ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.1

Д.А. Татьянников, А.Б. Пономарев
ПНИПУ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИЙ АРМИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПОДУШЕК

Аннотация. Для изучения основных закономерностей и параметров работы, а также определения области применения армированных фундаментных подушек было проведено численное моделирование данных конструкций в ПК Plaxis 2D. Целью данного исследования является установление оптимальных конструкций армированных фундаментных подушек. Данная цель была достигнута путем решения следующих задач: определения оптимальных параметров армированной фундаментной подушки; изучения напряженно-деформированного состояния армированной фундаментной подушки и слабого основания; оценки нагрузок, при которых достигаются предельные осадки для всех типов армированных фундаментных подушек.

Ключевые слова: армированные фундаментные подушки, предельная допустимая нагрузка, линейная жесткость, коэффициент влияния армирования

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.21-31

В работах [1–3] было показано, что, при строительстве зданий и сооружений на малонагруженных ленточных фундаментах применение армированных фундаментных подушек как одного из способов улучшения строительных свойств грунтов является альтернативой другим, более дорогим и технически сложным методам строительства. Однако широкое применение армированных фундаментных подушек осложняется отсутствием нормативно-технической документации по проектированию данных конструкций. С целью разработки методики расчета данных конструкций необходимо изучить основные параметры и закономерности их работы под нагрузкой. Для этого на первоначальном этапе экспериментальных работ с целью подбора оптимальных параметров армированных фундаментных подушек было выполнено численное моделирование основания, параметры которого были улучшены устройством армированной фундаментной подушки. Подбор параметров проводился путем численного моделирования, в котором варьировались такие параметры как высота подушки, шаг армирования, количество армирующих элементов.

Для выполнения численного моделирования были приняты характеристики инженерно-геологических элементов площадки, расположенной на территории базы ОАО «Пермдорстрой» в п. Осенцы (табл. 1).

Значения коэффициента Пуассона ν и угла дилатансии Ψ были приняты на основании исследований [4]. Размер массива был выбран исходя из напластования грунтов и развития напряжений в массиве грунта от возникающих нагрузок и составил 10×20 м. Нагрузка на подушку передавалась через ус-

ловный жесткий фундамент шириной 1 м. Глубина заложения фундамента была принята, равной 2 м, исходя из требований, согласно которым она должна быть больше глубины промерзания грунтов, которая для грунтов г. Перми в среднем составляет 1,9 м. Максимальная нагрузка на фундамент принималась как осредненная нагрузка для зданий высотой не более 5 этажей с ленточными фундаментами, характерными для г. Перми, и составила 250 кН/м. Согласно Приложению Д СП 22.13330.2011, предельные осадки для таких зданий с несущими стенами из кирпичной кладки составляют 12 см. Опираясь на работы предыдущих исследователей [5–10], показавших, что геосинтетические материалы как армирующие прослойки вступают в работу только при нагрузках близких к предельным, за критерий принята нагрузка, при которой достигаются предельно допустимые осадки в 12 см для данной категории сооружений.

Табл. 1. Физико-механические характеристики грунтов опытной площадки

Инженерно-геологический элемент	Наименование грунта	Мощность слоя, м	I_L , д.ед.	γ , кН/м ³	φ , град	c , МПа	E , МПа	ν	Ψ , град
1	Насыпной грунт	1,8	Насыпной грунт						
2	Суглинок тугопластичный	0,8		19,9	21	0,029	13,5	0,35	1
3	Суглинок мягкопластичный	6,2	0,62	19,5	11,1	0,013	11,4	0,35	1
4	Суглинок тугопластичный	0,8		20,0	24	0,04	25	0,35	1
5	Аргиллит сильновыветрелый, трещиноватый	10,3		21,0	12,7	52	30	0,35	0
6	Материал подушки (крупный песок)			22	35	10	30	0,3	5

Расчет выполнялся в условиях плоской деформации. Граничные условия в рассматриваемой задаче принимались следующим образом:

- по контуру верхней границы перемещения не ограничиваются ($U \neq 0$, $V \neq 0$);
- по вертикальным граням перемещения ограничиваются в направлении X ($U = 0$, $V \neq 0$);
- по нижней границе перемещения отсутствуют ($U = 0$, $V = 0$).

На основании исследований, выполненных различными авторами [4, 11], в данном численном моделировании использовалась модель Мора-Кулона. Для определения предварительных размеров неармированной фундаментной подушки была принята методика, предложенная профессором Н.А. Цытовичем, согласно которой высота песчаной подушки:

$$h_n = bk_1,$$

где h_n — высота песчаной подушки; b — наименьший размер подошвы фундамента; k_1 — коэффициент, определяемый из графика, приведенного на рис. 1,

в зависимости от соотношения R_n/R_c и a/b ; R_n — расчетное сопротивление грунта подушки; R_c — расчетное сопротивление слабого слоя; a, b — размеры фундамента в плане.

Рис. 1. Расчетная схема и график для определения высоты песчаной подушки по методу Н.А. Цытовича

$$b_n = b + 2h_n \operatorname{tg} \alpha,$$

где b_n — ширина подошвы подушки; $\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла заложения подушки. Согласно Приложению В СП 22.13330.2011, $R_n = 400$ кПа, $R_c = 150$ кПа, получаем $R_n/R_c = 2,7$. Так как рассматривается ленточный фундамент $a/b > 10$, следовательно, $k_1 = 1,5$. Высота подушки составляет $h_n = 1,5$ м, расчетное значение $b_n = 2,96$, принимаем $b_n = 3$ м.

Угол распределения давления в теле подушки принят 30° . Общий вид модели с фундаментной подушкой приведен на рис. 2.

Рис. 2. Общий вид модели с фундаментной подушкой в ПК Plaxis 2D

Второй этап заключался в подборе параметров армирования. Исходя из требований европейских норм проектирования конструкций из армированного грунта EBGEО, подушку необходимо армировать по всей глубине, шаг армирования назначается в диапазоне $0,15 \text{ м} \leq \Delta h \leq 0,40 \text{ м}$ [12, 13]. Для численного моделирования в качестве армирующих материалов применяются тканый геотекстиль и георешетка. Для задания в ПК Plaxis параметров геосинтетических материалов необходимо знать линейную жесткость [4, 14, 15]. Характеристики геосинтетических материалов приведены в табл. 2.

Табл. 2. Сводная таблица основных физико-механических характеристик геосинтетических материалов

Материал	Линейная жесткость, кН/м		Поверхностная плотность, г/м ²	Состав
	продольная	поперечная		
Георешетка	1122	392	415	Полиэстер
Геотекстиль тканый двухосный	350	282	300	Полипропилен

В рамках данного исследования было рассмотрено несколько типов конструкций армированных фундаментных подушек: с шагом $\Delta h = 0,2, 0,3, 0,4 \dots 100(n - 1) + 200$, где n — номер армирующего слоя. Также вне зависимости от шага армирования последний армирующий слой закладывался по границе подушки и грунта основания. Наличие данного сепарационного слоя предотвращает перемешивание материала подушки с грунтом основания [6] и позволяет увеличить нагрузку на подушку при предельной осадке 12 см (табл. 3).

Табл. 3. Результаты численного моделирования армированных фундаментных подушек на наличие и отсутствие сепарационного слоя

Конструкция	Тип геосинтетического материала	Достигнутая нагрузка, кН/м, при предельной осадке $s = 12 \text{ см}$	
		с сепарационным слоем	без сепарационного слоя
Неармированная подушка	—	250	250
Подушка, армированная с шагом 200 мм, 6 слоев	Георешетка	280	270
	Геотекстиль	270	260
Подушка, армированная с шагом 300 мм, 4 слоя	Георешетка	276	260
	Геотекстиль	264	250
Подушка, армированная с шагом 400 мм, 3 слоя	Георешетка	265	250
	Геотекстиль	258	245
Подушка, армированная с шагом 200/300/400 мм, 4 слоя	Георешетка	280	260
	Геотекстиль	270	250

При выполнении авторами первоначальных расчетов параметры армированных фундаментных подушек корректировались. Были приняты следующие размеры: $h_n = 1,1$ м (высота подушки), $b_n = 2,5$ м (ширина подошвы подушки). В результате расчета в ПК Plaxis для каждого типа армированных фундаментных подушек получены схемы, которые отражают напряженно-деформированное состояние системы при приложении нагрузки [16, 17]. На рис. 3, 4 приведены примеры результатов расчета в виде деформационной схемы и схемы напряжений для основания, усиленного армированной георешеткой, фундаментной подушкой с шагом 200/300/400 мм.

Рис. 3. Деформационная схема основания, усиленного фундаментной подушкой, армированной георешеткой с шагом 200/300/400 мм, под нагрузкой

Рис. 4. Схема напряжений основания, усиленного фундаментной подушкой, армированной георешеткой с шагом 200/300/400 мм, под нагрузкой

Для более корректного сравнения полученных результатов численного моделирования был введен коэффициент влияния армирования $K_{\text{арм}}$ [18], равный отношению нагрузок, прикладываемых к армированной и неармированной подушкам, при которых достигаются предельные осадки в 12 см. Результаты моделирования сведены в табл. 4.

Табл. 4. Результаты численного моделирования

Конструкция	Тип геосинтетического материала	Достигнутая нагрузка, кН/м, при предельной осадке $s = 12$ см	Коэффициент влияния армирования при осадке $s = 12$ см
Неармированная подушка	—	250	—
Подушка, армированная с шагом 200 мм, 6 слоев	Георешетка	280	1,12
	Геотекстиль	270	1,08
Подушка, армированная с шагом 300 мм, 4 слоя	Георешетка	276	1,1
	Геотекстиль	264	1,06
Подушка, армированная с шагом 400 мм, 3 слоя	Георешетка	265	1,06
	Геотекстиль	258	1,03
Подушка, армированная с шагом 200/300/400 мм, 4 слоя	Георешетка	280	1,12
	Геотекстиль	270	1,08

Как видно из анализа полученного значения коэффициента влияния армирования, введение геосинтетических материалов позволяет увеличить нагрузку на армированную фундаментную подушку и, как следствие, снизить осадку фундамента здания.

На основании полученных результатов были построены диаграммы, отражающие зависимость количества армирующих слоев геосинтетических материалов от достигнутой нагрузки при осадке 12 см (рис. 5).

Рис. 5. (начало) Диаграммы зависимости нагрузки от количества слоев геосинтетических материалов: а — георешетки

б

Рис. 5. (окончание) Диаграммы зависимости нагрузки от количества слоев геосинтетических материалов: б — геотекстиля

Как видно из анализа данных диаграмм, постепенное увеличение числа армирующих слоев из геосинтетических материалов на определенном уровне приводит к незначительному повышению нагрузки при предельной осадке 12 см. Следует отметить тип армирования 200/300/400 мм, в котором при наличии меньшего числа слоев (4 слоя) достигаются результаты, аналогичные результатам с 6 слоями при обоих типах армирования.

На основании выполненного численного моделирования можно сделать следующие выводы:

- использование нижнего армирующего слоя как сепарационного во всех типах конструкций армированных фундаментных подушек позволяет увеличить нагрузку на основание;
- при предельной осадке 12 см достигнутая нагрузка на армированные фундаментные подушки, в которых в качестве армирующих прослоек используется георешетка, выше по сравнению с аналогичными конструкциями, в которых применяется геотекстиль, так как георешетка имеет лучшие физико-механические характеристики;
- при использовании типовых шагов армирования (200/300/400 мм) увеличение количества слоев геосинтетических материалов до определенного уровня (4 слоя) позволяет получить существенное повышение нагрузки при предельной осадке 12 см. Дальнейшее увеличение количества слоев не позволяет значительно повысить данную нагрузку;
- наиболее рациональным шагом армирования для данных типов геосинтетических материалов при выбранных инженерно-геологических условиях является шаг 200/300/400 мм (4 слоя), так как при данном шаге значение нагрузки, достигнутой при предельной осадке 12 см, эквивалентно для шага в 200 мм (6 слоев). Армированные фундаментные подушки с шагом 200/300/400 мм будут в дальнейшем использованы для проведения более подробных исследований.

Библиографический список

1. *Татьянников Д.А.* Изучение механических характеристик геосинтетических материалов для определения реальной несущей способности армированных фундаментных подушек // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 121–127.
2. *Татьянников Д.А., Пономарев А.Б., Клевеко В.И.* Исследования механических характеристик геосинтетических материалов для разработки методики расчета несущей способности армированных фундаментных подушек // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 1. С. 84–89.
3. *Усманов Р.А.* Повышение эффективности применения уплотненных грунтовых подушек на слабых грунтах // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 69–79.
4. *Клевеко В.И., Татьянников Д.А., Драчева Е.О.* Сравнение модельных штамповых испытаний и расчетов по методу конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 170–179.
5. *Татьянников Д.А., Пономарев А.Б., Клевеко В.И., Schlömp S.H., Schwerdt S.* Определение характеристик трения для двух типов геосинтетических материалов путем проведения испытаний на сдвиг // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 174–186.
6. *Бай В.Ф., Краев А.Н.* Исследование работы песчаной армированной по контуру подушки с криволинейной подошвой в условиях слабых глинистых грунтов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 107–110.
7. *Тимофеева Л.М.* Армирование грунтов (теория и практика применения) : дисс. ... д-ра техн. наук. Пермь, 1991. 476 с.
8. *Мащенко А.В., Пономарев А.Б.* К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 64–80.
9. *Мирсаяпов И.Т., Королева И.В.* Расчетная модель несущей способности и деформаций армированных оснований при циклическом нагружении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 32–47.
10. *Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N.* The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals // Geotechnical engineering for transportation infrastructure : Proceedings of the 12th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering / editors F.B.J. Barends, J. Lindenberg, H.J. Luger, L. Quelerij, A. Verruijt. Netherlands. Amsterdam, 1999. Vol. 2. Pp. 1197–1202.
11. *Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б.* Исследование прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 44–55.
12. *Koerner Robert M.* Designing with Geosynthetics. New Jersey : Upper Saddle River, 1999.
13. *Melo D.L.A., Santos E.C.G.* Shear strength of RCDW/nonwoven geotextile interface // 10th International Conference on Geosynthetics. Berlin, 2014. Vol. 7.
14. *Tatiannikov D.A., Kleveko V.I.* Analysis of changes in the strength characteristics in operation // 10th International Conference on Geosynthetics. Berlin, 2014. Vol. 4.
15. *Пonomarev А.Б., Клевеко В.И., Татьянников Д.А.* Анализ изменения прочностных характеристик геосинтетических материалов в процессе эксплуатации // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 11–16.

16. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Подбор геосинтетической оболочки для грунтовых свай и эффективность их применения в геологических условиях г. Перми // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 1 (36). С. 82–89.

17. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б., Усманов Р.А. Полунатурные экспериментальные исследования грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 54–60.

18. Татьянаников Д.А., Клевеко В.И., Пономарев А.Б. Анализ работы армированного песчаного основания на основе штамповых модельных испытаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2012. № 4 (8). С. 92–102.

Поступила в редакцию в августе 2016 г.

Об авторах: Татьянаников Даниил Андреевич — ассистент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29, 8 (342) 219-83-77, danco777@mail.ru;

Пономарев Андрей Будимирович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29, 8 (342) 219-83-74, spstf@pstu.ru.

Для цитирования: Татьянаников Д.А., Пономарев А.Б. Численное моделирование работы конструкций армированных фундаментных подушек // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 21–31. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.21-31

D.A. Tat'yannikov, A.B. Ponomarev

NUMERICAL MODELING OF REINFORCED FOUNDATION PADS STRUCTURES

Abstract. The wide use of reinforced foundation pads is complicated because of the absence of technical rules and regulations on design of such structures. It is necessary to investigate the main parameters and regularities of such structures operation under loading. For this aim numerical study of the foundation was carried out, the parameters of which were improved by reinforced foundation pad.

The numerical modeling of reinforced foundation pads was carried out in the Plaxis 2D for study of the basic laws and operating parameters and for determination of the application area of these structures. The main goal of this study was to establish the optimal structures of reinforced foundation pads. This goal was achieved by solving the following tasks: determination of the optimal parameters of reinforced foundation pads; study of the stress-strain state of reinforced foundation pads and a soft base; estimation of the load, at which the ultimate settlement is achieved for all types of reinforced foundation pads. It was concluded that the lower reinforcement separating layer allows increasing the loading of the foundation. The typical and optimal reinforcement spacing were specified and analyzed.

Key words: reinforced foundation pads, ultimate load capacity, finite element method, linear stiffness, influence coefficient of reinforced

References

1. Tat'yannikov D.A. Izuchenie mekhanicheskikh kharakteristik geosinteticheskikh materialov dlya opredeleniya real'noy nesushchey sposobnosti armirovannykh fundamentnykh podushek [Investigation of Mechanical Features of Geosynthetic Materials for Estimation of the Actual Bearing Capacity of Reinforced Pads]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2015, no. 6 (53), pp. 121–127. (In Russian)

2. Tat'yannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I. Issledovaniya mekhanicheskikh kharakteristik geosinteticheskikh materialov dlya razrabotki metodiki rascheta nesushchey sposobnosti armirovannykh fundamentnykh podushek [Investigation of Mechanical Features of Geosynthetic Materials in Order to Develop a Bearing Capacity Calculation Method for Reinforced Pads]. *Akademicheskiiy vestnik UralNIIProekt RAASN* [Academic Bulletin of Ural-NIIProekt RAACS]. 2015, no. 1, pp. 84–89. (In Russian)
3. Usmanov R.A. Povyshenie effektivnosti primeneniya uplotnennykh gruntovykh podushek na slabykh gruntakh [Improvement of Efficiency of Application of Condensed Soil Cushions to Loose Soils]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 5, pp. 69–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.22227/1997-0935.2013.5.69-79>.
4. Kleveko V.I., Tat'yannikov D.A., Dracheva E.O. Svravnenie model'nykh shtampovykh ispytaniy i raschetov po metodu konechnykh elementov [Comparison of Model Plate Tests and Calculations Using Finite Element Method]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Construction and Architecture]. 2014, no. 4, pp. 170–179. (In Russian)
5. Tat'yannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Schlömp S.H., Schwerdt S. Opredelenie kharakteristik treniya dlya dvukh tipov geosinteticheskikh materialov putem provedeniya ispytaniy na sdvig [Determining Friction Behavior for Two Types of Geosynthetic Materials by Shear Tests]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Construction and Architecture]. 2014, no. 1, pp. 174–186. (In Russian)
6. Bay V.F., Kraev A.N. Issledovanie raboty peschanoy armirovannoy po konturu podushki s krivolineynoy podoshvoy v usloviyakh slabykh glinistykh gruntov [Investigation of a Sand Pad Reinforced Along the Outline with Archy Bottom in the Conditions of Soft Clayey Soil]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2014, no. 3 (44), pp. 107–110. (In Russian)
7. Timofeeva L.M. *Armirovanie gruntov (teoriya i praktika primeneniya) : dissertatsiya doktora tekhnicheskikh nauk* [Reinforcement of Soil (Theory and Practical Application) : dissertation of a Doctor of Technical Sciences]. Perm, 1991, 476 p. (In Russian)
8. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniya armirovannykh sezonopromerzayushchikh puchinystrykh gruntov v kachestve osnovaniy fundamentov [On Application Issue of Reinforced Heaving Mollisols as Foundation Bottoms]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Construction and Architecture]. 2012, no. 1, pp. 64–80. (In Russian)
9. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Raschetnaya model' nesushchey sposobnosti i deformatsiy armirovannykh osnovaniy pri tsiklicheskom nagruzhении [Calculation Model of the Bearing Capacity and Deformations of Reinforced Foundations at Cyclic Loading]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Construction and Architecture]. 2014, no. 4, pp. 32–47. (In Russian)
10. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N. The Use of Synthetic Materials in the Highway Engineering in the Urals. Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure : Proceedings of the 12th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Netherlands, Amsterdam, 1999, vol. 2, pp. 1197–1202.
11. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B. Issledovanie prochnostnykh kharakteristik peska, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Strength Properties Investigation of the Sand Reinforced by Polypropylene Discontinuous Fibers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Construction and Architecture]. 2012, no. 1, pp. 44–55. (In Russian)
12. Koerner Robert M. Designing with Geosynthetics. New Jersey, Upper Saddle River, 1999.

13. Melo D.L.A., Santos E.C.G. Shear Strength of RCDW/Nonwoven Geotextile Interface. 10th International Conference on Geosynthetics. Berlin, 2014, vol. 7.
14. Tatiannikov D.A., Kleveko V.I. Analysis of Changes in the Strength Characteristics in Operation. 10th International Conference on Geosynthetics. Berlin, 2014, vol. 4.
15. Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Tat'yannikov D.A. Analiz izmeneniya prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov v protsesse ekspluatatsii [Analysis of Changes in Strength Characteristics of Geosynthetics during Its Operation]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Herald of the Voronezh State University of Civil Engineering. Construction and Architecture]. 2014, no. 3 (35), pp. 11–16. (In Russian)
16. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Podbor geosinteticheskoy obolochki dlya gruntovykh svay i effektivnost' ikh primeneniya v geologicheskikh usloviyakh g. Permi [Choice of Geosynthetic Shell for Soil Piles and Efficiency of Their Application in Geological Conditions of Perm]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2013, no. 1 (36), pp. 82–89. (In Russian)
17. Shenkman R.I., Ponomarev A.B., Usmanov R.A. Polunaturnye eksperimental'nye issledovaniya gruntovykh svay v obolochke iz geosinteticheskikh materialov [Seminatural Experimental Investigations of Soil Piles with Geosynthetic Shell]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2014, no. 1 (42), pp. 54–60. (In Russian)
18. Tat'yannikov D.A., Kleveko V.I., Ponomarev A.B. Analiz raboty armirovannogo peschanogo osnovaniya na osnove shtampovykh model'nykh ispytaniy [Operation Analysis of Reinforced Sand Foundation Basing on Stamp Model Tests]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin. Urban Studies]. 2012, no. 4 (8), pp. 92–102. (In Russian)

About the authors: **Tat'yannikov Daniil Andreevich** — Assistant Lecturer, Department of Construction Operations and Geotechnology, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; +7 (342) 219-83-77; danco777@mail.ru;

Ponomarev Andrey Budimirovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, chair, Department of Construction Operations and Geotechnology, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; +7 (342) 219-83-74; spstf@pstu.ru.

For citation: Tat'yannikov D.A., Ponomarev A.B. Chislennoe modelirovanie raboty konstruktivnykh armirovannykh fundamentnykh podushek [Numerical Modeling of Reinforced Foundation Pads Structures]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 11, pp. 21–31. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11.21-31