

Семенов Д.А., Клевеко В.И. Планирование модельных экспериментов по исследованию работы оснований, армированных геосинтетическими оболочками // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 29–37. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.01

Semenov D.A., Kleveko V.I. The planning of the model experiments to investigate the operation of bases reinforced with geosynthetic shells. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019. Vol. 10. No. 1. Pp. 29-37. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.01



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 10, № 1, 2019
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.03

УДК 624.138

ПЛАНИРОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ РАБОТЫ ОСНОВАНИЙ, АРМИРОВАННЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ОБОЛОЧКАМИ

Д.А. Семенов, В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 27 сентября 2018
Принята: 23 ноября 2018
Опубликована: 29 марта 2019

Ключевые слова:

геосинтетическая оболочка, модельный эксперимент, планирование, основание, осадка, армирование, стендовая установка, шов, поперечное сечение.

АННОТАЦИЯ

Геосинтетические материалы стали неотъемлемой частью современного строительства. Помимо широко известных и распространенных геосеток, георешеток и других традиционных геосинтетиков, начинает использоваться сравнительно новый материал – геосинтетические оболочки. Геооболочки длительное время применялись исключительно в гидротехническом строительстве, однако, благодаря ряду зарубежных исследований, показавших возможности и преимущества применения геосинтетических оболочек в иных отраслях строительства, они начинают использоваться и развиваться в других направлениях. Ввиду наличия существенных отличий между гидротехническими и другими геооболочками их применение в подземном, транспортном и других видах строительства требует дальнейшего исследования.

Данная статья посвящена планированию серии экспериментов по исследованию работы основания, армированного геосинтетическими оболочками, под действием прикладываемых нагрузок. За счет применения геосинтетических оболочек с различными размерами поперечных сечений планируется определить оптимальные параметры геосинтетических оболочек для армирования оснований. Рассмотрены области применения и основные технологии производства геосинтетических оболочек. Результаты модельных экспериментов будут дополнены вычисленными значениями растягивающих напряжений в геотекстиле. Планируется проведение контрольного эксперимента с испытанием аналогичного неармированного основания. По прошествии серии испытаний с учетом масштаба подобия и других допущений будут построены графики зависимости «осадка – нагрузка» и определена условная несущая способность. На основе сравнения полученных результатов будут сделаны выводы об эффективности применения геосинтетических оболочек в качестве армирующего элемента слабых оснований. Разработана программа испытаний, описан порядок проведения опытов, а также показана матрица планирования эксперимента. Подробно описаны необходимые для испытаний материалы и оборудование.

© ПНИПУ

© Семенов Дмитрий Александрович – магистр, e-mail: s7dmit@yandex.ru.

Клевеко Владимир Иванович – кандидат технических наук, e-mail: spstf@pstu.ac.ru.

Dmitry A. Semenov – Master, e-mail: s7dmit@yandex.ru

Vladimir I. Kleveko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: spstf@pstu.ac.ru.

THE PLANNING OF THE MODEL EXPERIMENTS TO INVESTIGATE THE OPERATION OF BASES REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC SHELLS

D.A. Semenov, V.I. Kleveko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 27 September 2018
Accepted: 23 November 2018
Published: 29 March 2019

Keywords:

geosynthetic shell, model experiment, planning, foundation, settlement, reinforcement, bench installation, seam, cross section.

ABSTRACT

Geosynthetic materials have become an integral part of modern construction. In addition to the well-known and widespread geonets, geogrids and other traditional geosynthetics, a relatively new material, geosynthetic shells, is being used. Geo-shells have been used for a long time exclusively in hydrotechnical construction, but thanks to a number of foreign studies that showed the possibilities and advantages of using geosynthetic casings in other construction sectors, they are beginning to be used and developed in other directions. In view of the significant differences between the hydraulic engineering and other geo-shells, their use in underground, transport and other types of construction requires further study.

This article is devoted to planning a series of experiments to study the work of the base, reinforced by geosynthetic shells, under the action of applied loads. Due to the use of geosynthetic shells with different sizes of cross sections it is planned to determine the optimal parameters of geosynthetic shells for reinforcing the bases. Areas of application and main technologies of production of geosynthetic shells are considered. The results of the model experiments will be supplemented by the computed values of the tensile stresses in the geotextile. It is planned to conduct a control experiment with a test of a similar unreinforced base. After a series of tests, taking into account the scale of similarity and other assumptions, plots of the dependence "settlement-load" will be constructed and the conditional load-bearing capacity determined. Based on a comparison of the results obtained, conclusions will be drawn about the effectiveness of using geosynthetic shells as a reinforcing element of weak bases. A test program has been developed, the order of experiments has been described, and an experiment planning matrix has been shown. The materials and equipment required for testing are described in detail.

© PNRPU

Введение

По мере увеличения потребности в свободных территориях под строительство неизбежно возникает вопрос освоения новых земель. Принимая во внимание значительную распространенность слабых грунтов, отметим, что особую актуальность приобретают различные методы улучшения их характеристик.

Перспективным методом является применение геосинтетических оболочек, начинающих свой путь в России, активно используемых за рубежом, но требующих дальнейшего исследования, так как их пространственная конфигурация, используемый материал, способы производства и наполнения значительно отличаются в зависимости от области применения. Изучению работы слабых оснований, армированных подобным материалом, посвящена данная статья.

Основная часть

Применение геосинтетических оболочек в России долгое время ограничивалось решением природоохранных задач и гидротехническим строительством: обезвоживание различных суспензий, в том числе шламов и донных отложений, строительство искусственных островов, дамб обвалования, плотин, берегоукрепление и т.д. [1]. Сравнительно недавно геосинтетические оболочки стали использовать при строительстве автомобильных

дорог и подпорных стен для увеличения несущей способности, снижения осадок и более равномерного распределения напряжений, но значительного распространения в нашей стране они еще не получили. Следует отметить, что за рубежом вплоть до 2008 г. геосинтетические оболочки редко использовались для возведения постоянных конструкций по причине отсутствия механизмов армирования грунта геоболочками, а также их износа после длительного солнечного воздействия. Исследования последнего десятилетия выявили множество преимуществ геосинтетических оболочек, в частности, высокую прочность в среде без ультрафиолетового облучения и устойчивость к замораживанию и оттаиванию, что в совокупности с простотой, низкой стоимостью и экологичностью делает такой материал весьма привлекательным для использования в различных проектах [2–5].

Ввиду разницы целей применения геосинтетических оболочек в гидротехническом и других видах строительства существенно отличаются параметры оболочек, предъявляемые к ним требования, используемое оборудование и многое другое. В практике гидротехнического строительства важную роль играют фильтрационные характеристики оболочек, для улучшения которых геоболочки изготавливают из нескольких листов с разным узором плетения со специальными отверстиями для заполнения гидромеханизированным методом. Все это приводит к увеличению числа швов и, соответственно, слабых мест, снижению прочности и вероятному разрыву оболочки. Длительное применение геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве позволило накопить огромный объем информации по данному вопросу, в частности: основные размеры геосинтетических оболочек, материалы оболочки и заполнителя, технологии производства работ по строительству различных конструкций, методики расчета и определения оптимальных параметров геоболочек [6, 7].

Оболочки, применяемые в иных видах строительства, в связи со значительным разнообразием технологий их производства, существенным разбросом размеров геоболочек (от $0,4 \times 0,4 \times 0,1$ до $3 \times 1,5 \times 1$), отсутствием рекомендаций и методики определения подходящих размеров поперечного сечения, не имеют достаточной информативной базы для их более активного использования [8–10].

Геосинтетические оболочки изготавливают, главным образом, двумя способами: соединением нескольких полотен геотекстиля и непрерывным закручиванием одного геотекстильного полотна [11].

Слабой частью и основной проблемой геосинтетических оболочек являются швы. Производство оболочек методом соединения нескольких полотен влечет за собой образование ряда продольных, спиральных или окружных швов на всем протяжении конструкции. По данному методу привязка полотен может выполняться путем сшивания, а также с помощью ультразвуковой или высокочастотной сварки. Вид шва, материал оболочки и квалификация выполнения работ оказывают непосредственное влияние на качество соединения. В конструкцию оболочки во время изготовления или в последующие этапы также могут быть добавлены крепежные ремни, предназначенные для ее фиксации во время монтажа на местности и эксплуатации.

Избавиться от продольных швов можно путем изготовления оболочек по методу непрерывной намотки, однако и этот способ имеет свои недостатки: ограниченный диаметр поперечного сечения оболочки, значительные денежные затраты на оборудование, высокие требования к материалу. Возможно также выполнение не продольных, а спиральных швов, в том числе с их перекрытием при изготовлении оболочки из нескольких слоев геотекстиля [12–14].

Исследования будут организованы на материально-технической базе экспертной лаборатории при кафедре строительного производства и геотехники строительного факультета ПНИПУ. Цель экспериментов – установить действительную работу грунтового основания при нагружении штампом (модель ленточного фундамента). Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать размеры геосинтетических оболочек для использования их в экспериментах;
- изготовить геосинтетические оболочки с определенными размерами поперечных сечений и создать модель основания, армированного геоболочками;
- построить графики зависимости «нагрузка – осадка»;
- сделать выводы об эффективности армирования грунта основания оболочками в зависимости от выбранных размеров.

Устройство для испытаний представляет собой стендовую установку (рис. 1) размерами 480×720×156 мм, предназначенную для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Стенд позволяет проводить испытания модели ленточного фундамента – жесткого штампа размерами 156×50 мм в условиях плоской и осесимметричной деформации [15].



Рис. 1. Стенд для проведения испытаний
Fig. 1. Standfortesting

Эксперимент заключается в моделировании работы основания, армированного геосинтетическими оболочками с различными размерами поперечного сечения. Конструкция армированного основания представлена на рис. 2. Геосинтетическая оболочка будет выполняться из одного листа укрывного материала путем сшивания по краям. Заполненная увлажненным песком оболочка для увеличения прочности будет подвергнута вибрационному воздействию.

В стендовой установке после послойного заполнения рассеиванием по воздуху рыхлым песком будет произведена укладка геосинтетической оболочки и отсыпка 1 см песчаной подушки. Также планируется выполнение контрольного эксперимента – испытания аналогичного неармированного основания с последующим сравнением результатов. Для проведения эксперимента необходимо создать модель представленной выше конструкции

основания. Модель геосинтетической оболочки показана на рис. 3. Для проведения испытаний оболочки будут выполняться в масштабе 1:10.

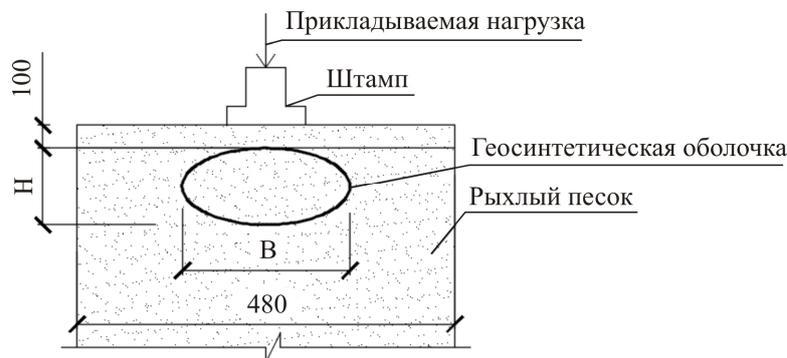


Рис. 2. Экспериментальная конструкция армированного геоболочкой основания
Fig. 2. The experimental design of a base reinforced with a geosynthetic shell



Рис. 3. Модель геосинтетической оболочки для проведения испытаний
Fig. 3. Model of the geosynthetic shell for testing

Масштабирование необходимо распространить также и на материал оболочек. Используемый в полевых условиях нетканый геотекстиль для проведения эксперимента заменен на нетканый укрывной материал. Образцы укрывного материала перед проведением испытаний будут исследованы на испытательной разрывной машине МТ-136. Испытания на разрыв будут выполнены согласно действующим нормативам. В качестве материала засыпки принят песок мелкозернистый, просушенный до воздушно-сухого состояния. Подобие будет учитываться также при приложении нагрузок и измерении перемещений. 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 [16].

Для обработки полученных в результате проведения испытаний данных необходимо составить матрицу планирования эксперимента (таблица).

Входными параметрами являются X_3 – высота оболочки («–2» – 2 см; «–1» – 4 см; «+1» – 5 см; «+2» – 10 см), X_2 – ширина оболочки («–2» – 5 см; «–1» – 10 см; «+1» – 12 см; «+2» – 15 см) и X_1 – прикладываемая нагрузка («–3» – 50 кПа; «–2» – 100 кПа; «–1» – 150 кПа; «+1» – 200 кПа; «+2» – 250 кПа; «+3» – 300 кПа). Выходным параметром является Y_1 – вертикальное перемещение штампа, мм.

Матрица планирования эксперимента

Matrix of experimental planning

$X_2 = \text{const}, X_3 \in [-2...+2]$					$X_2 \in [-2...+2], X_3 = \text{const}$				
№ п/п	X_1	X_2	X_3	Y_1	№ п/п	X_1	X_2	X_3	Y_1
1	-3	-2	-2	$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^1 Y_1$	5	-3	-2	-2	$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^1 Y_1$
	-2			$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^2 Y_1$		-2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^1 Y_1$
	-1			$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^3 Y_1$		-1			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^2 Y_1$
	+1			$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^4 Y_1$		+1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^1 Y_1$
	+2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^2 Y_1$		+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^1 Y_1$
	+3			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^3 Y_1$		+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^2 Y_1$
2	-3	-1	-2	$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^1 Y_1$	6	-3	-2	-1	$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^2 Y_1$
	-2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^2 Y_1$		-2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^2 Y_1$
	-1			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^3 Y_1$		-1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^2 Y_1$
	+1			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^4 Y_1$		+1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^3 Y_1$
	+2			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^3 Y_1$		+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^2 Y_1$
	+3			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^4 Y_1$		+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^3 Y_1$
3	-3	+1	-2	$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^1 Y_1$	7	-3	-2	+1	$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^3 Y_1$
	-2			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^2 Y_1$		-2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^3 Y_1$
	-1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^3 Y_1$		-1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^3 Y_1$
	+1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^4 Y_1$		+1			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^3 Y_1$
	+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^3 Y_1$		+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^3 Y_1$
	+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$		+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$
4	-3	+2	-2	$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^1 Y_1$	8	-3	-2	+2	$X_1^{1.6} X_2^1 X_3^4 Y_1$
	-2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^2 Y_1$		-2			$X_1^{1.6} X_2^2 X_3^4 Y_1$
	-1			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^3 Y_1$		-1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^4 Y_1$
	+1			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$		+1			$X_1^{1.6} X_2^3 X_3^4 Y_1$
	+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$		+2			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$
	+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$		+3			$X_1^{1.6} X_2^4 X_3^4 Y_1$

В процессе модельных испытаний предполагается вычисление растягивающих напряжений в геотекстиле по формуле

$$T = \frac{\sigma}{2 \left(\frac{K_p}{H} - \frac{1}{B} \right)}, \quad (1)$$

где σ – прикладываемая нагрузка, кПа; H – высота оболочки, м; B – ширина оболочки, м; K_p – безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (2)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта заполнителя, рад [17].

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

Заключение

После проведения серий испытаний будет выполнен анализ протоколов испытаний, полученных в ходе экспериментов, и построены необходимые графики. По данным результатам будет установлено отличие работ неармированного основания от аналогичного, армированного разными геосинтетическими оболочками, путем сравнения значений осадок и несущей способности. Также путем вычислений растягивающих напряжений в геотекстиле будут определены оптимальные размеры поперечного сечения оболочек для армирования слабых оснований.

Библиографический список

1. Семенов Д.А., Клевко В.И. Строительство подпорных стен из геосинтетических оболочек // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. – 2018. – Т. 1, № 10. – С. 87–93.
2. Xu Y.F., Huang J. Case Study on Earth Reinforcement Using Soilbags // *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*. – Shanghai, China, 2008. – P. 597–602. DOI: 10.1007/978-3-540-69313-0_111
3. A New Structure of Geotextile Called Soil Nets for Reinforcement [Электронный ресурс] / X. Bo-Bo, T. Bin, L. Xiao-chun [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2017. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9518593/> (дата обращения: 13.08.2017). DOI: 10.1155/2017/9518593
4. Армированная песчаная подушка с криволинейной подошвой: пат. Рос. Федерация / Бай В.Ф., Набоков А.В., Воронцов В.В., Краев А.Н., Краев А.Н. – № 2522268; заявл. 11.10.2012; опубл. 10.07.2014. – 5 с.
5. Краев А.Н. Экспериментальные исследования работы слабого глинистого основания, усиленного песчаной армированной подушкой с криволинейной подошвой // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2013. – № 5. – С. 221–224.
6. Семенов Д.А., Клевко В.И. Использование геосинтетических оболочек для очистки водоемов Пермского края от донных отложений // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. – 2018. – № 2. – С. 74–85. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.06
7. Smallwood J.L., Smallwood W.A. Geotextile tube. Patent US 0129866A1. – 2009.
8. Пшеничникова Е.С. Геотекстильные конструкции в строительстве земляных сооружений // *Гидротехника*. – 2013. – № 3 (32). – С. 29–32.
9. Earth reinforcement using soilbags / Y. Xua, J. Huang, Y. Du [et al.] // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2008. – No. 26. – P. 279–289.
10. Experimental study on vibration reduction by using soilbags / Si-Hong Liu [et al.] // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2014. – № 42. – P. 52–62.
11. Дубинин С.В., Михайлова Т.В. Применение мягких оболочечных конструкций для очистки сточных вод с точки зрения геоэкологической безопасности // *Вестник КузГТУ*. – 2017. – № 6 – С. 149–153. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-149-153
12. Cizek J., Rensburg N.J.J. van. Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. Patent US 5232429A. – 1993.
13. Bradley A.S. Geotextile container and method of producing same. Patent US 6056438A. – 2000.

14. Bradley A.S. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. Patent US 7357598B1. – 2008.

15. 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.

16. 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

17. Matsuoka H., Liu S. New earth reinforcement method by soilbags ("donow") // Soils and foundations. – 2003. – № 6 (43). – P. 173–188.

References

1. Semenov D.A., Kleveko V.I. Stroitel'stvo podpornyh sten iz geosinteticheskikh obolochek [Construction of retaining walls from geosynthetic shells]. *Sovremennyye tehnologii v stroitel'stve. Teoriia i praktika*, 2018, vol. 1, no. 10, pp. 87–93.

2. Xu Y.F., Huang J. Case Study on Earth Reinforcement Using Soilbags. *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*, Shanghai, China, 2008, pp. 597–602. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-69313-0_111

3. Bo-Bo X., Bin T., Xiao-chun L. et al. A New Structure of Geotextile Called Soil Nets for Reinforcement [Electronic document]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, available at: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9518593> (accessed 13 August 2017). DOI: 10.1155/2017/9518593

4. Bay V.F., Nabokov A.V., Vorontsov V.V., Krayev A.N., Krayev A.N. Armirovannaja peschanajapodushka s krivolinejnoy podoshvoj [Reinforced sand cushion with curved sole]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2522268 (2014).

5. Kraev A.N. Jeksperimental'nye issledovaniya raboty slabogo glinistogo osnovaniya, usilennogo peschanoj armirovannoj podushkoj s krivolinejnoy podoshvoj [Experimental studies of the operation of a weak clay base reinforced with a sand reinforced cushion with a curved sole]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2013, no. 5, pp. 221–224.

6. Semenov D.A., Kleveko V.I. Ispol'zovanie geosinteticheskikh obolochek dlja ochistki vodoemov Permskogo kraja ot donnyh otlozhenij [The use of geosynthetic shells for cleaning the reservoirs of the Perm Krai from bottom sediments]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2018, no. 2, pp. 74–85. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.06

7. Smallwood J.L., Smallwood W.A. Geotextile tube. Patent US 0129866A1 (2009).

8. Pshenichnikova E.S. Geotekstil'nye konstruksii v stroitel'stve zemlianykh sooruzhenii [Geotextile structures in the construction of earthworks]. *Gidrotekhnika*, 2013, no. 3 (32), pp. 29–32.

9. Xua Y., Huang J., Du Y. et al. Earth reinforcement using soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, no. 26, pp. 279–289.

10. Si-Hong Liu et al. Experimental study on vibration reduction by using soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, no. 42, pp. 52–62.

11. Dubinin S.V., Mihajlova T.V. Primenenie mjagkih obolochecnyh konstrukcij dlja ochistki stochnyh vod s točki zrenija geojekologičeskoj bezopasnosti [Application of soft shell structures for wastewater treatment in terms of geoeological safety]. *Vestnik KuzGTU*, 2017, no. 6, pp. 149–153. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-149-153

12. J. Cizek, N.J.J. van Rensburg Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. Patent US 5232429A (1993).

13. Bradley A.S. Geotextile container and method of producing same. Patent US 6056438A (2000).

14. Bradley A.S. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. Patent US 7357598B1 (2008).

15. Tat'ianikov D.A., Davliatshin K.P., Fedorovykh Ia.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia peschanogo gruntovogo osnovaniia s pomoshch'iu shtampovykh ispytaniĭ [Experiment planning for investigation of the stressstrain 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.

16. Kashapova K.R. Planirovanie model'nyh jeksperimentov po issledovaniju raboty podpornykh sten, armirovannykh gorizontaľnymi geosinteticheskimi proslojkami [Planning of model experiments to study the work of retaining walls reinforced with horizontal geosynthetic interlayers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 30–38. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.04

17. Matsuoka H., Liu S. New earth reinforcement method by soilbags ("donow"). *Soils and foundations*, 2003, no. 6 (43), pp. 173–188.