



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.01
УДК 624.138.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМОГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛОТНОМЕРА

Д.А. Комаров¹, В.И. Клевекко²

¹ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», Пермь, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 апреля 2019
Принята: 20 июня 2019
Опубликована: 10 января 2020

Ключевые слова:

армированное основание, геосинтетические материалы, динамический плотномер, динамический модуль упругости, статический модуль упругости.

АННОТАЦИЯ

Одним из способов улучшения свойств грунтов является их армирование различными геосинтетическими материалами. Одной из причин, препятствующих более широкому применению геосинтетических материалов в строительстве, является сложность объективной оценки эффективности их использования. Проведение исследований, направленных на изучение работы геосинтетических материалов в конструкциях оснований и взаимодействия их с грунтом, является весьма дорогостоящим и трудоемким мероприятием. Особенно сложными являются исследования армогрунтовых конструкций для транспортного строительства, которые испытывают воздействие динамических нагрузок. Геосинтетические материалы позволяют существенно улучшить деформационные характеристики армогрунтовых оснований. Поэтому использование различных экспресс-методов для определения деформационных характеристик армогрунтовых оснований является весьма актуальным.

Одним из новых экспресс-методов определения деформационных характеристик грунтового основания является метод с использованием динамического плотномера. В качестве прибора для определения динамического модуля упругости E_d на поверхности грунта был использован «Измеритель динамический модуля упругости грунтов ДПГ-1.2». Динамический модуль упругости E_d имеет корреляционную зависимость с коэффициентом уплотнения и статическим модулем упругости E_{st} .

Одной из областей применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве является их использование в конструкциях временных дорог. Поэтому в работе моделировалась конструкция временной автомобильной дороги, представляющая собой слой песка различной толщины на армирующей геосинтетической прослойке. В качестве армирующего геосинтетического материала были использованы каркасная геосетка КС-16 «Россомеха» производства ОАО «КЗМС» и геоткань Геоспан ТН-50 производства ООО «ГЕКСА-нетканые материалы».

В данной статье представлены результаты определения статического модуля упругости E_{st} и динамического модуля упругости E_d неармированного грунта и армирования грунта геосинтетическим материалом с помощью прибора ДПГ-1.2.

По результатам проведенного эксперимента видно, что значения модуля упругости, полученные экспресс-методом с помощью прибора ДПГ-1.2, имеют сопостави-

© Комаров Дмитрий Александрович – инженер, e-mail: rus-59@yandex.ru.

Клевекко Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vlivkl@mail.ru.

Dmitry A. Komarov – Engineer, e-mail: rus-59@yandex.ru.

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

мые значения с данными, полученными лабораторным способом, погрешность измерения не превышает 22 %.

При толщине засыпки $h = 50$ мм использование каркасной геосетки КС-16 позволяет увеличить E_{st} на 23 % и E_d на 14 % по сравнению с неармированным основанием, а при использовании геоткани Гекса ТН-50 наблюдается увеличение E_{st} на 15,5 % и E_d на 11 % по сравнению с неармированным основанием. Увеличение толщины засыпки h до 100 мм практически не уменьшает эффективность армирования каркасной геосеткой КС-16 «Россомаха» – статический модуль упругости E_{st} увеличивается на 22 % и динамический модуль упругости E_d на 14 % по сравнению с неармированным основанием. А для геоткани Гекса ТН-50 при $h = 100$ мм эффективность армирования значительно снижается – значения E_{st} и E_d увеличиваются только на 2,5 % по сравнению с неармированным основанием. Это, вероятно, вызвано значительно большей жесткостью каркасной геосетки КС-16 «Россомаха».

Таким образом, прибор ДПГ-1.2 позволяет достаточно точно измерять деформационные характеристики грунтовых оснований. Применение специализированной каркасной геосетки КС-16 «Россомаха» более эффективно в конструкциях временных автомобильных дорог по сравнению с универсальным геосинтетическим материалом Гекса ТН-50.

© ПНИПУ

DETERMINATION OF DEFORMATION CHARACTERISTICS OF REINFORCED SOIL BASE BY EXPRESS METHOD USING DYNAMIC DENSITOMETER

D.A. Komarov¹, V.I. Kleveko²

¹LLC "LUKOIL-PERM", Perm, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 April 2019
Accepted: 20 June 2019
Published: 10 January 2020

Keywords:

reinforced base, geosynthetics, dynamic densitometer, dynamic modulus of elasticity, static modulus of elasticity.

ABSTRACT

One way to improve the properties of soils is their reinforcement by different geosynthetic materials. Difficulty an objective assessment of the effectiveness of the use of geosynthetics in construction is its one of the reasons preventing their wider application. Conducting research aimed at studying the work of geosynthetic materials in the construction of foundations and their interaction with the ground, is a very costly and time consuming practice. The tests of reinforced soil structures for transport construction, which are influenced by dynamic loads are particularly complex. Geosynthetics can significantly improve the deformation characteristics of reinforced soil bases. Therefore, the use of different express methods for determination of deformation characteristics of reinforced soil bases is very important.

Method using the dynamic densitometer is a new express methods for determining the deformation characteristics of subgrade. «Meter ground dynamic modulus DPG-1.2» was used as an apparatus for determining the dynamic modulus of elasticity E_d on the ground surface Dynamic modulus of elasticity E_d has a correlation dependence with a coefficient of compaction and static modulus of elasticity E_{st} .

One application of geosynthetic material in road construction is their use in the construction of temporary roads. Therefore, the construction of temporary road, representing a layer of sand of various thickness on the reinforcing geosynthetic interlayer modeled in this work. The carcass geogrid KS-16 «Rosomaha» production on JSC «Krasnokamsk Metal Mesh Works» and geotextile Geospan TN-50 manufactured by Ltd «HEXA-woven materials» were used as reinforcing geosynthetics.

This article presents the results of the determination of the static modulus of elasticity E_{st} and dynamic elasticity modulus E_d soil reinforced by geosynthetic material and soil without reinforcement using DPG-1.2 device.

As a result of the experiment shows that the modulus values obtained with the express method of using the device-DPG 1.2 are comparable with the values of data obtained by the laboratory method, the measurement error does not exceed 22 %.

For backfill thicknesses $h = 50$ mm use the carcass geogrid KS-16 can increase E_{st} by 23 % and E_d by 14 % compared with the unreinforced base. Using the geotextile Hexa TN-50 can increase E_{st} by 15.5 % and E_d by 11 % compared with the unreinforced base. Increasing the thickness backfill h up to 100 mm is practically not reduce the effectiveness of the reinforcement carcass geogrid KS-16 «Rosomaha» – static modulus E_{st} is increased by 22 % and dynamic modulus E_d by 14 % compared to the unreinforced base. And for the geotextile Hexa TN-50 at $h = 100$ mm reinforcement efficiency is greatly reduced – the value E_{st} and E_d only increased by 2.5 % compared with the unreinforced base. This is probably caused by a significantly greater rigidity carcass geogrid KS-16 «Rosomaha»

Thus DPG-1.2 device allows accurately measure the deformation characteristics of soil bases. The use of specialized carcass geogrids KS-16 «Rosomaha» more effectively in the construction of temporary roads in comparison with universal geosynthetics Hexa TN-50.

© PNRPU

Введение

Строительство на территории Пермского края может представлять значительные трудности из-за геологических и климатических условий. Особенно большие сложности вызывают работы нулевого цикла и строительство временных дорог вследствие наличия слабых грунтов, которые не позволяют проводить строительные работы без применения специальных мероприятий. В настоящее время в этих случаях для улучшения свойств грунтов применяются различные геосинтетические материалы [1]. Данные материалы характеризуются широким спектром полезных свойств, в числе которых армирование, позволяющее улучшить как прочностные, так и деформационные характеристики армогрунтовых конструкций. В последнее время в результате развития технологий появляются новые геосинтетические материалы [2]. Современные геосинтетические материалы могут быть универсального или узконаправленного назначения. В последнее время в мире наблюдается увеличение числа узкоспециализированных геосинтетиков. Наиболее часто геосинтетические материалы используются в транспортном строительстве. Одной из причин, препятствующей более широкому применению геосинтетических материалов в строительстве, является сложность объективной оценки эффективности их использования. Изучение работы геосинтетических материалов в конструкциях автомобильных дорог и взаимодействия их с грунтом является весьма дорогостоящим и трудоемким мероприятием. Геосинтетические материалы позволяют существенно улучшить деформационные характеристики армогрунтовых оснований [3]. Испытания таких конструкций для транспортного строительства являются особенно сложными и трудоемкими, так как они воспринимают воздействие динамических нагрузок от транспортных средств. Поэтому использование различных экспресс-методов для определения деформационных характеристик армогрунтовых конструкций является весьма актуальным.

Определение деформационных характеристик грунтового основания возможно с помощью нового экспресс-метода с использованием динамического плотномера [4–9]. Для определения динамического и статического модулей упругости на поверхности грунта применялся «Измеритель динамический модуля упругости грунтов ДПГ-1.2». Динамический модуль упругости имеет корреляционную зависимость с коэффициентом уплотнения и статическим модулем упругости [10, 11].

Одной из областей применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве является их использование в конструкциях временных дорог [12, 13]. Поэтому в работе моделировалась конструкция временной автомобильной дороги, представляющая собой слой песка различной толщины на армирующей геосинтетической прослойке.

В данной статье представлены результаты определения статического модуля упругости E_{st} и динамического модуля упругости E_d неармированного грунта и армирования грунта геосинтетическим материалом с помощью прибора ДПГ-1.2.

Целью проведения испытаний является:

1. Изучение возможности применения прибора для определения статического модуля упругости E_{st} и динамического модуля упругости E_d .
2. Определение влияния армирования грунта геосинтетическим материалом на изменение статического модуля упругости E_{st} и динамического модуля упругости E_d .

Методика проведения исследований

При выполнении испытаний в качестве грунтового основания использовался маловлажный песок средней крупности. Его физико-механические характеристики, определенные лабораторным способом, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения физико-механических свойств песка

Table 1

The results of the determination of physical and mechanical properties of sand

Наименование показателя	Обозначение	Значение
Влажность грунта, %	w	4
Удельный вес грунта, кН/м ³	γ	16,5
Удельный вес частиц грунта, кН/м ³	γ_s	25,0
Угол внутреннего трения грунта, град	φ	35
Удельное сцепление грунта, кПа	c	0
Коэффициент пористости грунта, д.ед.	e	0,65
Модуль деформации грунта, МПа	E	13,0



Рис. 1. Общий вид прибора ДПГ-1.2
Fig. 1. General view of the device DPG-1.2

Прибор ДПГ-1.2 (рис. 1) состоит из механического ударного устройства и электронного блока. Механическое ударное устройство состоит из круглого штампа диаметром $d = 200$ мм, на котором жестко закреплен блок датчиков перемещения и ударного усилия, направляющая штанга, пружинный демпфер и груз. Электронный блок имеет сервисную программу для более детальной обработки полученной информации, подготовки отчета и архивирования результатов.

В качестве армирующего геосинтетического материала были использованы каркасная геосетка КС-16 «Росомаха» производства ОАО «КЗМС» и геоткань Геоспан ТН-50 производства ООО «ГЕКСА-нетканые материалы», имеющие размеры 1000×1000 мм. Каркасная сетка «Росомаха» была специально разработана для использования в конструкциях временных автодорог

и характеризуется повышенной жесткостью на изгиб по сравнению с обычными геосетками. Геоткань «Гекса» относится к универсальным геосинтетическим материалам, имеющим широкий спектр областей применения. Физико-механические характеристики геосинтетических материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики геосинтетических материалов

Table 2

Physico-mechanical characteristics of geosynthetic materials

Показатели	КС-16 «Росомаха»	Геоспан ТН-50
Материал	полиэфир	полипропилен
Толщина, мм	12,0	1,35
Масса 1 м ² , г	1600	275
Прочность при растяжении, кН/м	60,0	50,0
Относительное удлинение при разрыве, %	10	17

Проведение экспериментов выполнялось в два этапа:

1. Определение динамического и статического модуля упругости неармированного основания.

2. Определение динамического и статического модуля упругости основания, армированного геосинтетическими материалами.

Каждая серия испытаний проводилась с шестикратной повторяемостью. Толщина слоя засыпки была назначена исходя из диаметра штампа $d = 200$ мм. Оптимальной глубиной заложения армирующего геосинтетического материала считается величина $0,20...0,25d$ [3]. Поэтому для оценки эффективности армирования были проведены испытания при толщине засыпки $h = 50$ мм и $h = 100$ мм, т.е. при $h = 0,25d$ и $h = 0,5d$.

Процесс проведения эксперимента представлен на рис. 2.



Рис. 2. Укладка геосинтетического материала (каркасная геосетка КС-16 «Росомаха»)

Fig. 2. Laying geosynthetic material (frame geogrid KS-16 “Rosomaha”)

По результатам проведения эксперимента были полученные данные, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Результаты проведенных экспериментов

Table 3

The results of the experiments

№ п/п	Вид основания	Динамический модуль упругости E_d , МПа	Статический модуль упругости E_{st} , МПа
1	Неармированное	10,14	10,14
2	Армированное геосеткой КС-16, $h = 5$ см	11,84	13,2
3	Армированное геосеткой КС-16, $h = 10$ см	11,8	12,95
4	Армированное геотканью Гекса ТН-50, $h = 5$ см	11,4	12,0
5	Армированное геотканью Гекса ТН-50, $h = 10$ см	10,4	10,4

Для более детальной обработки информации в приборе ДПГ-1.2 предусмотрен вывод графиков, которые показывают изменение виброперемещения и силы удара во времени.

Анализ полученных результатов испытаний

По результатам проведенного эксперимента видно, что значения модуля деформации, полученные экспресс-методом с помощью прибора ДПГ-1.2, имеют сопоставимые значе-

ния с данными, полученными лабораторным способом, погрешность измерения не превышает 22 %.

При толщине засыпки $h = 50$ мм использование каркасной геосетки КС-16 позволяет увеличить статический модуль упругости E_{st} на 23 % и динамический модуль упругости E_d на 14 % по сравнению с неармированным основанием, а при использовании геоткани Гекса ТН-50 наблюдается увеличение статического модуля упругости E_{st} на 15,5 % и динамического модуля упругости E_d на 11 % по сравнению с неармированным основанием [14, 15].

Увеличение толщины засыпки h до 100 мм практически не уменьшает эффективность армирования каркасной геосеткой КС-16 «Росомаха» – статический модуль упругости E_{st} увеличивается на 22 % и динамический модуль упругости E_d на 14 % по сравнению с неармированным основанием. А для геоткани Гекса ТН-50 при $h = 100$ мм эффективность армирования значительно снижается – статический модуль упругости E_{st} и динамический модуль упругости E_d увеличиваются только на 2,5 % по сравнению с неармированным основанием. Это, вероятно, вызвано значительно большей жесткостью каркасной геосетки КС-16 «Росомаха».

Выводы

Прибор ДПГ-1.2 позволяет достаточно точно измерять деформационные характеристики грунтовых оснований, погрешность измерения составила 22 %, причем экспресс-метод несколько занижает значения модуля деформации по сравнению с лабораторным методом.

Рассмотренные геосинтетические материалы имеют примерно одинаковую прочность, однако применение специализированной каркасной геосетки КС-16 «Росомаха» более эффективно по сравнению с универсальным геосинтетическим материалом Гекса ТН-50, особенно в конструкциях временных автомобильных дорог, так как она имеет значительно большую жесткость по сравнению с традиционными геосинтетическими материалами.

Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.
2. 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.
3. Клевеко В.И. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния армированных грунтовых оснований в глинистых грунтах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 188–197.
4. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. К вопросу определения деформационных свойств техногенных оснований экспресс-методами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 1 (13). – С. 89–97.
5. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Применение экспресс-метода при оценке свойств техногенных грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 159–169.
6. Пономарев А.Б., Сазонова С.А., Румянцев С.Д. О современных методах экспресс-контроля характеристик насыпных грунтов // Геотехника. – 2017. – № 3. – С. 8–12.

7. Сазонова С.А., Румянцев С.Д. Применение экспресс-методов для определения характеристик насыпных грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – № 3. – С. 113–120.
8. Исупов И.А., Сазонова С.А. Анализ полевых методов определения деформационных характеристик насыпных грунтов // Master's Journal. – 2018. – № 1. – С. 81–86.
9. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Некоторые предпосылки применения динамического плотномера к определению модуля деформации грунта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 28–35.
10. Loizos A., Boukovalas G., Karlaftis A. Dynamic stiffness modulus for pavement subgrade evaluation // Journal of Transportation Engineering. – 2003. – Т. 129, № 4. – С. 434.
11. Failure modes and mechanisms of pavements in saline foundations / J. Zhang, X. Weng, B. Qu, J. Liu, B. Yang, Y. Li // Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport. – 2018. – Vol. 171, № 3. – P. 174–182.
12. Ведерников Д.Е., Татьянников Д.А. Численное моделирование трех вариантов устройства временных дорог на слабом основании // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 2. – С. 41–53.
13. Черемных С.Г., Татьянников Д.А., Клевко В.И. Мониторинг деформаций временной дороги // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1 (29). – С. 137–147.
14. Комаров Д.А., Клевко В.И. Применение экспресс-метода для определения модуля деформации основания из грунта, армированного геосинтетическим материалом // Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 48–51.
15. Komarov D.A., Kleveko V.I. The use of express method for determining of the base deformations module of soil reinforced by geosynthetics // SWorldJournal. – 2016. – Vol. 04, № j116 (10). – С. 26–29.

References

1. Spravochnik geotexnika. Osnovaniya, fundamenty` i podzemny`e sooruzheniya [Reference geotechnical. Bases, foundations and underground structures]. Moscow: ASV, 2016, 1040 p.
2. Ponomarev A.B., Ofrihter V.G. Analiz i problemy issledovaniy geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis and problems of research of geosynthetic materials in Russia]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2013, no 2, pp. 68–73.
3. Kleveko V.I. Jeksperimental'nye issledovaniya naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya armirovannyh gruntovyh osnovanij v glinistyh gruntah [Experimental studies of the stress-strain state of reinforced soil bases in clay soils]. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 188–197.
4. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. K voprosu opredelenija deformacionnyh svojstv tehnogen-nyh osnovanij jekspress-metodami [To the question of determining the deformation properties of man-made bases by express methods]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2014, no. 1 (13), pp. 89–97.
5. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Primenenie jekspress-metoda pri ocenke svojstv tehnogen-nyh gruntov [The use of the express method in assessing the properties of man-made soils]. *Vestnik*

Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2014, no. 4, pp. 159–169.

6. Ponomarev A.B., Sazonova S.A., Rumjancev S.D. O sovremennyh metodah jekspress-kontrolja karakteristik nasypnyh gruntov [About modern methods of express-control characteristics of the bulk soil]. *Geotekhnika*, 2017, no. 3, pp. 8–12.

7. Sazonova S.A., Rumjancev S.D. Primenenie jekspress-metodov dlja opredelenija karakteristik nasypnyh gruntov [The use of rapid methods to determine the characteristics of bulk soils]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2017, no. 3, pp. 113–120.

8. Isupov I.A., Sazonova S.A. Analiz polevyh metodov opredelenija deformacionnyh karakteristik nasypnyh gruntov [Analysis of field methods for determining the deformation characteristics of bulk soils]. *Master's Journal*, 2018, no. 1, pp. 81–86.

9. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Nekotorye predposylki primenenija dinamicheskogo plotnomera k opredeleniju modulja deformacii grunta [Some prerequisites for applying a dynamic density meter to determine the modulus of soil deformation]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2018, vol. 9, no. 3, pp. 28–35.

10. Loizos A., Boukovalas G., Karlaftis A. Dynamic stiffness modulus for pavement subgrade evaluation. *Journal of Transportation Engineering*, 2003, vol. 129, no. 4, pp. 434.

11. Zhang J., Weng X., Qu B., Liu J., Yang B., Li Y. Failure modes and mechanisms of pavements in saline foundations. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 2018, vol. 171, no. 3, pp. 174–182.

12. Vedernikov D.E., Tat'jannikov D.A. Chislennoe modelirovanie treh variantov ustrojstva vremennyh dorog na slabom osnovanii [Numerical modeling of three options for constructing temporary roads on a weak basis]. *Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija*, 2017, no. 2, pp. 41–53.

13. Cheremnyh S.G., Tat'jannikov D.A., Kleveko V.I. Monitoring deformacij vremЕННОj dorogi [Temporary road deformation monitoring]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2018, no. 1 (29), pp. 137–147.

14. Komarov D.A., Kleveko V.I. Primenenie jekspress-metoda dlja opredelenie modulja deformacii osnovanija iz grunta, armirovannogo geosinteticheskim materialom [The use of the express method for determining the modulus of deformation of the base of the soil, reinforced with geosynthetic material]. *Nauchnyj vzgljad v budushhee*, 2016, vol. 11, no. 2, pp. 48–51.

15. Komarov D.A., Kleveko V.I. The use of express method for determining of the base deformations module of soil reinforced by geosynthetics. *SWorldJournal*, 2016, vol. 04, no. j116 (10), pp. 26–29.