DOI: 10.15593/2224-9826/2018.3.07

УДК 624.138.9

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛИ АРМОГРУНТОВОГО ПОДПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ

К.С. Кундупян

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 12 апреля 2018

Принята: 23 апреля 2018

Опубликована: 28 сентября 2018

Ключевые слова:

армогрунт, лицевой элемент, ар-
молента, засыпка, грунт, модели-
рование, приборы, оборудование.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен вопрос моделирования армогрунтового подпорного сооруже-
ния, применяемого в стесненных условиях городской застройки, облицовка кото-
рого выполнена из отдельных лицевых элементов. Одним из основных вопросов
исследования является определение оптимальных параметров лицевых элемен-
тов подпорной стенки, что обосновывает проведение экспериментальной работы.
Автором выполнено моделирование армогрунтового сооружения. Приведены
параметры основных элементов испытываемой конструкции: лицевой стенки (обли-
цовки), армолента, грунта-засыпки. Поэтапно описан метод возведения модели
армогрунтового подпорного сооружения, указаны варианты ее нагружения. Для
регистрации горизонтальных деформаций каждого лицевого элемента в процессе
нагружения используются индикаторы часового типа ИЧ-10. Степень уплотнения
песка при возведении модели измеряется с помощью плотномера Ю.Н. Мурзенко.
В качестве материала исполнения модели была принята ПВХ-ткань Unisol. Опыты
проводились на кафедре ПГСГиФ ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова в лотке пло-
ской деформации, выполненном из органического стекла с размерами рабочего
пространства 0,8×0,1×0,6 м. Результаты испытаний вносятся в табличную форму,
где регистрируются: время проведения опыта; плотность основания и засыпки ρ ;
все геометрические параметры модели; показатели перемещения лицевых эле-
ментов и другие наблюдения о ходе эксперимента. Целью проводимых исследо-
ваний является получение наиболее достоверного поведения армогрунтового
подпорного сооружения с учетом различных длин вертикальных и горизонтальных
участков лицевых элементов при разных вариантах нагружения в соответствии
с патентом № 2604933 «Устройство защитной системы городской застройки и
способ ее возведения».

© ПНИПУ

CONDUCTING EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF MODEL OF REINFORCED EARTH STRUCTURE

K.S. Kundupyan

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 12 April 2018
Accepted: 23 May 2018
Published: 28 September 2018

Keywords:

reinforcing soil, face element, reinforcing tape, backfill, soil, modeling, instruments, equipment.

ABSTRACT

In this article, the issue of modeling a reinforced earth retaining structure, facing of which is made of individual face elements, is used in the cramped conditions of urban development. One of the main issues of the current dissertation research is the determination of the optimal parameters of the facial elements of the retaining wall, which justifies the conduct of experimental work. The author performed simulation of a reinforced earth structure. The parameters of the main elements of the tested structure are given: the front wall (lining), reinforcing tapes, ground-backfilling. The method of erecting a model of a reinforced earth retaining structure is described step by step, and variants of its loading are indicated. To record the horizontal deformations of each face element during the loading, indicators of the watch type IC-10 are used. The degree of compaction of sand during the construction of the model is measured using a density meter Y.N. Murzenko. As a material for the execution of the model, PVC cloth Unisol was adopted. Experiments are carried out at the Department of ICEGaF SRSPU (NPI) name of M.I. Platov in a flat deformation tray made of organic glass with working space dimensions of 0.8×0.1×0.6 m. The test results are entered in the tabular form, where: the time of the experiment is recorded; density of base and backfilling ρ ; all geometric parameters of the model; indicators of displacement of facial elements and other observations on the course of the experiment. The aim of the conducted studies is to obtain the most reliable behavior of the reinforced earth retaining structure taking into account the different lengths of the vertical and horizontal sections of the face elements under different loading options in accordance with the patent No. 2604933 «Design of the urban security system and the method of its erection.».

© PNRPU

В современной строительной практике широкое распространение получила концепция армирования грунта. К основным направлениям ее использования можно отнести: устройство подпорных стенок, фундаментов сооружений, оснований дорог, устоев мостов, берегоукрепительных конструкций, сооружений военного назначения и т.д. Также принципы армирования грунта применяются для решения задач охраны окружающей среды¹ [1–8].

В данной статье автором рассматривается армогрунтовое подпорное сооружение с вертикальной стенкой, облицовка которого состоит из отдельных лицевых элементов. К облицовке крепятся армоленты, удерживающие сооружение в грунте [9–11].

Одним из основных вопросов проводимого исследования является определение оптимальных параметров лицевых элементов подпорной стенки, что обосновывает проведение экспериментальной работы.

Автором выполнено моделирование армогрунтового сооружения, состоящего: из лицевых элементов, армолент, грунта-засыпки [12]. Схема модели приведена на рис. 1.

Для натуре и модели соблюдаются следующие геометрические критерии подобия:

$$\frac{H_n}{H_m} = \frac{a_{лэ,н}}{a_{лэ,м}} = \frac{h_{лэ,н}}{h_{лэ,м}} = \frac{b_{лэ,н}}{b_{лэ,м}} = \frac{l_{а,м}}{l_{а,м}} = \frac{b_{а,м}}{b_{а,м}} = \frac{S_{v,н}}{S_{v,м}} = \frac{S_{h,м}}{S_{h,м}} = \alpha_L,$$

где H_n ; H_m – полная высота подпорного сооружения соответственно для натуре и модели;

¹ ОДМ 218.2.027–2012. Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах / Росавтодор. М., 2014.

$a_{лэ,н}$; $a_{лэ,м}$ – длина лицевого элемента соответственно для натуры и модели;
 $h_{лэ,н}$; $h_{лэ,м}$ – высота лицевого элемента соответственно для натуры и модели;
 $b_{лэ,н}$; $b_{лэ,м}$ – длина горизонтальных и вертикальных участков лицевого элемента соответственно для натуры и модели;
 $l_{а,н}$; $l_{а,м}$ – длина армомент соответственно для натуры и модели;
 $b_{а,н}$; $b_{а,м}$ – ширина армомент соответственно для натуры и модели;
 $S_{v,н}$; $S_{v,м}$ – вертикальный шаг армомент соответственно для натуры и модели;
 $S_{h,н}$; $S_{h,м}$ – горизонтальный шаг армомент соответственно для натуры и модели;
 α_L – геометрический масштаб.

Рис. 1. Схема модели армогрунтового подпорного сооружения:

a – поперечное сечение модели; b – сечение 1–1

Fig. 1. Scheme model reinforced ground retaining structures:

a – cross section of the model; b – section 1–1

Опыты проводились на кафедре ПГСГиФ ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова в лотке плоской деформации, выполненном из органического стекла с размерами рабочего пространства $0,8 \times 0,1 \times 0,6$ м. В качестве грунтового основания и засыпки армогрунтового сооружения используется сухой песок со следующими физико-механическими характеристиками: угол внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$; сцепление $c = 0,005$ МПа; модуль деформации $E = 31,4$ МПа; удельный вес $\gamma = 17,4$ кН/м³ при коэффициенте пористости $e = 0,53$.

Для исследования зависимости горизонтальных деформаций, происходящих в сооружении при его нагружении, от длины горизонтальных и вертикальных участков лицевых элементов $b_{лэ}$ были приняты следующие размеры испытуемой модели: длина и высота лицевых элементов $a_{лэ} = h_{лэ} = 100$ мм, длина горизонтальных и вертикальных участков $b_{лэ}$ составляет 10, 30 и 50 мм. Общая высота натурной конструкции принята до 3 м, а для модели она составляет $H = 300$ мм. Армоменты приняты с шириной $0,5b_a = 10$ мм, длиной $l_a = H = 300$ мм, вертикальным и горизонтальным шагом $S_v = S_h = 100$ мм. В качестве материала модели лицевых элементов и армомент принята ПВХ-ткань Unisol корейской компании Hanwha с плотностью 630 г/м² [13, 14]. Образец модели элементов подпорной стенки представлен на рис. 2.

Порядок выполнения опытов следующий:

1) подготавливается грунт основания для сооружения, затем проводится его уплотнение (рис. 3, a);

Рис. 2. Модель элементов подпорной стенки: *a* – отдельный лицевой элемент: 1 – стенка; 2 – вертикальный участок лицевого элемента; 3 – горизонтальный участок лицевого элемента; *б* – собранная модель из трех лицевых элементов и восьми армолент: 1 – лицевой элемент; 2 – армолента

Fig. 2. Model elements of the retaining wall: *a* – a separate front element: 1 – wall; 2 – vertical portion of the front element; 3 – horizontal portion of the front element; *b* – assembled model of the three front elements and eight reinforced tapes: 1 – front element; 2 – reinforced tape

2) устраивается опалубка, которая исключит перемещения подпорной стенки во время уплотнения грунта засыпки (рис. 3, б);

3) устанавливается модель сооружения (см. рис. 3, б);

4) выполняется засыпка слоев по 100 мм с последующим их уплотнением (рис. 3, в, г);

5) совместно с засыпкой укладываются армоленты и в местах их укладки просыпается тонкий слой цветного песка;

б) после выполнения обратной засыпки устанавливается штамп с начальной нагрузкой для включения в работу верхнего слоя армолент (рис. 3, д);

7) выполняется снятие опалубки и установка измерительных приборов (ИЧ-10) к лицевым элементам (см. рис. 3, д);

8) проводится равномерное нагружение модели и фиксация показаний приборов (рис. 3, е).

Запланировано проведение шести серий испытаний, в которых первые три проводятся с использованием равномерно-распределенной нагрузки по всей длине армолент с помощью штампа с размерами 300×100 мм, в следующих трех сериях – сосредоточенной нагрузки с помощью штампа 50×100 мм. Горизонтальные деформации каждого лицевого элемента в процессе нагружения фиксируются индикаторами часового типа ИЧ-10 (рис. 4, а), которые позволяют регистрировать изменения с точностью до 0,01 мм. Степень уплотнения песка при возведении модели измеряется с помощью плотномера Ю.Н. Мурзенко (рис. 4, б). В процессе исследований применяется метод фотометрии.

Результаты испытаний вносятся в табличную форму, где регистрируются: время проведения опыта; плотность основания и засыпки ρ ; геометрические параметры модели H_n , $a_{лэ}$, $h_{лэ}$, $b_{лэ}$, l_a , b_a , S_v , S_h ; показатели перемещения лицевых элементов и другие наблюдения о ходе эксперимента.

Рис. 3. Этапы выполнения экспериментальных исследований: *а* – подготовка основания, определение уплотнения песка; *б* – устройство опалубки и установка модели; *в* – засыпка слоев по 100 мм, их уплотнение и оценка качества уплотнения; *г* – завершение устройства засыпки; *д* – установка штампа с начальной нагрузкой, съем опалубки и установка индикаторов часового типа; *е* – проведение нагружения модели сооружения, регистрация показаний приборов

Fig. 3. The steps of the experimental studies: *a* – preparation of substrate, determination of the compaction of the sand; *b* – the timbering device and installation of the model; *c* – filling layers for 100 mm and seal and assessment of the quality seal; *d* – is the completion of the filling device; *e* – installation of stamped with the initial load, removal of formwork and the installation of the gauges; *f* – carrying out loading model structures, check readings

Рис. 4. Приборы, используемые при проведении исследований армогрунтового подпорного сооружения: *a* – индикатор часового типа ИЧ-10;
б – разрез плотномера Ю.Н. Мурзенко

Fig. 4. The instruments used in conducting research armagroservice retaining structure:
a – a dial gauge ICH-10; *b* – section of the densitometer Yu.N. Murzenko

На основании проводимых испытаний планируется получить картину наиболее достоверного поведения армогрунтового подпорного сооружения с учетом разных длин вертикальных и горизонтальных участков лицевых элементов при различных вариантах загрузки в соответствии с патентом № 2604933 [10].

Библиографический список

1. Vidal H. The principal of reinforced Earth // Highway Engineering Record. – 1969. – № 282. – P. 1–16.
2. Vidal H. Reinforced Earth steel retaining wall // Civil Engineering, ASCE. – 1970. – № 40 (2). – P. 72–73.
3. Vidal H. The development and future of reinforced earth // Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement / Geotechnical Engineering Division of American Society of Civil Engineers. Pittsburgh, April 27, 1978. – Pittsburgh, 1978. – P. 1.
4. Floss R., Thamm B.R. Bewehrte Erde – Ein neues Bauverfahren im Erd – und Grundbau // Bautechnik. – 1976. – Vol. 53, № 7. – P. 217–226.
5. Geometric and mechanical modeling of 3D woven composites / S. Rudov-Clark. S.V. Lomov, M.K. Bannister [et al.] // Materials of the 14th International Conference on Composite Materials, San Diego, USA, 14–18 July. – San Diego, 2003.
6. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
7. Руководство по обеспечению экологической безопасности городских территорий с сооружениями инженерной защиты / Т.П. Кашарина, А.П. Приходько, Е.С. Сиденко, К.С. Кундупян; под общ. рук. Т.П. Кашариной; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск, 2015.
8. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Экспериментальные исследования армированных оснований при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 91–94.

9. Устройство защитной системы городской застройки и способ ее возведения: патент на изобретение RUS 2604933 20.12.2016 / Кашарина Т.П., Кашарин Д.В., Кундупян К.С., Клименко М.Ю., Сиденко Е.С.

10. Грунтоармированное сооружение и способ его возведения: патент на изобретение, RUS 2444589 26.07.2010 / Кашарина Т.П., Кашарин Д.В., Приходько А.П., Жмайлова О.В.

11. Кашарина Т.П., Приходько А.П. Результаты исследований грунтоармированных оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 91–102.

12. Кашарина Т.П. Совершенствование конструкций, методов научного обоснования, проектирования и технологии возведения облегченных гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2000. – 56 с.

13. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.

14. Кашарина Т.П., Кашарин Д.В. Применение оболочечных конструкций из композитных наноматериалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 34–40.

References

1. Vidal H., The principal of reinforced Earth. *Highway Engineering Record*, 1969, no. 282, pp. 1-16.

2. Vidal H. Reinforced Earth steel retaining wall. *Civil Engineering, ASCE*, 1970, no. 40 (2), pp. 72-73.

3. Vidal H. The development and future of reinforced earth. *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement. Geotechnical Engineering Division of American Society of Civil Engineers*. Pittsburgh, April 27, 1978, pp. 1.

4. Floss R., Thamm B.R. Bewehrte Erde – Ein neues Bauverfahren im Erd – und Grundbau. *Bautechnik*, 1976, vol. 53, no. 7, pp. 217-226.

5. Rudov-Clark S., Lomov S.V., Bannister M.K. Geometric and mechanical modelling of 3D woven composites. *Materials of the 14th International Conference on Composite Materials*, San Diego, USA, 14-18 July, 2003.

6. Dzhouns K.D. Sooruzheniya iz armirovannogo grunta [Construction of reinforced soil]. Moscow, Strojizdat, 1989, 280 p.

7. Kasharina T.P., Prihod'ko A.P., Sidenko E.S., Kundupyan K.S. *Rukovodstvo po obespecheniyu ehkologicheskoy bezopasnosti gorodskih territorij s sooruzheniyami inzhenernoj zashchity* [Guidelines for ensuring the environmental security of urban areas with the construction of engineering protection]. Novocherkassk, YUGRTU (NPI), 2015.

8. Zolotozubov D.G., Ponomarev A.B. *EHksperimental'nye issledovaniya armirovannyh osnovanij pri provalah grunta* [Experimental study of reinforced bases in the sinkhole]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2009, no. 2, pp. 91–94.

9. Kasharina T.P., Kasharin D.V., Kundupyan K.S., Klimenko M.YU., Sidenko E.S. *Ustrojstvo zashchitnoj sistemy gorodskoj zastroyki i sposob ee vozvedeniya* [The device of the protective system of urban development and the method of its construction]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2604933 (2016).

10. Kasharina T.P., Kasharin D.V., Prihod'ko A.P., ZHmajlova O.V. Gruntoarmirovannoe sooruzhenie i sposob ego vozvedeniya [Ground-reinforced structure and method of its construction]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2444589 (2010).
11. Kasharina T.P., Prihod'ko A.P. Rezul'taty issledovaniy gruntoarmirovannykh osnovaniy [The results of studies of the soil reinforced bases]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2015, no. 1, pp. 91–102.
12. Kasharina T.P. Sovershenstvovaniya konstruktsij, metodov nauchnogo obosnovaniya, proektirovaniya i tekhnologii vozvedeniya oblegchennykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij [Perfection of structures, methods of scientific justification, design and technology of erection of lightweight hydraulic structures]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Moscow, 2000, 56 p.
13. Ponomarev A.B., Ofrihter V.G. Analiz i problemy issledovaniy geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis and problems of geosynthetic material application in Russian Federation]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68–73.
14. Kasharina T.P., Kasharin D.V. Primenenie obolocheknykh konstruktsij iz kompozitsionnykh nanomaterialov [Application of shell structures made of composite nanomaterials]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 34-40. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.04