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. – Т. 7, № 1. – С. 30–38. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.04

Kashapova K.R. The planning of the model experiments to investigate the operation of retaining walls, which are reinforced with geosynthetic horizontal layers. *PNRPU Bulletin Construction and architecture*. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 30-38. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.04

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

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.04

УДК 624.131

ПЛАНИРОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ РАБОТЫ ПОДПОРНЫХ СТЕН, АРМИРОВАННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ПРОСЛОЙКАМИ

К.Р. Кашапова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 24 декабря 2015
Принята: 12 января 2016
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

планирование, эксперимент, модель, численное моделирование, метод конечных элементов, подпорная стенка, основание, армогрунт, геосинтетические материалы

АННОТАЦИЯ

Подпорные сооружения – распространенные конструкции, используемые в наши дни в связи с плотной городской застройкой территорий. В настоящее время широкое распространение получило применение в этих конструкциях армированного грунта. Данная технология заключается в улучшении свойств существующего на строительной площадке грунта путем внедрения в него элементов повышенной прочности. Армирование позволяет компенсировать действие нагрузок и тем самым создать более экономичные конструкции. В качестве арматуры для подпорных конструкций ведущую роль в современной строительной практике играют геосинтетические материалы. Однако, несмотря на широкое использование, работа армогрунтовых подпорных сооружений еще не полностью изучена и, соответственно, требует проведения дополнительных исследований. В статье представлено планирование серии экспериментов по исследованию работы подпорного сооружения, армированного различными типами геосинтетических материалов, под действием приложенной нагрузки. В качестве армирующих прослоек используются геотекстиль, георешетка и геоткань. Разработана программа испытаний, описан порядок проведения опытов, а также показана матрица планирования эксперимента. Подробно описаны необходимые для испытаний материалы и оборудование. Кроме лабораторных, предполагается провести численные эксперименты, необходимые для исключения ошибок в ходе лабораторных исследований, а также для сравнения показаний. Численное моделирование предполагается выполнить при помощи метода конечных элементов в программном комплексе PLAXIS 2D, позволяющем наглядно интерпретировать реальные условия работы подпорной стенки. Численное моделирование происходит аналогично программе лабораторных испытаний. Сделаны выводы об актуальности проведения экспериментальных исследований и их новизне.

© ПНИПУ

© Кашапова Катарина Равиловна – магистрант, e-mail: katenka789@yandex.ru.

Katarina R. Kashapova – Master Student, e-mail: katenka789@yandex.ru.

THE PLANNING OF THE MODEL EXPERIMENTS TO INVESTIGATE THE OPERATION OF RETAINING WALLS, WHICH ARE REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC HORIZONTAL LAYERS

K.R. Kashapova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 24 December 2015
Accepted: 12 January 2016
Published: 31 March 2016

Keywords:

planning, experiment, model, numerical simulation, the finite elements method, retaining wall, foundation, reinforced soil, geosynthetics

ABSTRACT

Retaining structures are prevalent constructions, which are used due to dense urban development areas nowadays. Today it has wide spread in using reinforced soil in these constructions. This technology is to improve the properties of an existing of the soil on the construction site by introducing the elements of increased strength into the ground. The reinforcement counteracts the loads and, thereby, to create a more economical design. In modern construction practice, as reinforcement, geosynthetics hold the leading role for the retaining structures. However, in spite of its extensive using, the operation of the retaining walls has not been explored yet, and, therefore, it needs in additional researches. The article presents the plan of the series of experiments to investigate the operation of retaining construction, which is reinforced with different types of geosynthetics. Geotextile, geocell and geodan are as reinforced layers. The test program was developed, the order of conducting experiments was described, and the matrix of experiment planning was presented. Materials and equipment, which are necessary for experiment, were described in details. Except laboratory, it is supposed to perform numerical experiments, which are necessary for exception errors in laboratory tests and for comparison of indications. Numerical simulations are expected to be performed using the finite elements method in the software package PLAXIS 2D, which can to interpret the actual conditions of the retaining wall. Numerical simulation is similar to the program of laboratory tests. In addition, the article presents conclusions about the relevance of experiments and their originality.

© PNRPU

В современном мире больших и развитых мегаполисов актуализируются различные градостроительные проблемы, возникающие в результате плотной городской застройки территорий [1]. В качестве решения данной проблемы широкое распространение в современной строительной практике получили подпорные конструкции, позволяющие создавать достаточно сложные, но рациональные сооружения.

Подпорные конструкции представляют собой сооружения, удерживающие грунт от обрушения, и, соответственно, испытывают значительные горизонтальные нагрузки: как постоянные – от собственного веса удерживаемого грунта, так и временные – находящиеся на призме обрушения. Поэтому основной задачей является максимально возможное компенсирование данных нагрузок, которое достигается благодаря использованию армогрунта. В дополнение к этому армогрунт позволяет улучшить физико-механические свойства грунтов и придать конструкциям большую экономическую эффективность благодаря использованию местных материалов [2–4].

Существует множество способов армирования грунта – укрепление грунта некорродируемой сталью, усиление сваями, однако более важную роль играют геосинтетические материалы. В настоящее время геосинтетики занимают одну из лидирующих позиций в геотехническом строительстве [5–8]. Существует множество типов геосинтетических материалов, каждый из которых имеет свою область применения. В качестве армирующего материала грунта при устройстве подпорных стен чаще всего применяются георешетки, геотекстиль и геоткани.

Несмотря на широкое применение армогрунтовых конструкций, их работа еще не полностью изучена, в связи с чем требуется проведение дополнительных исследований – модельных и натурных [9–12]. Модельные испытания представляют собой эксперименты с использованием модели, имитирующей свойства реального объекта.

Цель эксперимента заключается в установлении действительной работы армогрунтовой подпорной стенки при нагружении штампом. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать типы армирующих материалов и определить наиболее выгодный для использования в данных условиях;
- построить график зависимости горизонтального перемещения подпорной стенки от временной нагрузки, находящейся на призме обрушения;
- вычислить напряжения, возникающие в подпорной стенке;
- сопоставить экспериментально полученные значения со значениями, полученными по методу конечных элементов;
- сделать выводы об эффективности армирования грунта основания, а также о работе подпорной конструкции в целом.

Модельные эксперименты по исследованию действительной работы армированных подпорных стен будут проводиться на материально-технической базе экспертной лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Необходимым для проведения испытания оборудованием является стендовая установка ГТ 0.7.1, конструкция которой представлена на рис. 1.

Рис. 1. Стендовая установка ГТ 0.7.1:
1, 2 – задняя и передняя стенки из оргстекла;
3 – стальная решетка; 4 – опорная шайба

Fig. 1. Poster installation GT 0.7.1:
1, 2 – posterior and anterior wall of Plexiglas;
3 – steel grille; 4 – back-up washer

Стенд представляет собой плоский лоток с внутренними размерами 1072×156×1136 мм, с прозрачными стенками из оргстекла толщиной 50 мм. Для исключения их прогиба применены стальные решетки, в узлах которых находятся опорные шайбы. Внешняя нагрузка прикладывается при помощи штампа и создается степенями при помощи редуктора под управлением шаговым двигателем. Управление процессом испытаний выполняется автоматически с использованием программы Geotek-Foundation.

Эксперимент заключается в моделировании работы подпорной стенки с армированным различными геосинтетическими материалами грунтом, а также с неармированным основанием. Конструкция подпорной стены представлена на рис. 2.

Для проведения эксперимента необходимо создать модель представленной выше конструкции подпорной стенки [13]. Согласно теории подобия для изучения действительной работы необходимо выполнить некоторые условия подобия между реальным объектом и его моделью – объектом исследования.

Рис. 2. Конструкция подпорной стенки
Fig. 2. Design retaining wall

Геометрическое условие подобия заключается в пропорциональности линейных размеров. Для проведения серии испытаний применяем масштаб 1:10. Для выполнения данного условия подобия масштабируем высоту стенки и толщины горизонтальных прослоек.

Физическое условие подобия заключается в подобию материалов. Другими словами, учитывая принятое масштабирование, необходимо добиться максимально возможного сходства материалов модели и реального объекта. Так, в качестве модели подпорной стены из бетона толщиной 20 см будет выступать 3-миллиметровая конструкция из органического стекла. Толщина оргстекла была выбрана из соображений масштабирования жесткости на изгиб.

Материалы прослоек, применяемые в реальных условиях эксплуатации, для модельных испытаний также были заменены в связи с требуемым масштабированием. Используемые в полевых условиях нетканый геотекстиль и георешетка для проведения эксперимента заменены на нетканый укрывной материал и сетку из полиамида соответственно. Также в одном из экспериментов будет применяться материал, используемый в реальных условиях – тканый геотекстиль геоспан ТН 50. Характеристики материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики армирующих материалов

Table 1

Characteristics of reinforcing materials

№ п/п	Материал	Максимальная нагрузка при испытании на растяжение, кН/м	Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	Использование
1	Нетканый геотекстиль	1,45/3,39	10/18	В реальных условиях эксплуатации
2	Нетканый укрывной материал	0,13/0,16	73/70	В эксперименте

Окончание табл. 1

№ п/п	Материал	Максимальная нагрузка при испытании на растяжение, кН/м	Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	Использование
3	Георешетка	380/288	8	В реальных условиях эксплуатации
4	Сетка из полиамида	5,68	6,9	В эксперименте
5	Тканый геотекстиль	350/282	10	В эксперименте и реальных условиях эксплуатации

Общий вид образцов геосинтетических материалов приведен на рис. 3.

Рис. 3. Образцы материалов: *a* – нетканый укрывной материал;
б – сетка из полиамида; *с* – тканый геотекстиль

Fig. 3. Samples of materials: *a* – covering material; *b* – polyamide grid; *c* – with – geotextile

Рис. 4. Испытательная разрывная машина MT-136

Fig. 4. Tensile testing machine MT-136

Образцы материалов для армирования были предварительно протестированы на испытательной разрывной машине МТ-136 (рис. 4) [14, 15]. Испытания на разрыв были проведены согласно действующим нормативам.

В качестве материала засыпки принят песок мелкозернистый, просушенный до воздушно-сухого состояния. Физико-механические свойства грунта засыпки представлены в табл. 2.

Механическое подобие заключается в подобии прикладываемых нагрузок и подобии измеряемых перемещений. Горизонтальное перемещение модели подпорной стены будет измеряться при помощи индикатора часового типа марки ИЧ 50 (рис. 5), позволяющего измерять перемещения до 50 мм. Цена деления прибора составляет 0,01 мм. Деформации армирующих прослоек будут контролироваться при помощи поверенных металлических линеек.

Таблица 2

Физико-механические свойства грунта засыпки

Table 2

Physic mechanical properties of the soil backfill

№ п/п	Характеристика	Ед. изм.	Значение
1	По гранулометрическому составу	–	Песок мелкозернистый
2	По однородности	–	Песок однородный
3	Плотность ρ	г/см ³	1,63
4	Удельный вес γ	кН/м ³	15,974
5	Плотность частиц грунта ρ_s	г/см ³	2,652
6	Коэффициент пористости e	кПа	2,4
7	Удельное сцепление c	кПа	2,4
8	Угол внутреннего трения ϕ	град	32,8
9	Модуль общей деформации E_0	МПа	32,67

Кроме модельных предполагается проведение и численных испытаний, необходимых для сравнения показаний, а также исключения ошибок. Численное моделирование предполагается произвести методом конечных элементов в программном комплексе PLAXIS 2D [16, 17].

Для обработки полученных в результате проведения испытаний данных необходимо составить матрицу планирования эксперимента (табл. 3). Входными параметрами являются X_1 – тип прослойки («–2» – без армирования; «–1» – армирование геотекстилем; «+1» – армирование геотканью; «+2» – армирование георешеткой) и X_2 – прикладываемая нагрузка («–2» – 25 кПа; «–1» – 50 кПа; «+1» – 75 кПа; «+2» – 100 кПа). Выходными параметрами являются: Y_1 – вертикальное перемещение штампа, мм; Y_2 – горизонтальное перемещение стенки, мм; Y_3 – напряжения, возникающие в стенке, кПа, а также Y_2 и Y_3 , полученные по методу конечных элементов.

Рис. 5. Индикатор часового типа ИЧ 50

Fig. 5. Indicator of hour type ICH 50

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

Table 3

Matrix of experiment planning

№	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_2 (МКЭ)	Y_3 (МКЭ)
1	–2	–2	$X_1^1 X_2^1 Y_1$	$X_1^1 X_2^1 Y_2$	$X_1^1 X_2^1 Y_3$	$X_1^1 X_2^1 Y_4$	$X_1^1 X_2^1 Y_5$
	–2	–1	$X_1^1 X_2^2 Y_1$	$X_1^1 X_2^2 Y_2$	$X_1^1 X_2^2 Y_3$	$X_1^1 X_2^2 Y_4$	$X_1^1 X_2^2 Y_5$
	–2	+1	$X_1^1 X_2^3 Y_1$	$X_1^1 X_2^3 Y_2$	$X_1^1 X_2^3 Y_3$	$X_1^1 X_2^3 Y_4$	$X_1^1 X_2^3 Y_5$
	–2	+2	$X_1^1 X_2^4 Y_1$	$X_1^1 X_2^4 Y_2$	$X_1^1 X_2^4 Y_3$	$X_1^1 X_2^4 Y_4$	$X_1^1 X_2^4 Y_5$
2	–1	–2	$X_1^2 X_2^1 Y_1$	$X_1^2 X_2^1 Y_2$	$X_1^2 X_2^1 Y_3$	$X_1^2 X_2^1 Y_4$	$X_1^2 X_2^1 Y_5$
	–1	–1	$X_1^2 X_2^2 Y_1$	$X_1^2 X_2^2 Y_2$	$X_1^2 X_2^2 Y_3$	$X_1^2 X_2^2 Y_4$	$X_1^2 X_2^2 Y_5$
	–1	+1	$X_1^2 X_2^3 Y_1$	$X_1^2 X_2^3 Y_2$	$X_1^2 X_2^3 Y_3$	$X_1^2 X_2^3 Y_4$	$X_1^2 X_2^3 Y_5$
	–1	+2	$X_1^2 X_2^4 Y_1$	$X_1^2 X_2^4 Y_2$	$X_1^2 X_2^4 Y_3$	$X_1^2 X_2^4 Y_4$	$X_1^2 X_2^4 Y_5$
3	+1	–2	$X_1^3 X_2^1 Y_1$	$X_1^3 X_2^1 Y_2$	$X_1^3 X_2^1 Y_3$	$X_1^3 X_2^1 Y_4$	$X_1^3 X_2^1 Y_5$
	+1	–1	$X_1^3 X_2^2 Y_1$	$X_1^3 X_2^2 Y_2$	$X_1^3 X_2^2 Y_3$	$X_1^3 X_2^2 Y_4$	$X_1^3 X_2^2 Y_5$

Окончание табл. 3

4	+1	+1	$X_1^3 X_2^3 Y_1$	$X_1^3 X_2^3 Y_2$	$X_1^3 X_2^3 Y_3$	$X_1^3 X_2^3 Y_4$	$X_1^3 X_2^3 Y_5$
	+1	+2	$X_1^3 X_2^4 Y_1$	$X_1^3 X_2^4 Y_2$	$X_1^3 X_2^4 Y_3$	$X_1^3 X_2^4 Y_4$	$X_1^3 X_2^4 Y_5$
	+2	–2	$X_1^4 X_2^1 Y_1$	$X_1^4 X_2^1 Y_2$	$X_1^4 X_2^1 Y_3$	$X_1^4 X_2^1 Y_4$	$X_1^4 X_2^1 Y_5$
	+2	–1	$X_1^4 X_2^2 Y_1$	$X_1^4 X_2^2 Y_2$	$X_1^4 X_2^2 Y_3$	$X_1^4 X_2^2 Y_4$	$X_1^4 X_2^2 Y_5$
	+2	+1	$X_1^4 X_2^3 Y_1$	$X_1^4 X_2^3 Y_2$	$X_1^4 X_2^3 Y_3$	$X_1^4 X_2^3 Y_4$	$X_1^4 X_2^3 Y_5$
	+2	+2	$X_1^4 X_2^4 Y_1$	$X_1^4 X_2^4 Y_2$	$X_1^4 X_2^4 Y_3$	$X_1^4 X_2^4 Y_4$	$X_1^4 X_2^4 Y_5$

С целью выполнения условий сходимости предполагается провести испытания трехкратной повторяемостью с последующим анализом полученных результатов. При необходимости количество опытов будет увеличено для получения доверительной вероятности 95 %.

После проведения серий испытаний будет выполнен анализ протоколов испытаний, полученных в ходе экспериментов, и построены необходимые графики. По данным результатам будет установлено отличие работ неармированной конструкции подпорной стены от аналогичной, армированной разными горизонтальными прослойками, путем сравнения значений напряжения и перемещений конструкции. Также путем сопоставления модельных и численных экспериментов будет оценена адекватность полученных результатов.

Библиографический список

1. Кашапова К.Р., Моисеева О.В., Калошина С.В. Технологии ограждения котлованов в условиях плотной городской застройки // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2014. – № 3.
2. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Основные положения по расчету армогрунтового устоя моста // Будущее науки – 2014: сб. науч. ст. 2-й Междунар. молодеж. науч. конф.: в 3 т. / отв. ред. А.А. Горюхов. – Курск, 2014. – С. 236–239.
3. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Применение армированного грунта в конструкции устоев моста // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). – Пермь, 2014. – № 1. – С. 367–373.
4. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Расчет армогрунтового устоя моста // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. – 2014. – № 3.
5. Клевеко В.И. Исследование работы армированных глинистых оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 101–110.
6. Клевеко В.И. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве в условиях Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 114–123.
7. Методы строительства армогрунтовых конструкций: учеб.-метод. пособие / В.Г. Офрихтер, А.Б. Пономарев, В.И. Клевеко, К.В. Решетникова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 145 с.
8. Некоторые результаты исследований армогрунтовых оснований / Д.Г. Золотозубов, В.И. Клевеко, А.Б. Пономарев, Р.С. Нестеров // Актуальные проблемы геотехники: сб. ст., посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова / ВолГАСУ. – Волгоград, 2014. – С. 165–171.
9. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния песчаного грунтового основания с помощью штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, К.П. Давлятшин, Я.А. Федоровых, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 105–109.

10. 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.
11. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151–161.
12. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Планирование лабораторных экспериментов на моделях грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 149–165.
13. Моделирование сезонного промерзания земляного полотна автомобильной дороги / А.М. Бургонутдинов, К.Р. Кашапова, В.И. Клевеко, О.В. Моисеева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы науч.-техн. конф. с международным участием. – Пермь, 2015. – Т. 1. – С. 346–350.
14. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2013. – № 2 (27). – С. 19–25.
15. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Исследование характера зависимости «деформация – линейная жесткость» для разных типов геосинтетических материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2013. – № 1. – С. 165–172.
16. Кашапова К.Р., Моисеева О.В., Клевеко В.И. Анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций подземного пешеходного перехода в зависимости от глубины его заложения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 4. – С. 27–39.
17. Экономическое обоснование способов устройства котлована и глубины заложения подземного пешеходного перехода / К.Р. Кашапова, О.В. Моисеева, В.И. Клевеко, О.В. Петренева // Актуальные проблемы геотехники: сб. ст., посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомоллова / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2014. – С. 237–246.

References

1. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kaloshina S.V. Tekhnologii ograzhdeniia kotlovanov v usloviakh plotnoi gorodskoi zastroiki [The technology of fencing of pits in dense urban areas]. *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii*, 2014, no. 3.
2. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Osnovnye polozheniia po rashchetu armogruntoivogo ustoiia mosta [The main provisions for the calculation of reinforced soil bridge abutment]. *Sbornik nauchnykh statei 2 Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii "Budushhee nauki – 2014"*. Ed. A.A. Gorokhov. Kursk, 2014, pp. 236-239.
3. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Primenenie armirovannogo grunta v konstruktsii ustoev mosta [The use of reinforced soil in the construction of bridge piers]. *Materialy XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem) "Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika"*. Perm', 2014, no. 1, pp. 367-373.
4. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Rashchet armogruntoivogo ustoiia mosta [The calculation of the reinforced soil abutment of the bridge]. *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii*, 2014, no. 3.
5. Kleveko V.I. Issledovanie raboty armirovannykh glinistykh osnovanii [Research work of reinforced clay bases]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 101-110.
6. Kleveko V.I. Primenenie geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve v usloviakh Permskogo kraia [The use of geosynthetics in road construction in the conditions of the Perm region].

Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura, 2013, no. 1, pp. 114-123.

7. Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Reshetnikova K.V. Metody stroitel'stva armogruntovykh konstrukttsii [Methods for the construction of reinforced soil structures]. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2010. 145 p.

8. Zolotozubov D.G., Kleveko V.I., Ponomarev A.B., Nesterov R.S. Nekotorye rezul'taty issledovaniia armogruntovykh osnovanii [Some research results reinforced soil bases]. *Sbornik statei, posviashchennyi 60-letiiu professora A.N. Bogomolova "Aktual'nye problemy geotekhniki"*. Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2014, pp. 165-171.

9. Tat'iannikov D.A., Davliatshin K.P., Fedorovykh Ia.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia peschanogo gruntovogo osnovaniia s pomoshch'iu shtampovykh ispytaniia [Experiment planning for investigation of the stress-strain state of a sandy subgrade with stamp testing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, no. 1, pp. 105-109.

10. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia nagruzhennogo massiva fibroamirovannogo grunta, nakhodiashchegosia za podpornoii stenoi [Experimental design to investigate the stress-strain behavior of loaded fiber reinforce soil mass adjacent to retaining wall]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 135-148.

11. 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.

12. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Planirovanie laboratornykh eksperimentov na modeliakh gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov [Planning of the laboratory experiments of geotextile encased stone columns]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 149-165.

13. Burgonutdinov A.M., Kashapova K.R., Kleveko V.I., Moiseeva O.V. Modelirovanie sezonnogo promerzaniia zemliannogo polotna avtomobil'noi dorogi [Modeling seasonal freezing subgrade of the road]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*, 2015, vol. 1, pp. 346-350.

14. Ponomarev A.B., Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Opredelenie lineinoi zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Determination of linear stiffness of geosynthetic material]. *Internet-Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2013, no. 2 (27), pp. 19.

15. Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Issledovanie kharaktera zavisimosti "deformatsiia – lineinaia zhestkost'" dlia raznykh tipov geosinteticheskikh materialov [Study of the nature of dependence "strain – linear stiffness" for different types geosynthetics]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2013, no. 1, pp. 165-172.

16. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Analiz napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia nesushchikh konstrukttsii podzemnogo peshekhodnogo perekhoda v zavisimosti ot glubiny ego zalozheniia [Analysis of stress-strain state of the supporting structures of the underground pedestrian crossing, depending on the depth of its laying]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2014, no 4, pp. 27-39.

17. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kleveko V.I., Petreneva O.V. Ekonomicheskoe obosnovanie sposobov ustroistva kotlovana i glubiny zalozheniia podzemnogo peshekhodnogo perekhoda [Economic justification of the ways of the device of the pit and depth of an underground pedestrian crossing]. *Sbornik statei, posviashchennyi 60-letiiu professora A.N. Bogomolova Aktual'nye problemy geotekhniki*. Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2014. pp. 237-246.