DOI 10.15593/2409-5125/2016.04.10

УДК 624.164.3

К.Р. Кашапова

ООО «Гормостреконструкция»

В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ АРМОГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Подпорные стенки – широко распространенные конструкции в современном городском, промышленном и транспортном строительстве. Все подпорные конструкции, как известно, испытывают значительные горизонтальные нагрузки, возникающие как от собственного веса грунта обратной засыпки подпорной стенки, так и от временной нагрузки на призме обрушения. Именно поэтому снижение этого давления, а следовательно, и снижение деформаций является первостепенной задачей. Уменьшить горизонтальное давление грунта возможно путем улучшения прочностных характеристик грунта обратной засыпки, и в настоящее время одним из наиболее перспективных методов является армирование грунтов.

Для оценки влияния армирования грунта были проведены модельные эксперименты по определению горизонтальных деформаций обделки подпорной стены от действующих на нее нагрузок.

В статье приведены результаты модельных испытаний по определению горизонтальных перемещений подпорной стены от собственного веса грунта обратной засыпки и от временно приложенной нагрузки на призму обрушения. Описана методика испытаний. Приведено сравнение вариантов использования в качестве грунта обратной засыпки неармированного песчаного грунта и армированного геосинтетическими прослойками – геосеткой и нетканым геотекстилем. Сделан вывод об эффективности армирования.

Ключевые слова: подпорная стена, модельные эксперименты, армирование грунтов, геосинтетические материалы.

В современном мире усиливается тенденция к урбанизации территорий. Рост, развитие и формирование городов и городских агломераций влечет за собой как уплотнение городских застроек, так и стремительное расширение территорий.

Широкое развитие строительной отрасли влечет за собой необходимость развития и транспортных систем. Для повышения безопасности, комфорта и качества жизни населения возникает потребность совершенствования не какой-либо отдельной части, а всего дорожно-транспортного комплекса в целом. Немаловажными компонентами дорожно-транспортного комплекса являются мостовые переходы, виадуки и многоуровневые транспортные развязки.

Одними из самых ответственных конструкций мостовых сооружений являются устои, которые обеспечивают сопряжение непосредственно самого моста с подходами.

Основное назначение крайних опор – передача на грунт оснований значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок: постоянных, от собственного веса грунта, и временных, расположенных на призме обрушения. В большинстве случаев, крайние опоры проектируются с устройством обсыпных конусов. Но благодаря развитию технологий и материалов в настоящее время широкое распространение в данной отрасли строительства получили подпорные стенки [1–5].

Среди огромного выбора конструкций и материалов подпорных стен одними из наиболее экономичных и эффективных являются армогрунтовые подпорные стенки. Армирование грунтов позволяет улучшить их физико-механические свойства путем введения в грунт армирующих элементов. Данная технология позволяет возводить долговечные, надежные и сравнительно недорогие конструкции, компенсируя и распределяя действующую на подпорную стену нагрузку [2]. В качестве армирующего материала наиболее эффективными, экономичными и простыми в использовании являются геосинтетические материалы. Они обладают большим количеством положительных свойств: высокой прочностью, долговечностью, коррозионной стойкостью, устойчивостью к воздействию низких температур и агрессивных сред и многими другими [2–5].

Подпорные стены с использованием армогрунта в настоящее время являются довольно распространенными конструкциями, используемыми как в гражданском, так и в транспортном строительстве, однако их работа еще не полностью изучена и требует проведения дополнительных исследований: модельных и натурных [6–11]. В связи с этим исследование действительной работы подпорных стен весьма актуально.

Целью работы было исследование горизонтальных перемещений подпорной стены, возникающих от действия постоянной нагрузки от собственного веса грунта засыпки, и от временной нагрузки, находящейся на призме обрушения. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- создать модель конструкции подпорной стенки;
- определить горизонтальные перемещения от собственного веса грунта и от временной нагрузки с использованием различных типов армирующих материалов;
- проанализировать типы армирующих материалов и определить наиболее эффективный для использования в данных условиях;
- сделать выводы об эффективности армирования грунта основания, а также о работе подпорной конструкции в целом.

Исследование работы проводилось путем проведения серии модельных экспериментов. Модельные эксперименты представляют собой испытания, базирующиеся на созданной модели, имитирующей свойства реального объекта исследования [12–15].

Эксперименты проводились в лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Модельный эксперимент проводился с использованием стенда для испытания моделей фундаментов ГТ 0.7.1, представляющий собой лоток размерами 1072×156×1136 мм, с прозрачными стенками из оргстекла (рис. 1).

Рис. 1. Общий вид конструкции

Эксперимент заключается в моделировании работы подпорной стенки с армированным различными геосинтетическими материалами грунтом, а также с неармированным основанием.

Исследование заключалось в моделировании работы подпорной стены с использованием песчаного грунта засыпки. Для исследования была выбрана тонкостенная конструкция подпорной стены. Кроме того, в соответствии с теорией подобия, в создании модели были учтены геометрическое, физическое и механическое условия подобия, с целью получения более достоверных результатов. Для проведения эксперимента был выбран масштаб 1:10, с учетом которого необходимо добиться максимально возможного сходства материалов модели и реального объекта. Геометрическое подобие заключается в масштабировании линейных размеров конструкций: высоты подпорной стенки и толщины армирующих прослоек. Физическое – в подобию материалов из соображений масштабирования жесткости на изгиб обделки подпорной стены и прочности на разрыв арматуры. Механическое подобие – подобие прикладываемых нагрузок и измеряемых перемещений. Таким образом, для объекта исследования – тонкостенной подпорной стены высотой 3 м, изготовленной из бетона толщиной 200 мм, была создана модель исследования – подпорная стена высотой 30 см из 9-миллиметровой фанеры. Металлическая подставка играет роль фундамента стены, заглубление стены в грунт составляет 200 мм. Напряженно-деформированное состояние армогрунтовых конструкций в значительной степени зависит от линейной жесткости армирующего материала [16]. Поэтому в качестве армирующих материалов для проведения эксперимента были приняты нетканый синтетический материал и сетка из полиамида, которые обладают различными прочностными и деформационными характеристиками (рис. 2).

Рис. 2. Образцы материалов (слева – сетка из полиамида; справа – нетканый синтетический материал)

При проведении экспериментов сетка из полиамида моделировала работу георешетки, а нетканый синтетический материал – геотекстиль. Характеристики материалов приведены в табл. 1. Образцы материалов для армирования были предварительно испытаны на испытательной разрывной машине МТ-136. Испытания на разрыв были проведены согласно действующим нормативам.

Таблица 1

Характеристики армирующих материалов

Материал	Максимальная нагрузка при испытании на растяжение, кН/м	Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	Использование
Нетканый геотекстиль	1,45/3,39	10/18	В реальных условиях
Нетканый синтетический материал	0,13/0,16	73/70	В эксперименте
Георешетка	288/380	8	В реальных условиях
Сетка из полиамида	5,68	6,9	В эксперименте

В связи с тем, что действующие нормативные документы по проектированию мостов (СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*) и подпорных стен (СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03–85*) требуют использования в качестве грунта обратной засыпки дренирующие крупнообломочные или песчаные грунты, в качестве грунта засыпки был выбран однородный мелкозернистый песок, просушенный до воздушно-сухого состояния, физико-механические свойства которого следующие [12]:

плотность $\rho = 1,63 \text{ г/см}^3$,

удельный вес $\gamma = 15,97 \text{ кН/м}^3$,

плотность частиц грунта $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$,

коэффициент пористости $e = 2,4 \text{ кПа}$,

удельное сцепление $c = 2,4 \text{ кПа}$,

угол внутреннего трения $\phi = 32,8 \text{ град}$,

модуль общей деформации $E_0 = 32,67 \text{ МПа}$.

Горизонтальные перемещения подпорной стены измерялись с использованием индикаторов часового типа ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм. Для измерения перемещений была создана конструкция, представляющая собой раму, жестко прикрепленную к лотку. Стержни рамы выполнены из алюминия, квадратного полого сечения. К крайней колонне крепятся 5 индикаторов перемещений с шагом 5 см по высоте. Общий вид конструкции крепления индикаторов представлен на рис. 3. Схема конструкции модели подпорной стенки с установкой индикаторов приведена на рис. 4.

Рис. 3. Общий вид конструкции крепления индикаторов

Рис. 4. Схема конструкции модели подпорной стенки с установкой индикаторов

Суть эксперимента заключалась в измерении горизонтальных перемещений модели подпорной стенки в пяти точках с оди-

наковым шагом по высоте при различной высоте обратной засыпки и при различной величине приложенной временной нагрузке.

Песок засыпался послойно, через каждые 5 см, после укладки каждого слоя грунт уплотнялся при помощи ручной трамбовки, до достижения плотности грунта значения $1,69 \text{ г/см}^3$. Плотность грунта контролировалась статическим плотномером СГП-1М.

Вторым этапом эксперимента было приложение временной нагрузки на призму обрушения. После засыпки до высоты 25 см пошагово прикладывалась распределенная нагрузка, равная от 1,0 до 6,0 кПа. После стабилизации показаний горизонтальных перемещений нагрузка снималась и контролировалось изменение перемещений.

Всего было проведено 3 серии испытаний: без армирования, с армированием сеткой и с армированием нетканым материалом. Каждая серия испытаний проводилась с трехкратной повторяемостью. Результаты первого этапа экспериментов представлены на рис. 5, второго этапа – в табл. 2.

Рис. 5. Результаты испытаний: а – без армирования грунта; б – с армированием нетканым материалом; в – с армированием сеткой

Таблица 2

Результаты испытаний на временную нагрузку

Индикатор	Нагрузка, кПа					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
<i>Без армирования грунта</i>						
5	16,09	16,09	16,09	16,12	16,13	16,15
4	13,32	13,31	13,31	13,33	13,34	13,36
3	10,37	10,34	10,36	10,39	10,40	10,41
2	7,87	7,86	7,86	7,89	7,90	7,91
1	5,17	5,16	5,16	5,19	5,19	5,19
<i>С армированием нетканым материалом</i>						
5	9,28	9,31	9,32	9,34	9,38	9,41
4	7,79	7,81	7,82	7,83	7,86	7,88
3	6,38	6,39	6,40	6,41	6,43	6,45
2	4,89	4,89	4,89	4,90	4,91	4,91
1	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,45
<i>С армированием сеткой</i>						
5	10,21	10,22	10,23	10,25	10,26	10,28
4	8,68	8,70	8,70	8,71	8,73	8,74
3	7,16	7,17	7,17	7,17	7,18	7,19
2	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	5,49
1	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89

Проведенный анализ графиков на рис. 5 показал, что зависимость горизонтальных перемещений подпорной стенки u от высоты засыпки h носит линейный характер. Для максимальной высоты обратной засыпки 25 см были построены уравнения регрессии, которые подтвердили линейный характер зависимости, среднеквадратическое отклонение R^2 составило от 0,9993 до 0,9999.

Уравнение регрессии для обратной засыпки без армирования:

$$u = 0,5462 h + 2,3656.$$

Уравнение регрессии для обратной засыпки с армированием нетканым синтетическим материалом:

$$u = 0,2918 h + 1,9807.$$

Уравнение регрессии для обратной засыпки с армированием полиэфирной сеткой:

$$u = 0,3168 h + 2,3313.$$

Для оценки эффективности применения армогрунта в качестве обратной засыпки подпорных стен было выполнено сравнение значений горизонтальных перемещений подпорной стенки при максимальных значениях вертикальной нагрузки. Критерием эффективности было принято уменьшение горизонтальных перемещений подпорной стенки с армогрунтовыми обратными засыпками, относительно горизонтальных перемещений подпорной стенки с обычной грунтовой засыпкой. Таким образом, эффективность использования полиамидной сетки в качестве армирующего материала составила 36,3 %, а нетканого синтетического материала – 41,7 %.

Выводы:

1. Зависимость горизонтальных перемещений подпорной стенки от высоты обратной засыпки в исследованном диапазоне нагрузок носит линейный характер.

2. Применение армированного грунта позволяет значительно уменьшить горизонтальные перемещения подпорных стенок. Благодаря использованию полиамидной сетки в качестве армирующего материала горизонтальные перемещения подпорной стенки уменьшаются на 36,3 %, а нетканого синтетического материала – на 41,7 %.

Библиографический список

1. Соколов А.Д. Армогрунтовые системы подпорных стен на автомобильных дорогах // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – № 7. – С. 39–46.
2. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Экономическое обоснование применения армированного грунта в конструкциях устоев мостов // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы V междунар. науч.-практ. конф., Сев. Чарльстон (США), 22-23 декабря 2014 г. – Сев. Чарльстон, 2015. – Т. 1. – С. 85–87.
3. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Применение армированного грунта в конструкции устоев моста // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2014. – № 1. – С. 367–373.
4. Соколова В.Д. Применение армогрунта в конструкции устоев моста на лесовозной дороге // Североеозкотех–2014: материалы междунар. науч. конф. – Ч. 4. – Ухта: Изд-во Ухт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 102–104.
5. Кашапова К.Р. Моделирование армогрунтовых устоев мостовых переходов методом конечных элементов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – № 7–1 (18-1). – С. 460–463.
6. Liu H., Wang X., Song E. Reinforcement load and deformation mode of geosynthetic-reinforced soil walls subject to seismic loading during service life // Geotextiles and Geomembranes. – 2011. – Vol. 29, № 1. – P. 1–16.

7. Haza E., Gotteland Ph., Gourc J.P. Design method for local load on a geosynthetic reinforced soil structure // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2000. – Vol. 18, № 4. – P. 243–267.
8. Mendonca A., Lopes M.L., Pinho-Lopes M. Construction and post-construction behaviour of a geogrid-reinforced steep slope // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2003. – Vol. 21, № 2. – P. 129–147.
9. Ling H.I., Yang S., Leshchinsky D., Liu H., Burke C. Finite-element simulations of full-scale modular-block reinforced soil retaining walls under earthquake loading // *Journal of Engineering Mechanics – ASCE*. – 2010. – Vol. 136, № 5. – P. 653–661.
10. Shapiro D.M., Tarasov A.A. Analytical models of beds of inclined structures and retaining walls of reinforced soils // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2014. – Vol. 51, № 4. – P. 181–187.
11. Шапиро Д.М., Тарасов А.А. Совершенствование расчета оснований подпорных стенок и армогрунтовых сооружений // *Строительная механика и конструкции*. – 2013. – Т. 1, № 6. – С. 53–57.
12. Кашапова К.Р. Планирование модельных экспериментов по исследованию работы подпорных стен, армированных горизонтальными геосинтетическими прослойками // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2016. – № 1. – С. 30–38.
13. Клевеко В.И., Кашапова К.Р. Использование метода конечных элементов для моделирования работы подпорных конструкций с засыпкой из фиброармированного грунта // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2015. – № 4 (20). – С. 38–50.
14. 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.
15. Lisnevskiy M.A., Sukhorskiy V.O. Conducting and analyzing the results of the experimental box test of retaining wall models without piles and on the pile foundation // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 5 (59). – P. 169–179.
16. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Исследование характера зависимости деформация–линейная жесткость для разных типов геосинтетических материалов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. – 2013. – № 1. – С. 165–172.

References

1. Sokolov A.D. Armogruntovye sistemy podpornykh sten na avtomobil'nykh dorogakh [Reinforced soil system retaining walls on the roads]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2014, no. 7, pp. 39–46.
2. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Ekonomicheskoe obosnovanie primeneniya armirovannogo grunta v konstruktsiyakh ustoev mostov [Economic justification of reinforced soil on constructions of the bridge abutments]. *Materialy V mezhdunarodnoj*

nauchno-prakticheskoy konferentsii, North Charleston (USA), 22-23 dekabrya 2014 g. North Charleston «Aktual'nye napravleniya fundamental'nykh i prikladnykh issledovanij», 2015, vol. 1, pp. 85–87.

3. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Primenenie armirovannogo grunta v konstruktsii ustoev mosta [Reinforced soil application in the construction of bridge abutment]. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskij progress. Urbanistika*, 2014, no. 1, pp. 367–373.

4. Sokolova V.D. Primenenie armogrunta v konstruktsii ustoev mosta na lesovoznoj doroze [Application of reinforced soil on the construction of bridge abutments at forest roads]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii «Severogeoekotekh–2014». Ch. 4. Ukhtinskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet*, 2014, pp. 102–104.

5. Kashapova K.R. Modelirovanie armogruntovykh ustoev mostovykh perekhodov metodom konechnykh elementov [Modeling reinforced soil bridges' pillars by finite element method]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika*, 2015, no. 7-1 (18-1), pp. 460–463.

6. Liu H., Wang X., Song E. Reinforcement load and deformation mode of geosynthetic-reinforced soil walls subject to seismic loading during service life. *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, vol. 29, no. 1, pp. 1–16.

7. Haza E., Gotteland Ph., Gourc J.P. Design method for local load on a geosynthetic reinforced soil structure. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2000, vol. 18, no. 4, pp. 243–267.

8. Mendonca A., Lopes M.L., Pinho-Lopes M. Construction and post-construction behaviour of a geogrid-reinforced steep slope. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2003, vol. 21, no. 2, pp. 129–147.

9. Ling H.I., Yang S., Leshchinsky D., Liu H., Burke C. Finite-element simulations of full-scale modular-block reinforced soil retaining walls under earthquake loading. *Journal of Engineering Mechanics – ASCE*, 2010, vol. 136, no. 5, pp. 653–661.

10. Shapiro D.M., Tarasov A.A. Analytical models of beds of inclined structures and retaining walls of reinforced soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2014, vol. 51, no. 4, pp. 181–187.

11. Shapiro D.M., Tarasov A.A. Sovershenstvovanie rascheta osnovanij podpornykh stenok i armogruntovykh sooruzhenij [Perfecting of retaining walls groundwork and reinforced soil structures]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktsii*, 2013, vol. 1, no. 6, pp. 53–57.

12. Kashapova K.R. Planirovanie model'nykh eksperimentov po issledovaniyu raboty podpornykh sten, armirovannykh gorizontaľnymi geosinteticheskimi proslojkami [The planning of the model experiments to investigate the operation of retaining walls, which are reinforced with geosynthetic horizontal layers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, no. 1, pp. 30–38.

13. Kleveko V.I., Kashapova K.R. Ispol'zovanie metoda konechnykh elementov dlya modelirovaniya raboty podpornykh konstruktsij s zasypkoj iz fibroarmirovannogo grunta [Using finite element method to simulate retaining structures with fiber reinforced soils backfilling]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaja ekologiya. Urbanistika*, 2015, no. 4 (20), pp. 38–50.

14. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniyu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nagruzhennogo massiva fibroarmirovannogo grunta, nakhodyashchegosya za podpornoj stenoy [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.
15. Lisnevskiy M.A., Sukhorskiy V.O. Conducting and analyzing the results of the experimental box test of retaining wall models without piles and on the pile foundation. *Nauka ta progres transport*, 2015, no. 5 (59), pp. 169–179.
16. Tatyannikov D.A., Kleveko V.I. Issledovanie kharaktera zavisimosti «deformatsiya–linejnaya zhestkost'» dlya raznykh tipov geosinteticheskikh materialov [Study of the nature of dependence “strain – linear stiffness” for different types geosynthetics]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhayushchej sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2013, no. 1, pp. 165–172.

Получено 21.09.2016

K. Kashapova, V. Kleveko

RESULTS OF MODEL EXPERIMENTS TO DETERMINE HORIZONTAL DEFORMATIONS OF REINFORCED SOIL RETAINING WALLS

Retaining walls are one of the most common types of structures used in modern urban, industrial and transport civil engineering. All retaining structures are known to experience significant horizontal loads from the self-weight of the soil backfill of the retaining wall as well as the temporary load on the prism of the collapse. Therefore, the reduction of this pressure and thus the reduction of deformations has become a primary objective. Reducing the horizontal soil pressure is possible by improving the strength characteristics of soil backfill and reinforcing the soil which is one of the most promising methods at the moment.

To assess the effect of soil reinforcement, we conducted modeling experiments to determine horizontal deformations of the retaining wall lining caused by the loads acting on it. The article presents the results of model tests to determine the horizontal displacements of the retaining wall due to the self-weight of the soil backfill and the temporarily applied loads on the prism of the collapse. The testing methods are described. We have compared the use of unreinforced sandy soil and reinforced sandy soil with geosynthetic layers, i.e. geogrid and nonwoven geotextile as a soil backfill. The conclusion is made about the effectiveness of the reinforcement.

Keywords: retaining wall, model experiments, soil reinforcement, geosynthetics.

Кашапова Катарина Равилевна (Пермь, Россия) – инженер ООО «Гормостреконструкция» (614087, г. Пермь, ул. Рабочая, 21, e-mail: katenka789@yandex.ru).

Клевко Владимир Иванович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vlivkl@mail.ru).

Kashapova Katarina (Perm, Russian Federation) – Engineer LLC "Gormostrekonstruktsiya" (614990, 21 Rabochaja street, Perm, Russia, e-mail: katenka789@yandex.ru)

Kleveko Vladimir (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29 Komsomolsky prospekt, Perm, Russia, email: vlivkl@mail.ru).