntovykh podpornykh sten, armirovannykh geosinteticheskimi materialami [Current status on research, execution and international design codes on geosynthetic reinforced retaining walls]. *Geotekhnika*, 2012, no. 6, pp. 46-54.
10. Heerten G., Vollmert L., Herold A. Modern geotechnical construction methods for important infrastructural buildings. *Proceedings of the 10th Slovak Conference on Geotechnical Engineering "Geotechnical Problems of Engineering Constructions"*. Bratislava, Slovakia: Slovak University of Technology, 2011.
11. Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGeo (English version). 2nd ed. Berlin: German Geotechnical Society (DGGT), Ernst & Sohn, 2011.
12. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Ekonomicheskoe obosnovanie primeneniia armirovannogo grunta v konstruktsii ustoev mostov [The economic justification of application of reinforced soil in the construction of bridge piers]. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye napravleniia fundamental'nykh i prikladnykh issledovani"*, 2015, vol. 1, pp. 85-88.
13. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M.A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 2012, no. 30, pp. 101-116.
14. Diambra A., Ibraim E. Fibre reinforced sands: experiments and modeling. *Geotextiles and geomembranes*, 2010, no. 28, pp. 238-250.
15. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia nagruzhennogo massiva fibroarmirovannogo grunta, nakhodiashchegosia za podpornoii stenoi [Experimental design to investigate the stress-strain behavior of loaded fiber reinforced soil mass adjacent to retaining wall]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 135-148.
16. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Laboratornye issledovaniia prochnostnykh kharakteristik fibroarmirovannogo peska razlichnoi stepeni vodonasyshcheniia [Laboratory testing of the strength characteristics of fiber reinforced sand with various water saturations]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2014, no. 6 (47), pp. 127-132.