

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.10

УДК 624.137

А.С. Кузнецова, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАГРУЖЕННОГО МАССИВА ФИБРОАРМИРОВАННОГО ГРУНТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ ЗА ПОДПОРНОЙ СТЕНОЙ

В настоящее время армогрунтовые подпорные стены стали популярным типом ограждающих конструкций. В качестве арматуры могут применяться металлические сетки, различные природные или синтетические добавки. Основными достоинствами армированных подпорных стен являются их принципиальная простота, легкость возведения, снижение материала затрат. Помимо армирования линейными материалами существует технология внедрения в грунт случайно распределенных дискретных волокон – фибровое армирование. Фиброгрунт имеет улучшенные прочностные характеристики, благодаря чему одной из перспектив его применения является использование в качестве обратной засыпки различных ограждающих конструкций.

В статье представлен план модельных и численных экспериментов по исследованию напряженно-деформированного состояния массива грунта, армированного дискретными волокнами полипропилена, находящегося за подпорной стеной. Разработана программа испытаний, состоящая из четырех серий, по исследованию влияния следующих факторов: содержания армирующих волокон, толщины армирующего слоя, высоты стены, расположения фундамента. В каждой серии планируется оценка влияния одного фактора при постоянных других. В качестве параметров для оценки вводятся величины коэффициента несущей способности (КНС) и индекса деформируемости (ИД). Подробно описана методика подготовки лабораторного стенда для испытаний моделей фундамента и обработка полученных результатов. Для исключения возможной ошибки результаты лабораторных испытаний планируется проверить методом конечных элементов в программе PLAXIS 2D. Численное моделирование проводится аналогично программе лабораторных испытаний. Для интерпретации результатов на полномасштабную модель существует ряд ограничений, связанных с масштабными коэффициентами эксперимента. Даны пояснения о снижении влияния некоторых ограничивающих факторов, таких как размер частиц, плотность грунта, эффект трения и др.

Ключевые слова: планирование эксперимента, подпорная стена, фибровое армирование, численное моделирование, испытания в лотке.

A.S. Kuznetsova, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

EXPERIMENTAL DESIGN TO INVESTIGATE THE STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF LOADED FIBER REINFORCED SOIL MASS ADJACENT TO RETAINING WALL

Currently reinforced walls have become a popular type of retaining structures. Metal mesh, various natural or synthetic additives can be used as the reinforcement. The main advantages of reinforced retaining walls are their fundamental simplicity, ease of construction, economy. In addition to the linear reinforcement there is a technology where randomly distributed discrete fiber are introduced into the soil - fiber reinforcement. Fibersoil has improved strength characteristics, so one of the prospects of its application is to use as backfill of different retaining structures.

The article presents a plan model and numerical experiments to investigate the stress-strain state of soil reinforced with discrete polypropylene fibers adjacent to the retaining wall. Test program consisting of four series are developed to evaluate the effect of the following factors: the content of the reinforcing fibers, the thickness of the reinforcing layer, the location of the foundation. Each series is planned to study the response of one parameter while the other variable parameters are constant. In order to evaluate the fiber-reinforced effects the bearing capacity ratio and deformability index are introduced. The method how to prepare the laboratory stand for testing models and the interpretation of the results are described in detail. To exclude possible error in results of laboratory tests finite element analysis is planned in program PLAXIS 2D. Numerical simulation is similar to the laboratory tests program. To interpret the results on full-scale model there are some limitations associated with the scaling factors of the experiment. Explanations are given to reduce the influence of some limiting factors, such as particle size, material density, the friction effect and etc.

Keywords: experimental design, retaining walls, fiber reinforcement, numerical modeling, soil box testing.

Особое место в строительной практике занимает проектирование сооружений, находящихся на круtyх грунтовых откосах, или проектирование земляных сооружений, таких как дамбы, плотины, насыпи, глубокие котлованы. От того, насколько качественно будет подготовлен проект такого строительного объекта, а также от степени внимания к особенностям грунта во многом зависит долговечность постройки и безопасность ее эксплуатации. В этом случае первоочередной задачей инженеров-геотехников является оценка устойчивости грунтового массива. Нарушение равновесия грунта на откосе или в теле земляного сооружения может привести к серьезным последствиям и даже катастрофам. Если неукрепленный грунтовый откос имеет предельную крутизну, возникает необходимость устройства ограждающих конструкций, таких как подпорные стены. Основное назначение подпорной стены – укрепление грунта на откосах, склонах, а также предотвращение

обрушения и сползания грунта на участках, расположенных по берегам рек, озер и прудов. На устойчивость подпорной стены, помимо геометрических особенностей и свойств материала, из которого она изготовлена, существенное влияние оказывают характеристики грунта обратной засыпки. В соответствии с рекомендациями СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий» для снижения давления грунтовой воды на подпорные стены в качестве обратной засыпки следует применять грунты с хорошими фильтрационными свойствами (песчаные или крупнообломочные).

В настоящее время активно применяются армогрунтовые подпорные стены, в которых грунт обратной засыпки является неотъемлемой частью конструкции. В качестве армирующих элементов выступают металлические сетки, а также различные природные или синтетические добавки (пластмассы, геосинтетические материалы, тонкие стали). Технология строительства армогрунтовой конструкции заключается в послойной укладке уплотненного грунта и арматуры. В качестве облицовки могут выступать бетонные блоки, панели, гибкие геотекстильные материалы, габионы. Так, в Перми вертикальная подпорная стенка была возведена с использованием стальной арматурной сетки с размером ячейки 100×100 мм, которая заанкеривалась за бетонные блоки облицовки. В качестве обратной засыпки была предусмотрена тщательно уплотненная песчано-гравийная смесь. Высота подпорной стенки составила 10 м [1].

Основными достоинствами конструкций с применением армирования являются их принципиальная простота, легкость возведения, снижение материалозатрат. При грамотном проектировании и строительстве применение армогрунтовых конструкций способно решить большинство задач современной геотехники.

Несмотря на большой опыт применения армогрунтовых конструкций во многих областях промышленного и гражданского строительства, следует отметить, что существует недостаточно изученная технология смешивания грунта с дискретными волокнами, так называемое фиброприморование. Концепция фибрового армирования подсказана природой. Примером естественного включения случайно ориентированных волокон в грунт являются корни растений. В этом случае корни растений улучшают сдвиговую прочность грунта и обеспечивают устойчивость природных склонов [2].

Результаты лабораторных исследований [2–6] показывают, что волокна фибры, внедренные в грунт, повышают прочностные характеристики песчаного грунта. Совместная работа отдельных волокон и частиц грунта способствует появлению у несвязного грунта удельного сцепления и увеличению угла внутреннего трения. Такой материал имеет хорошие фильтрационные свойства и будет оказывать меньшее активное давление на ограждения за счет увеличенного значения угла внутреннего трения и удельного сцепления. Таким образом, одной из перспективных областей применения такого материала может стать использование его в качестве обратной засыпки различных ограждающих конструкций [3].

Для определения характера работы массива грунта, армированного дискретными волокнами полипропилена, находящегося за подпорной стеной, и получения эмпирических зависимостей влияния различных факторов на поведение рассматриваемой конструкции необходимо провести определенный объем экспериментальных исследований. Целью данной работы является составление программы лабораторных и численных экспериментов для дальнейшего исследования возможности применения и влияния обратной засыпки из фиброармированного грунта в активной зоне. Оптимальное планирование эксперимента предполагает одновременное последовательное изменение всех входных параметров, влияющих на качество исследуемого материала, и позволяет установить по специально сформулированным правилам зависимость модели качества материала от этих параметров [7].

Экспериментальные исследования модели нагруженного массива грунта за подпорной стеной будут проводиться на материально-технической базе экспертной лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В модельных экспериментах применяется песчаный грунт, физические и механические характеристики которого были получены по результатам лабораторных испытаний (табл. 1) [8].

Для армирования используется полипропиленовая фибра круглого поперечного сечения длиной 12 мм. Полипропиленовое волокно является эффективной армирующей добавкой для бетона и наиболее популярным материалом, применяемым в качестве фибрового армирования грунтов [5]. Диаметр элементарного фиброволокна со-

ставляет 0,025–0,035 мм, плотность волокон 0,91 г/см³. Модуль упругости при изгибе используемого полипропиленового волокна не менее 1050 МПа.

Таблица 1

Физические и механические характеристики песчаного грунта

№ п/п	Характеристики	Значения
1	По гранулометрическому составу по ГОСТ 25100–2011	Песок мелкозернистый
2	По однородности по ГОСТ 25100–2011	Песок однородный
3	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	16,4
4	Удельный вес твердых частиц γ_s , кН/м ³	26,0
5	Удельный вес сухого грунта γ_d , кН/м ³	16,3
6	Коэффициент пористости e	0,6
7	Коэффициент фильтрации K_ϕ , м/сут	2,6
8	Угол внутреннего трения ϕ , град	33
9	Удельное сцепление c , кПа	3
10	Модуль общей деформации E_o , МПа	33

Для лабораторных испытаний маломасштабных моделей будет использоваться стенд, конструкция которого представлена на рис. 1. Стенд представляет собой плоский лоток с прозрачными передней и задней стенками, выполненными из оргстекла толщиной 50 мм. Для исключения прогиба прозрачных стенок применены две стальные решетки, в узлах которых находятся опорные шайбы. Стенд имеет общие габариты 1200×2100×1000 мм, ширина лотка регулируется в пределах 156–300 мм [9]. Данное оборудование предназначено для выполнения лабораторных и научно-исследовательских работ и позволяет проводить в условиях плоской и осесимметричной деформации испытания модели ленточного фундамента, роль которого играет жесткий штамп. Внешняя нагрузка создается установкой степенями при помощи компрессора под управлением пневмоцилиндра, и может прикладываться как вдавливающее, так и выдергивающее усилие вертикально или наклонно, с углом наклона до 60° от вертикали. Вертикальное перемещение модели фундамента измеряется датчиком перемещения, а нагрузка – датчиком силы. Управление процессом испытаний выполняется автоматически, с использованием программы Geotek-АСИС3.2 [10]. Преимуществами такой конструкции являются большая точность снимаемых показаний, автоматическая генерация отчетов, подготовка ре-

зультатов экспериментов для дальнейшего расчета. В модельных испытаниях для снижения эффекта трения стены испытательного стенда рекомендуется смазать маслом [11].

В планируемом эксперименте будет рассматриваться модель фундамента, расположенного на грунтовом массиве за подпорной стеной. Схема испытаний приведена на рис. 2.



Рис. 1. Стенд для испытаний моделей фундаментов:
1, 2 – передняя и задняя стенки; 3 – стальная решетка;
4 – опорная шайба

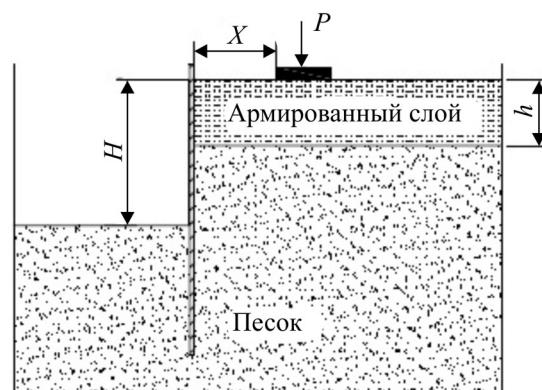


Рис. 2. Схема модельных испытаний: H – высота стены;
 h – толщина армируемого слоя; X – расстояние от фундамента до стены

Размер фундамента, функцию которого выполняет жесткий штамп, будет составлять 50×156 мм. Для обеспечения условий плоской деформации длина фундамента равна ширине лотка. Все испытания проводятся при неподвижном относительно поверхности грунта штампе. С целью наибольшего приближения к реальным условиям шершавая поверхность фундамента достигается путем присоединения к штампу наждачной бумаги [11].

Подпорная стена будет моделироваться при помощи стальной пластины длиной 750 мм и толщиной 3 мм. Пластина будет заглублена в песчаный грунт на 500 мм. Основание подпорной стены необходимо уменьшить для более легкого погружения в грунт. Для снижения эффекта трения стальная пластина должна быть гладко отполирована [11]. Для фиксации бокового отклонения подпорной стены под нагрузкой от фундамента необходимо установить датчики линейных перемещений. Предполагается установка четырех датчиков по высоте в центре стены.

Фиброгрунт готовится из смеси заданного количества волокон полипропилена и песка оптимальной влажности, найденной из испытаний стандартного уплотнения. В модельных экспериментах принимается процентное содержание фибры k_{ϕ} , равное 0,5; 1,0; 1,5 объемных процента, которое определяется следующим образом:

$$k_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{V_{\pi}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\phi} \cdot \rho_{\pi}}{m_{\pi} \cdot \rho_{\phi}} \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где $V_{\phi}, m_{\phi}, \rho_{\phi}$ – объем, масса и плотность полипропиленовой фибры; $V_{\pi}, m_{\pi}, \rho_{\pi}$ – объем, масса и плотность песчаного грунта соответственно.

Заполнение стенда песком осуществляется послойно методом рассеивания по воздуху. Для достижения заданной плотности основания необходимо экспериментально определить высоту падения частиц песка. Предполагаемое расположение подпорной стены фиксируется на стенках стенда. Когда стальная пластина установлена в грунт, необходимо контролировать ее вертикальность при помощи жесткого контейнера со стороны пассивной зоны и продолжать засыпку песка методом рассеивания до нужной отметки в активной зоне. Армированное фиброй основание укладывается с уплотнением при помощи трамбовки. После подготовки армированного основания поверхность грунта выравнивается и штамп устанавливается в нужное положение. Когда

модель полностью собрана, контейнер удаляется, а на стальную пластины устанавливаются датчики перемещений [11].

В маломасштабных исследованиях планируется провести четыре серии испытаний для изучения влияния различных факторов. Так, первая серия испытаний (серия А) будет проведена без использования армирования для получения данных для сравнения. Целью дальнейших серий (B, C, D) будет являться изучение влияния разных параметров на поведение фундамента и подпорной стены. В качестве варьируемых параметров в модельных испытаниях принимается содержание армирующих волокон k_{ϕ} (%), отношение толщины армируемого слоя к высоте стены h/H (д. ед.), отношение расстояния от фундамента до стены к высоте стены X/H (д. ед.). Планируется, что результатом каждой серии испытаний будет оценка влияния одного параметра, остальные параметры при этом остаются постоянными. Программа экспериментальных исследований приведена в табл. 2.

Таблица 2

Параметры программы испытаний

Серия	Исследуемый фактор	Постоянные параметры	Варьируемые параметры
A	Неармированное основание	$X/H = 0,6; h/H = 0,3$	–
B	Содержание волокон	$X/H = 0,6; h/H = 0,3$	$k_{\phi} = 0,5; 1,0; 1,5$
C	Толщина армируемого слоя	$X/H = 0,6; k_{\phi} = 0,5$	$h/H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$
		$X/H = 0,6; k_{\phi} = 1,0$	$h/H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$
		$X/H = 0,6; k_{\phi} = 1,5$	$h/H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$
D	Расположение фундамента относительно стены	$h/H = 0,3; k_{\phi} = 0,5$	$X/H = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$
		$h/H = 0,3; k_{\phi} = 1,0$	$X/H = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$
		$h/H = 0,3; k_{\phi} = 1,5$	$X/H = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$

По результатам модельных испытаний на стенде будут получены кривые зависимости «нагрузка – осадка» в активной зоне. Максимальная несущая способность основания будет определяться как пиковая точка на кривой, после которой произошло разрушение. Для оценки влияния фибрового армирования на несущую способность улучшенного основания введем безразмерный коэффициент несущей способности КНС, который определяется следующим образом:

$$\text{КНС} = \frac{R_{\text{арм}}^{\max}}{R_{\text{неарм}}^{\max}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{арм}}^{\max}$ и $R_{\text{неарм}}^{\max}$ – максимальная несущая способность в случае армированного и неармированного основания соответственно, кПа.

Другой характеристикой фибробетонного основания будет индекс деформативности (ИД), определяемый для оценки его пластичности:

$$\text{ИД} = \frac{S_{\text{арм}}}{S_{\text{неарм}}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{арм}}$ и $S_{\text{неарм}}$ – осадка поверхности в активной зоне при максимальной несущей способности армированного и неармированного основания соответственно, мм.

Результаты модельных экспериментов по каждой серии испытаний будут сформированы в виде табл. 3.

Таблица 3

Пример записи результатов модельных экспериментов

Значение варируемого параметра	R^{\max} , кПа	Осадка при пиковой несущей способности, мм	Максимальный боковой прогиб при пиковой несущей способности, мм	КНС	ИД

С целью дополнения результатов лабораторных испытаний необходимо провести также численное моделирование рассматриваемой конструкции. Численный анализ будет осуществлен методом конечных элементов в программе PLAXIS 8.2. Размеры и геометрия фундамента и подпорной стены сохраняются аналогичными модели в лабораторных испытаниях. Размеры рабочего пространства необходимо выбирать достаточно большими, чтобы гарантировать отсутствие влияния границ на результаты расчетов.

Программа PLAXIS 2D предлагает широкий спектр расчетных моделей грунта. Для дальнейших исследований методом конечных элементов будет выбрана нелинейная модель Мора – Кулона благодаря своей простоте, практической значимости и наличию необходимых параметров. Параметры фибропеска, необходимые для численного моделирования, будут получены по результатам лабораторных испытаний по методу трехосного сжатия. Трехосные испытания позволяют наиболее точно смоделировать напряженно-деформированное состояние грунта в массиве и получить как прочностные, так и деформационные характеристики грунта.

Линейно-упругий характер подпорной стенки и фундамента моделируется как элемент «плита». Взаимодействие между подпорной стеной, фундаментом и окружающим грунтом моделируется при помощи интерфейсных элементов, располагающихся на контакте между двумя любыми объектами. Параметры интерфейса в программе PLAXIS характеризуются коэффициентом снижения прочности и определяются по справочным материалам в зависимости от материала элемента. Нагрузка на фундамент задается как равномерно распределенная.

Численное моделирование проводится аналогично программе лабораторных испытаний. Сравнение результатов расчета методом конечных элементов и модельных экспериментов позволит избежать возможных ошибок при проведении испытаний в лабораторных условиях.

Испытания маломасштабных моделей фундаментов и других конструкций часто используются для оценки их несущей способности и деформационных характеристик вследствие невозможности проведения испытаний в натуральную величину. Следует отметить, что при использовании моделей существует ряд трудностей при интерпретации результатов в натурные условия, связанных с масштабными коэффициентами. Для маломасштабных моделей должен быть учтен ряд важных факторов, таких как размер частиц, плотность грунта, технология строительства, жесткость материалов и др.

Экспериментально установлено, что размер частиц не оказывает влияние на несущую способность при переходе от маломасштабной модели в том случае, когда отношение D_{50}/B меньше 0,1 (где D_{50} – диаметр частиц, меньше которого в навеске грунта содержится 50 % и более частиц по массе, B – ширина фундамента) [11]. В планируемом эксперименте это отношение составит 0,006. Другой рекомендацией к маломасштабным исследованиям является использование более рыхлого по сравнению с реальными условиями песка, поэтому укладка песчаного грунта в лоток будет осуществляться без уплотнения.

Для выполнения условия плоской деформации трение между грунтами и стенками лотка должно быть равно нулю [11]. Для этой цели гладкие стенки лабораторного стенда должны быть покрыты маслом для максимального снижения эффекта трения. Также должна быть равна нулю и продольная деформация. Это условие обеспечивается конструкцией стенда, на стенах которого установлены стальные решетки с опорными шайбами в узлах.

Планируемые исследования нацелены на оценку работы конструкции нагруженного грунтового массива фиброармированного грунта за подпорной стеной. Полученные результаты станут исходными данными для подбора оптимальных параметров полномасштабного эксперимента и получения эмпирических зависимостей влияния различных факторов на параметры рассматриваемой системы. Поэтому данные, полученные из проведенных экспериментов, следует с осторожностью использовать при переходе к натурным условиям, учитывая все масштабные коэффициенты. Кроме того, для обобщения результатов необходимо учитывать и другие факторы, помимо тех, которые рассматриваются в данной работе. Для получения более точных параметров, необходимых для проектирования, следует рассмотреть также влияние типа материала засыпки, материала армирующих волокон, жесткости подпорной стенки, условий нагружения и т.д.

Библиографический список

1. Пономарев А.Б. Реконструкция подземного пространства: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство». – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 231 с.
2. Diambra A., Ibraim E. Fibre reinforced sands: experiments and modeling // Geotextiles and geomembranes. – 2010. – № 28. – С. 238–250.
3. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Лабораторные исследования прочностных характеристик фиброармированного песка различной степени водонасыщения // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 6. – С. 127–132.
4. Park T., Tan S.A. Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber // Geotextiles and geomembranes. – 2005. – № 23. – С. 348–361.
5. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. – 2012. – № 30. – С. 101–116.
6. Michalowski R.L. Failure of Fiber-Reinforced Granular Soils // Journal of Geotechnical Engineering. – 1996. – № 122. – С. 226–234.
7. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибральным армированием // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. – № 1. – С. 10–15.

тельского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151–161.

8. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния песчаного грунтового основания с помощью штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, К.П. Давлятишин, Я.А. Федоровых, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 105–109.

9. Илларионов С.О., Калошина С.В. Изучение влияния объектов нового строительства на осадку основания существующей застройки на основе модельного эксперимента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2013. – № 4. – С. 116–123.

10. Кобыща О.Е., Бочкарева Т.М. Моделирование противокарстовой защиты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 124–135.

11. Nasr A.M. Behavior of strip footing on fiber-reinforced cemented sand adjacent to sheet pile wall // *Geotextiles and geomembranes*. – 2014. – № 42. – С. 599–610.

References

1. Ponomarev A.B. Rekonstruktsiiia podzemnogo prostranstva [Reconstruction of underground space]. Moscow: Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2006. 231 p.

2. Diambra A., Ibraim E. Fibre reinforced sands: experiments and modeling. *Geotextiles and geomembranes*, 2010, no. 28, pp. 238-250.

3. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Laboratornye issledovaniia prochnostnykh kharakteristik fibroarmirovannogo peska razlichnoi stepeni vodonasyshcheniia [Laboratory studies of the strength characteristics of fiber reinforced sand with various water saturation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2014, no. 6, pp. 127-132.

4. Park T., Tan S.A. Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber. *Geotextiles and geomembranes*, 2005, no. 23, pp. 348-361.

5. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 2012, no. 30, pp. 101-116.

6. Michalowski R.L. Failure of Fiber-Reinforced Granular Soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1996, no. 122, pp. 226-234.
7. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie i podgotovka eksperimenta trekhosnogo szhatiia glinistogo grunta, uluchshennogo fibrovym armirovaniem [Experimental design and triaxial test preparation of clay soils treated by fiber reinforcement]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 151-161.
8. Tat'ianikov D.A., Davliatshin K.P., Fedorovykh Ia.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniyu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia peschanogo gruntovogo osnovaniia s pomoshch'iu shtampovykh ispytanii [The planning of the experiment to study the stress-strain state of a sandy ground base with power stamp testing]. *Vesnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura*, 2011, no. 1, pp. 105-109.
9. Illarionov S.O., Kaloshina S.V. Izuchenie vliianiia ob"ektov novogo stroitel'stva na osadku osnovaniia sushchestvuiuschei zastroyki na osnove model'nogo eksperimenta [Researching of the influence development effect on exist buildings by model experiment]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2013, no. 4, pp. 116-123.
10. Kobyshcha O.E., Bochkareva T.M. Modelirovanie protivokarstovoi zashchity [Modeling of antikarstic protection]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 124-135.
11. Nasr A.M. Behavior of strip footing on fiber-reinforced cemented sand adjacent to sheet pile wall. *Geotextiles and geomembranes*, 2014, no. 42, pp. 599-610.

Получено 26.01.2015

Сведения об авторах

Кузнецова Алла Сергеевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: koallita@yandex.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors

Alla S. Kuznetsova (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: koallita@yandex.ru).

Andrei B. Ponomarev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ru).