

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.07

УДК 624.131.543: 51

А.П. Приходько, Т.П. Кашарина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. Платова, Новочеркасск, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОАРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ

Рассмотрены вопросы применения грунтоармированных конструкций для усиления оснований. Исходя из анализа различных способов определения устойчивости грунтоармированного массива авторами составлен алгоритм, который формализован в программе расчета подбора оптимальных параметров грунтоармированного массива с прямолинейными и наклонными армолентами. Новизна усовершенствованного авторами программного комплекса на ЭВМ заключается в учете параметров как горизонтальных, так и наклонных армолент. В составе подробно рассмотрен процесс проведения экспериментальных исследований разработанного авторами нового технического решения грунтоармированного сооружения с лицевой стенкой из отдельных лицевых элементов. В отличие от проводившихся ранее исследований армированного грунта, рассматривалась конструкция лицевой стенки из единичных лицевых элементов с разными параметрами армирования по высоте, длине и углу наклона. Для получения наиболее достоверного поведения грунтоармированных конструкций при воздействии на них внешних нагрузок были построены графики зависимостей – отношения прикладываемой нагрузки к критической (максимально прикладываемой) на конструкцию к величине отношения отклонения грунтоармированной конструкции к ее высоте. По графикам построены линии тренда и выведены уравнения эмпирических зависимостей. Полученные графические и эмпирические зависимости исследованной конструкции дали возможность получить наиболее достоверное поведение грунтоармированных конструкций при воздействии на них внешних нагрузок в диапазоне $P = 8 \dots 250$ кПа, что необходимо для широкого применения их в строительной области. Установлена зависимость оптимальной длины армолент. Выявлено, что применение наклонных армолент значительно увеличивает устойчивость конструкции в целом, что также подтверждается результатами теоретических исследований. Данные исследований необходимы при усилении оснований сооружений, подверженных оползневым явлениям.

Ключевые слова: грунтоармированная конструкция, армоленты, армированный массив, программа на ЭВМ, интерфейс, экспериментальные исследования, аппроксимация, линии тренда, эмпирические зависимости.

A.P. Prikhod'ko, T.P. Kasharina

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Russian Federation

THE RESULTS OF STUDIES OF THE SOIL REINFORCED BASES

The article deals with the application of the soil reinforced designs to enhance the grounds. Based on the analysis of different methods for determining the stability the soil reinforced array, the author made an algorithm which is formalized in a program for calculating optimal parameters the soil

reinforced array with straight and angled reinforcing strips. The novelty of the authors advanced computer software system is within the parameters of both horizontal and inclined reinforcing strips. In this paper we discussed in detail the process of conducting experimental studies developed by the authors of the new technical solutions the soil reinforced facilities from the front wall of the individual facial elements. In contrast to earlier studies reinforced soil structure viewed from the front wall face of unit elements with different parameters reinforcement height, length and angle. To obtain the most reliable behavior the soil reinforced structures when subjected to external loads were plotted – relations applied load to the critical (maximum attached) to the design value of the ratio of deviation the soil reinforced design to its height. According to the obtained graph is trendlines and equations are derived empirical relationships. The resulting graphic and empirical relationships studied design made it possible to get the most reliable behavior the soil reinforced structures when subjected to external loads in the range $P = 8...250$ kPa, which is necessary for their wide application in the construction field. The dependence of the optimal length reinforcing strips. Found that the use of inclined reinforcing strips significantly increases the stability of the structure as a whole, which is also confirmed by the results of theoretical studies. These studies are necessary for strengthening ground structures exposed to landslides.

Keywords: reinforced structure, armolenty, reinforced array, program on the computer, interface, experimental studies, approximation, trend line, empirical relationships.

В современном строительстве в качестве оснований зданий и подпорных сооружений находят широкое применение технические решения грунтоармированных конструкций [1–3]. Целью исследования является разработка технических решений и инженерного метода расчета армированного грунтового основания и проведения экспериментальных исследований с применением композитных (полимерных) материалов [4–6].

Авторами разработано новое техническое решение грунтоармированного сооружения с лицевой стенкой из отдельных лицевых элементов и технология его возведения¹. Для внедрения в практику строительства новых грунтоармированных конструкций требуется обоснование их расчетных положений и технологии возведения.

Рассмотрены различные способы определения устойчивости грунтоармированного массива, такие как метод сил Кулона, теория Ренкина, условия Ф. Шлоссера и А. Видаля. На основании этого автором составлен алгоритм, который формализован в программе расчета подбора оптимальных параметров грунтоармированного массива с прямолинейными и наклонными армолентами. Алгоритм программы с прямолинейными и наклонными армолентами представлен на рис. 1.

Описание алгоритма расчета:

1. Вводятся данные (высота всей грунтоармированной конструкции H , угол внутреннего трения грунта φ , высота отдельного армируемого слоя Δh , длина l_1 , l_2 и ширина b_1 , b_2 горизонтальных и наклонных армолент, их количество n).

¹ Грунтоармированное сооружение и способ его возведения: патент № 2444589. Заяв. № 2010131312. Оpubл. 10 марта 2012 г.

2. Выполняется подбор наиболее приемлемой длины горизонтальных и наклонных армомент.
3. Ведется подбор оптимального угла наклонных лент β .
4. Производится расчет на выдергивание армомент из грунтового массива (коэффициент K_S).
5. Определяется устойчивость всего грунтоармированного массива в целом (коэффициент запаса устойчивости K_z).
6. Ведется расчет стоимостных показателей, $S = C \cdot (l_1 \cdot b_1 + l_2 \cdot b_2) \cdot n$, где C – стоимость 1 м² материала.
7. Выбор оптимального варианта.
8. Вывод на печать.

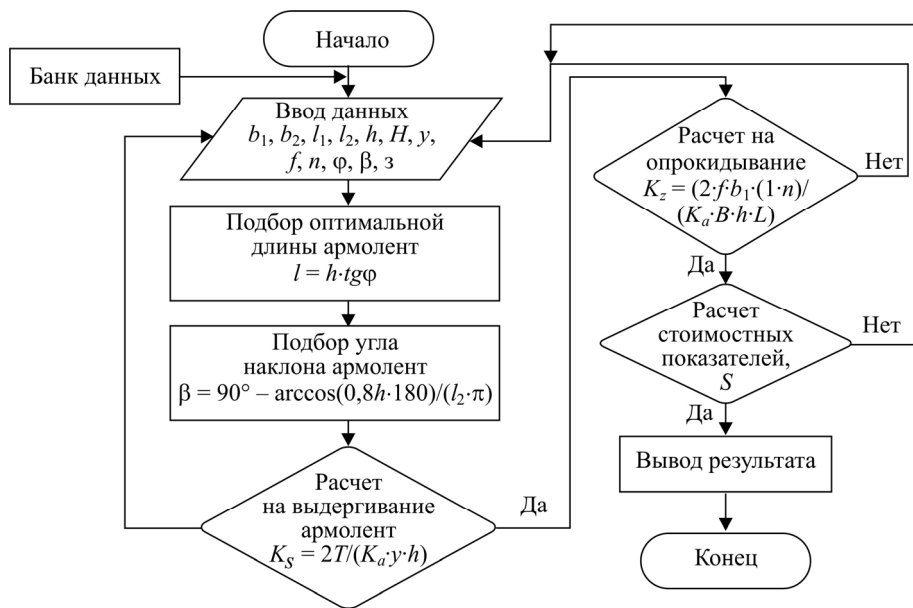


Рис. 1. Алгоритм программы подбора оптимальных параметров грунтоармированного массива с прямолинейными и наклонными арментами

Новизна усовершенствованного авторами программного комплекса на ЭВМ заключается в учете параметров как горизонтальных, так и наклонных армомент. Программа выполняет расчет оптимального угла наклонной армоменты β с учетом технологии возведения, а общая удерживающая сила трения рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2. \quad (1)$$

Если считать, что сила трения, удерживающая армоленту в массиве грунта, определяется по формуле

$$T_f = 2 f \gamma h b l, \quad (2)$$

то получаем:

$$T_{\text{общ}} = 2\gamma \cdot h \cdot f \cdot b_1 \cdot l_1 + 2\gamma \cdot h \cdot f \cdot b_2 \cdot l_1 \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения между грунтом и материалом ленты; b – ширина армолент; l – длина армирующих лент, м; γ – удельный вес заполнителя, кН/м³; h – высота слоя армирования, м; β – угол наклонной армоленты, отложенный от вертикали лицевой стенки вниз до армоленты, град¹ [7, 8].

Пример расчета в программе приведен на рис. 2.

Рис. 2. Интерфейс программы расчета

Для выполнения экспериментальных исследований были проведено 15 серий предварительных испытаний, выполненных на стенде плоской деформации согласно схеме, приведенной на рис. 3, и позволяющих определить оптимальные параметры элементов лицевой стенки и зоны армирования. Экспериментальный лоток 1 для испытаний выполнен из органического стекла толщиной 30 мм, а размеры его рабочей части 0,8×0,1×0,6 (глубина) м. Внешняя нагрузка на основание подпорной стенки передается через штамп 2, площадь которого 0,1·0,05 = 0,005 м², а усилие на него – через шток 3.

¹ Расчет грунтоармированного основания: свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010616390. Оpubл. 24.09.2010 г.

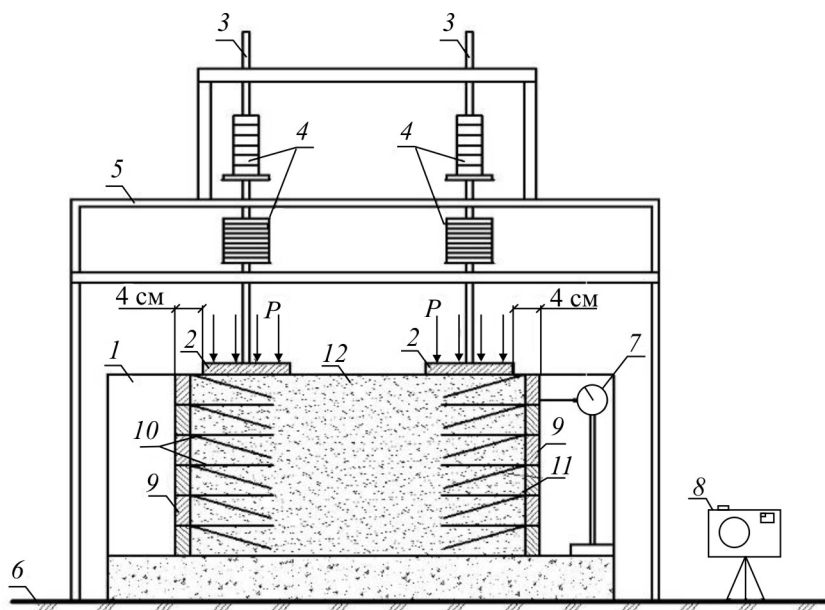


Рис. 3. Экспериментальная схема проведения испытаний двойных и наклонных лент: 1 – лоток; 2 – штамп; 3 – шток нагружения; 4 – грузы; 5 – силовая рама; 6 – фрезеровочный стол; 7 – индикатор часового типа; 8 – фотоаппаратура; 9 – лицевая стенка с открывками; 10 – прямолинейные армоленты; 11 – наклонные армоленты; 12 – засыпка

Нагружение ведется ступенями, которые создаются с учетом веса груза 4 и рабочим масштабом лотка, причем он устанавливается непосредственно под силовой рамой 5 на фрезерованный стол основания 6. Нагрузка на модель создается на расстоянии $B = 4$ см (40 см для натурных данных). Для регистрации перемещений грунтоармированной подпорной стенки модели грунтовой насыпи используются стандартные индикаторы часового типа ИЧ – 10–7, а также фотометрия 8. Ножка индикатора упирается в лицевую стенку конструкции из единичных лицевых элементов 9 с прямолинейными 10 и наклонными 11 армолентами. При перемещении лицевой стенки из отдельных лицевых элементов из композитного (полимерного) материала происходит увеличение показаний индикатора, равное ее перемещению.

Заполнителем 12 в лотке служит среднезернистый воздушно-сухой песок, с помощью которого моделируется песчаная грунтовая насыпь грунтоармированного основания, а физико-механические характеристики заполнителя следующие: угол естественного откоса 33° , угол внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$; модуль деформации $E = 31,4$ МПа, удель-

ный вес $\gamma = 17,4 \text{ кН/м}^3$, сцепление $c = 0,0052 \text{ МПа}$, а коэффициент пористости песка e в опытах при удельном весе $17,4 \text{ кН/м}^3$ составляет 0,53.

В отличие от проводившихся ранее исследований армированного грунта, в данной работе рассматривается конструкция лицевой стенки из единичных лицевых элементов с разными параметрами армирования по высоте, длине и углу наклона с учетом патента № 2444589¹. На модели в плане передавались статические распределенная и сосредоточенная нагрузки одинарным штампом в пределах 8–250 кПа, которые в ряде опытов увеличивались до разрушения модели или до недопустимых деформаций ее [9, 10].

В качестве армирующего материала в предварительных опытах использовали кальку толщиной $t = 0,03 \text{ мм}$, ширина армолент $b = 10 \text{ мм}$. Такой материал был выбран в связи с желанием авторов получить картину распределения усилий внутри образца, судя по местам обрыва «арматуры». В дальнейшем, на стадии основных испытаний, был применен материал ТК-80р. Высота грунтоармированных конструкций была принята с учетом высоты оснований от 1 до 3 м, а для модели $H = 15 \text{ см}$ и $H = 30 \text{ см}$ соответственно, т.е. $\alpha_m = \alpha_n = 10$.

Из 15 серий предварительных опытов первые две проводились без приложения нагрузки, затем последующие две с равномерной нагрузкой, передаваемой через одинарный штамп на пластину. Также в первых шести сериях опытов были использованы модели только с горизонтальными армирующими элементами, а в последующих – добавлены наклонные армоленты. В подтверждение достоверности проведения опытов практически все модели воспроизводились по 10 раз, причем расхождения в данных одной и той же модели достигали не более 2 %. При проведении экспериментальных исследований использовался метод фотометрии, что позволило более точно осуществлять достоверность каждого опыта. Результаты исследований подробно будут описаны в последующих работах.

Опыты 1–10 были выполнены для подбора оптимальных параметров единичных лицевых элементов грунтоармированного массива, размеры которых составляли $50 \times 50 \text{ мм}$ и укрупненные $100 \times 100 \text{ мм}$, что также определялось высотой слоя армирования. На рис. 4 представлена картина распределения усилий внутри образца с учетом мест обрыва «арматуры».

¹ Грунтоармированное сооружение и способ его возведения: патент № 2444589. Заяв. № 2010131312. Оpubл. 10 марта 2012 г.

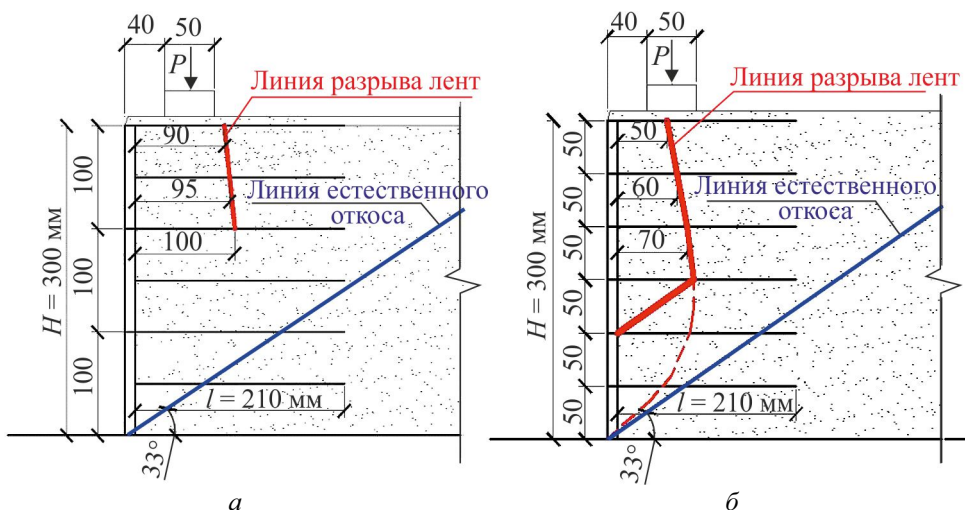


Рис. 4. Места разрыва армолент моделей грунтоармированного подпорного сооружения с лицевой стенкой из отдельных лицевых элементов размерами: а – 100×100 мм; б – 50×50 мм

Для получения наиболее достоверного поведения грунтоармированных конструкций при воздействии на них внешних нагрузок были построены графики зависимостей отношения прилагаемой нагрузки к критической (максимально прилагаемой) $P/P_{кр}$ на конструкцию к величине отношения отклонения грунтоармированной конструкции к ее высоте ϵ/H . По полученным графикам построены линии тренда и выведены уравнения эмпирических зависимостей. Общая эмпирическая зависимость, полученная автором:

$$D = Ax^2 \pm Bx + C, \quad (4)$$

где A , B , C – эмпирические коэффициенты. При этом весь график был разбит на три сектора согласно поведению подпорной стенки от приложения внешней нагрузки, а для каждого из них строилась отдельная линия тренда, выводилась эмпирическая зависимость, которая подробно описана в диссертационной работе. Зависимости для опытов 13–15 сведены вместе и представлены на рис. 5.

По линиям тренда рассчитаны зависимости для каждого сектора данных графиков.

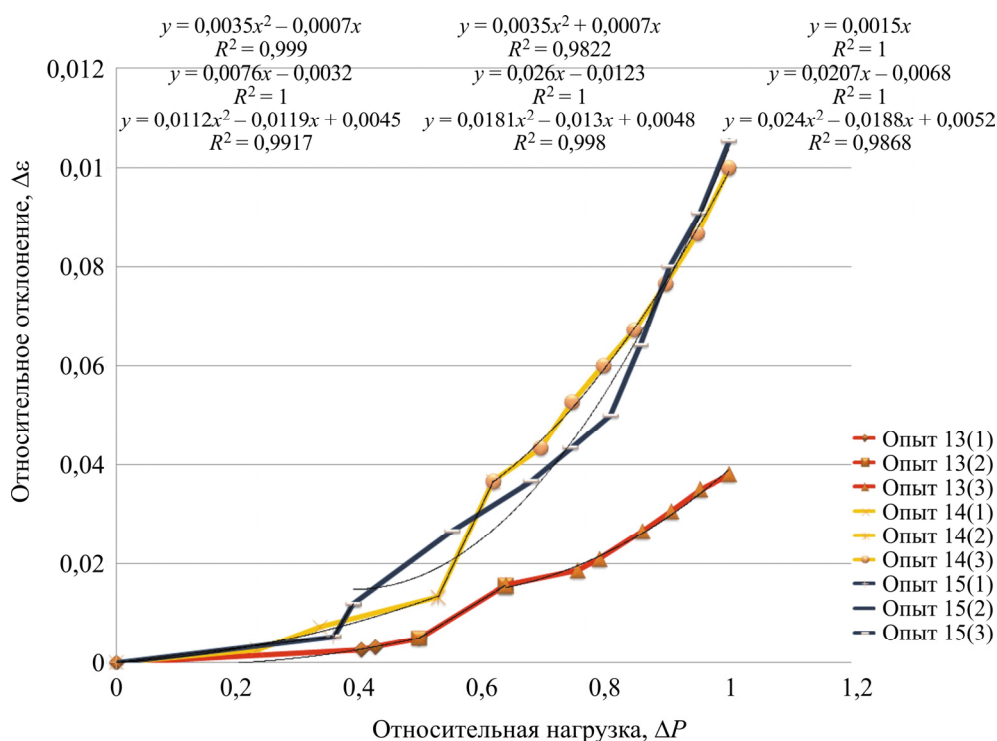


Рис. 5. Графики зависимостей относительных отклонений лицевой стенки от относительных нагрузок $\Delta \varepsilon = f(\Delta P)$ моделей № 13–15

Авторами определены диапазоны нагрузок при различном поведении грунтоармированных конструкций, описанные графиками зависимостей относительных отклонений лицевой стенки от относительных нагрузок. Например, диапазоны нагрузок для моделей 13–15 представлены в таблице.

Уравнения зависимостей для различных диапазонов прилагаемых нагрузок

Номер модели	Диапазон нагрузок, кПа	Уравнение зависимости $\Delta \varepsilon = f(\Delta P)$	Достоверность R^2
13	0–84	$Y_1 = 0,0035x^2 - 0,0007x$	0,999
	84–108	$Y_2 = -0,0076x - 0,0032$	1
	108–170	$Y_3 = 0,0112x^2 - 0,0119x + 0,0045$	0,9917
14	0–82	$Y_1 = 0,0035x^2 + 0,0007x$	0,9822
	82–96	$Y_2 = -0,026x - 0,0123$	1
	96–152	$Y_3 = 0,0181x^2 - 0,013x + 0,0048$	0,998
15	0–44	$Y_1 = 0,0015x$	1
	44–48	$Y_2 = -0,0207x - 0,0068$	1
	48–124	$Y_3 = 0,024x^2 - 0,0188x + 0,0052$	0,9868

Проведенные предварительные исследования показали, что максимальные растягивающие напряжения в арматуре (горизонтальной и наклонной) из полимерных материалов при различных примененных параметрах возникают на расстоянии $1/3$ высоты от верха грунтоармированной конструкции, а начало выхода из строя первых рядов не ведет к потере устойчивости и несущей способности всей конструкции в целом, так как происходит перераспределение усилий на нижерасположенные армоленты.

На основании проведенных исследований получены графические и эмпирические зависимости исследованной конструкции с учетом патента РФ № 2444589, которые дали возможность определить наиболее достоверное поведение грунтоармированных конструкций при воздействии на них внешних нагрузок в диапазоне $P = 8...250$ кПа, что необходимо для широкого внедрения их в строительной области. Выявлено, что наиболее приемлемы подпорные грунтоармированные конструкции оснований при высоте их $H = 1,5...3$ м с лицевыми элементами $S = 0,25$ м² и открылками 0,1 м, причем применение наклонных армолент значительно увеличивает устойчивость конструкции в целом, что также подтверждается теоретическими исследованиями.

Выявлено также, что наиболее эффективная длина армолент в верхней части при $H = 1...3$ м составляет $l = 0,3...0,5$ Н, а в нижней – $l = 0,25...0,3$ Н. Для повышения несущей способности целесообразно использовать наклонные армоленты, повышающие устойчивость грунтоармированной конструкции в целом. Рекомендуется применять армоленты с повышенной шероховатостью.

Библиографический список

1. Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тьи. Анализ результатов численного моделирования и экспериментальных исследований устойчивости мобильных дамб из композитных материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 91–105. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.09>
2. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky. MSE walls as bridge abutments: Optimal reinforcement density. *Geotextiles and Geomembranes*. – 2015. – Vol. 43, iss. 2. – P. 128–138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2015.01.002>

3. Ponomarev A., Zolotozubov D. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2014. – Vol. 42. – P. 48–51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.12.002>

4. Liyan Wang, Guoxing Chen, Su Chen. Experimental study on seismic response of geogrid reinforced rigid retaining walls with saturated backfill sand. *Geotextiles and Geomembranes*. – 2015. – Vol. 43, iss. 1. – P. 35–45. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.11.006

5. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.

6. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Экспериментальные исследования армированных оснований при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 91–94.

7. Кашарина Т.П., Приходько А.П. Усиление оснований и фундаментов малоэтажных комплексов на техногенных грунтах // Материалы междунар. науч.-практ. конф. // ВолгГАСУ. – Волгоград, 2009. – С. 192–193.

8. Кашарина Т.П., Приходько А.П. Методы обоснования работы грунтоармированных элементов конструкций с применением композитных материалов // Городские агломерации на оползневых территориях: материалы V Междунар. конф. по геотехнике // ВолгГАСУ. – Волгоград, 2010. – С. 383–386.

9. Кашарина Т.П., Приходько А.П. Обоснование параметров элементов грунтоармированной насыпи с применением композитных (полимерных) материалов // Вестник Волгоград. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – № 25 (44). – С. 78–83.

10. Приходько А.П. Экспериментальные исследования грунтоармированной конструкции. – М.: ИНЭП: Палеотип, 2013. – С. 68–72.

References

1. Kasharin D.V., Thai Thi Kim Chi. Analiz rezul'tatov chislennogo modelirovaniia i eksperimental'nykh issledovanii ustoichivosti mobil'nykh damb iz kompozitnykh materialov [Analysis of numerical simulation and experimental research of stability of mobile dykes of composite materials]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo*

universiteta. *Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 2, pp. 91-105. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.09>

2. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky. MSE walls as bridge abutments: Optimal reinforcement density. *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, vol. 43, iss. 2, pp. 128-138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2015.01.002>

3. Ponomarev A., Zolotozubov D. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas. *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, vol. 42, pp. 48-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2013.12.002>

4. Liyan Wang, Guoxing Chen, Su Chen. Experimental study on seismic response of geogrid reinforced rigid retaining walls with saturated back-fill sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, vol. 43, iss. 1, pp. 35-45. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2014.11.006

5. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Analiz i problemy issledovaniy geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis and problems of geosynthetic material application in Russian Federation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68-73.

6. Zolotozubov D.G., Ponomarev A.B. Eksperimental'nye issledovaniia armirovannykh osnovanii pri provalakh grunta [Experimental researches of the reinforced bases at under fall in ground mass]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2009, no. 2, pp. 91-94.

7. Kasharina T.P., Prihod'ko A.P. Usilenie osnovanii i fundamentov maloetazhnykh kompleksov na tekhnogennykh gruntax [Strengthening of the foundations of low-rise complexes on technological grounds]. *Proceeding international scientific-practical conference*. Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitelnyi universitet, 2009, pp. 192-193.

8. Kasharina T.P., Prihod'ko A.P. Metody obosnovaniia raboty gruntoarmirovannykh elementov konstrukcii s primeneniem kompozitnykh materialov [Methods underpin gruntoarmirovannykh structural elements with the use of composite materials]. *Materialy V Mezhdunarodnoi konferentsii po geotekhnike "Gorodskie aglomeratsii na opolznevnykh territoriiakh"*. Volgograd, 2010, pp. 383-386.

9. Kasharina T.P., Prihod'ko A.P. Obosnovanie parametrov elementov gruntoarmirovannoi nasypi s primeneniem kompozitnykh (polimernykh) materialov [Justification element parameters gruntoarmirovannoy mound using composite (polymer) materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura"*, 2011, no. 25 (44), pp. 78-83.

10. Prikhod'ko A.P. Eksperimental'nye issledovaniia gruntoarmirovannoi konstruktsii [Experimental studies of the soil reinforced structures]. Moscow: INEP: Paleotip, 2013, pp. 68-72.

Получено 22.01.2015

Сведения об авторах

Кашарина Татьяна Петровна (Новочеркасск, Россия) – доктор технических наук, профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова (Новочеркасский политехнический институт) (346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132).

Приходько Артем Павлович (Волгоград, Россия) – аспирант Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова (Новочеркасский политехнический институт) (346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132).

About the authors

Tatiana P. Kasharina (Novocherkassk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Platov South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute) (132, Prosveshcheniia st., Novocherkassk, 346428, Russian Federation).

Artem P. Prikhod'ko (Novocherkassk, Russian Federation) – Post-graduate student, Platov South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute) (132, Prosveshcheniia st., Novocherkassk, 346428, Russian Federation).