DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.13

УДК 692.115

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ

С.А. Сазонова, С.Д. Румянцев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 11 июля 2017

Принята: 28 июля 2017

Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

насыпные грунты, полевые испытания грунтов, коэффициент уплотнения, модуль деформации, методы экспресс-контроля, глубина сжимаемой толщи

АННОТАЦИЯ

Основной контролируемый параметр при устройстве оснований – это коэффициент уплотнения, однако для прогноза осадок важны деформационные характеристики. Цель исследования – определение взаимосвязи контролируемых параметров на строительной площадке с характеристиками, используемыми при проектировании оснований, что позволит быстро и эффективно контролировать качество произведенных работ, а также прогнозировать осадку насыпных грунтов. Существуют различные методы экспресс-контроля определения плотности насыпных грунтов. Одним из них является метод ударного штампа, реализуемый при помощи динамического плотномера. Актуальной является задача исследования применимости данного метода в промышленном и гражданском строительстве. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на оценку применимости прибора ДПГ-1.2 при контроле деформационных характеристик насыпных грунтов. Исследования проводились в лабораторных условиях кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). В качестве контролируемых параметров были приняты коэффициент уплотнения и влажность грунта. В качестве измеряемых параметров – компрессионный модуль деформации, динамический модуль упругости, сила и осадка. Объект исследования – однородный крупный песок с максимальной плотностью 1,74 кг/м³ и оптимальной влажностью 14 %. Проведено 18 серий испытаний с различным коэффициентом уплотнения при постоянной влажности. По результатам экспериментальных исследований были получены следующие зависимости: зависимость компрессионного модуля деформации, динамического модуля упругости и пластической осадки от коэффициента уплотнения; зависимость силы удара от пластической осадки. Дополнительно были проведены эксперименты с целью определения глубины сжимаемой толщи от ударной нагрузки. Полученные зависимости были проанализированы с точки зрения влияния коэффициента уплотнения на деформационные характеристики, а также определения границ применимости динамического плотномера при послойном контроле уплотнения насыпного грунта.

© ПНИПУ

© Сазонова Светлана Александровна – аспирант, старший преподаватель, e-mail: feliks150@yandex.ru.
Румянцев Сергей Дмитриевич – магистрант, e-mail: rum94@mail.ru.

Svetlana A. Sazonova – Postgraduate Student, Senior Lecturer, e-mail: feliks150@yandex.ru.
Sergei D. Rumiantsev – Master Student, e-mail: rum94@mail.ru.

APPLICATION OF EXPRESS METHODS FOR DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF FILL SOILS

S.A. Sazonova, S.D. Rumiantsev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 11 July 2017

Accepted: 28 July 2017

Published: 29 September 2017

Keywords:

fill soils, in situ soil testing, compaction ratio, deformation modulus, express methods of control, depth of compressible layer

ABSTRACT

The main controlled parameter in the production of bases is the compaction ratio; however, deformation characteristics are important for the prognosis of bases settlement. The aim of the research is to determine the relation between the monitored parameters at the construction site and the characteristics used in the design of the foundations, which will allow a quick and effective control of the quality, as well as a prediction of the settlement of fill soils. There are various methods aimed at an express control of the density of fill soils. One of them is the impact stamping method with the help of a dynamic densitometer. The problem of investigating the applicability of this method in industrial and civil construction is relevant. This paper presents the results of experimental studies aimed at assessing the applicability of the DPG-1.2 to control the deformation characteristics of fill soils. The research was carried out in the laboratory conditions of Construction Production and Geotechnics Department of Perm National Research Polytechnic University. The compaction ratio and soil moisture were accepted as the controlled parameters. As the measured parameters, we accepted the compression modulus of deformation, the dynamic modulus of elasticity, force and settlement. The subject of investigation is uniform coarse sand with a maximum density of 1.74 kg/m³ and an optimum moisture content of 14 %. 18 series of tests were carried out with different coefficients of compaction at a constant humidity. Based on the results of the experimental studies, the dependencies were obtained, i.e. the dependence of the compression modulus of deformation, the dynamic modulus of elasticity, and the plastic precipitation on the coefficient of compaction; dependence of the impact force on the plastic settlement. Also, additional experiments were carried out to determine the depth of the compressible strata from the impact load. The obtained dependences were analyzed from the point of the effect of the compaction ratio on the deformation characteristics, as well as the determination of the applicability limits of the dynamic densitometer during the layerwise control of the fill soil compaction.

© PNRPU

Согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» в проектах оснований и фундаментов необходимо предусматривать проведение геотехнического мониторинга [1–3], который предполагает тесное взаимодействие между проектировщиками и строителями, что невозможно при отсутствии общей терминологии. При этом основной контролируемый параметр при устройстве оснований – коэффициент уплотнения, однако для прогноза осадок важны деформационные характеристики [4]. Таким образом, сформулирована цель исследования – определение взаимосвязи контролируемых параметров на строительной площадке с характеристиками, используемыми при проектировании оснований, что позволит быстро и эффективно контролировать качество произведенных работ, а также прогнозировать осадку насыпных грунтов.

Под насыпными грунтами в настоящей статье подразумеваются грунты обратных засыпок, основания под фундаменты и полы, а также непосредственно сам материал для устройства насыпей. Обычно в качестве насыпных грунтов используются местный грунт, песок либо песчано-гравийные смеси.

Вне зависимости от вида насыпного грунта и его назначения особое внимание должно уделяться контролю качества выполнения работ [5, 6]. На сегодняшний день контроль уплотнения насыпных грунтов основан на анализе коэффициента уплотнения. Данный метод является достаточно точным, однако весьма трудоемким. В то же время за рубежом все большее применение находят методики, при которых определяется не коэффициент уплотнения, а непосредственно деформационные характеристики [7–10]. В связи с этим актуален вопрос использования альтернативных методов.

В настоящем исследовании был использован динамический плотномер ДПГ-1.2. Принцип работы прибора заключается в измерении осадки S грунта под круглым штампом при воздействии на него ударной нагрузки F . Далее вычисляется динамический модуль упругости E_d , характеризующий деформативность грунта.

Ранее авторами были проведены полевые испытания насыпных грунтов песчаной подушки под фундаментными плитами и обратной засыпки пазух фундаментов на объектах города Перми. Результаты полевых экспериментов представлены в работе [11]. По графикам зависимости компрессионного модуля деформации и динамического модуля упругости от коэффициента уплотнения видны большой разброс значений и отсутствие сходимости результатов. По мнению авторов, причиной этого является переувлажнение грунтов на строительной площадке. Далее было принято решение провести ряд лабораторных испытаний с постоянной влажностью для определения деформационных характеристик грунта при разных коэффициентах уплотнения, а также для определения сжимаемой толщи при динамическом воздействии [12–15].

В качестве контролируемых параметров были приняты коэффициент уплотнения и влажность грунта. В качестве измеряемых параметров – компрессионный модуль деформации, динамический модуль упругости, сила и осадка. Объект исследования – однородный крупный песок с максимальной плотностью $1,74 \text{ кг/м}^3$ и оптимальной влажностью 14 %.

Для проведения данного эксперимента был подготовлен цилиндрический лоток диаметром 70 см, в который был загружен грунт на высоту, равную двум диаметрам штампа (40 см). Определение модуля деформации производилось в компрессионном приборе, динамический модуль упругости определялся при помощи прибора ДПГ-1.2. Перед началом эксперимента грунт был увлажнен до 10 %.

Всего было выполнено 18 серий испытаний. Порядок проведения серии:

- 1) послойное уплотнение с отбором проб для определения плотности и влажности грунта и отбором проб для компрессионного прибора;
- 2) определение динамического модуля деформации при помощи ДПГ-1.2.

По результатам эксперимента после статистической обработки при помощи аппроксимации были построены следующие зависимости:

– зависимость компрессионного модуля деформации от коэффициента уплотнения (рис. 1);

Рис. 1. График зависимости компрессионного модуля деформации от коэффициента уплотнения

Fig. 1. Diagram of the dependence of the compression modulus of deformation on the coefficient of compaction

- зависимость динамического модуля упругости от коэффициента уплотнения (рис. 2);
- зависимость пластической осадки от коэффициента уплотнения (рис. 3);
- зависимость силы удара от пластической осадки (рис. 4).

Рис. 2. График зависимости динамического модуля упругости от коэффициента уплотнения

Fig. 2. Diagram of the dependence of the dynamic modulus of elasticity on the coefficient of compaction

Рис. 3. График зависимости осадки от коэффициента уплотнения

Fig. 3. Diagram of the dependence of the settlement on the coefficient of compaction

Анализируя данные графики, можно сделать следующие выводы:

1. При значениях коэффициента уплотнения менее 0,92 наблюдалась плохая сходимость результатов. Исходя из этого, в работе рассматриваются результаты испытаний при коэффициенте уплотнения более 0,92.
2. При увеличении коэффициента уплотнения значения компрессионного модуля деформации не изменяется более чем на 30 % от значений, полученных путем аппроксимации, что говорит о незначительном изменении компрессионного модуля деформации при коэффициенте уплотнения, изменяющемся в диапазоне от 0,93 до 0,98.

Рис. 4. График зависимости осадки от силы удара
Fig. 4. Diagram of the dependence of the settlement on the impact force

3. При возрастании коэффициента уплотнения динамический модуль упругости увеличивается, а осадка уменьшается.

4. С увеличением осадки уменьшается сила удара предположительно из-за того, что показания датчика измерения силы, установленного в приборе ДПГ-1.2, зависят от плотности грунта. При большой плотности грунта часть энергии удара расходуется на деформацию самого датчика, когда при малой плотности эта часть значительно меньше.

Следующей задачей исследования было определение глубины сжимаемой толщи. Глубина воздействия ударного импульса от динамического плотномера определялась при помощи месдоз, подключенных к считывающему устройству «Терем 4-1». Схема расположения месдоз представлена на рис. 5.

Рис. 5. Схема расположения месдоз
Fig. 5. Scheme of soil pressure cells

Замеры проводились путем измерения показаний месдоз до удара, в момент удара и после удара, затем после тарировки месдоз были определены напряжения, действующие в месте их расположения. Результаты измерений представлены на рис. 6.

Рис. 6. Напряжения при воздействии ударной нагрузки:

a – горизонтальные; *b* – вертикальные

Fig. 6. Stress under shock load: *a* – horizontal; *b* – vertical

Анализируя результаты измерений, можно сказать, что основные горизонтальные деформации происходят на глубине до 0,75 диаметра штампа, а основные вертикальные деформации происходят на глубине до 0,25 диаметра штампа.

В заключение хотелось бы отметить, что развитие методов экспресс-контроля качества необходимо для уменьшения сроков строительства и сгущения сетки контроля. При проведении полевых испытаний обнаружена плохая сходимость результатов. По мнению авторов, причиной этого является переувлажнение грунтов на строительной площадке. Однако при лабораторных экспериментах сходимость результатов удовлетворительная, что говорит о возможной применимости данного метода экспресс-контроля на строительных площадках.

Библиографический список

1. Геотехнический мониторинг жилого дома / А.Б. Пономарев [и др.] // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 41–45.
2. Гаврилов А.Н., Грязнова Е.М. Экспресс-методы в геотехническом мониторинге // Вестник Моск. гос. строит. ун-та. – 2010. – № 4-5. – С. 61–66.
3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
4. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Планирование эксперимента по исследованию зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 3. – С. 67–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2015.3.09>
5. Крутов В.И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
6. Александрова Н.П., Семенова Т.В. Совершенствование методов экспресс-контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6-2 (48). – С. 10–14.
7. Chen D.-H., Bilyeu J., He R. Comparison of resilient moduli between field and laboratory testing: a case study paper number 990591 // 78th Annual Transportation Research Board Meeting. – Washington D.C., 1999.
8. Maria J.S. The application of the modern method of embankment compaction control // Journal of Civil Engineering and Management. – 2004. – Vol. X, suppl. 1. – P. 45–50.

9. Test equipment for geotechnics, earthworks and pavements: сайт. – URL: <http://www.ticservicegroup.com.au/our-products/light-weight-deflectometer/lwd-glossary-faq> (дата обращения: 05.07.2017).
10. Fleming P.R., Frost M.W., Lambert J.P. A review of the lightweight deflectometer (lwd) for routine insitu assessment of pavement material stiffness // TIC service group. – URL: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/2007_uk_portable_fwd_evaluation.pdf (дата обращения: 05.07.2017).
11. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О некоторых результатах исследований насыпных грунтов // Изв. вузов. Строительство. – 2016. – № 2 (686). – С. 109–116.
12. Определение полей напряжений в однородных грунтовых массивах сложного поперечного сечения / А.Н. Богомолов [и др.] // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – № 4. – С. 135–137.
13. Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В., Гордеев А.В. Определение деформационных характеристик грунтов различными лабораторными методами // Инженерные изыскания. – 2010. – № 8. – С. 16–23.
14. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Investigation of the dynamic plate loading test with the light-weight deflectometer using the boundary element // TIC service group. – URL: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/2011/11/Investigation_of_ZFG_2000_using_Boundary_Element_Method.pdf (дата обращения: 10.07.2017).
15. Use of the light weight deflectometer (lwd) at highland valley copper mine / K. Neil Singh [et al.] // TIC service group. – URL: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/Use_of_the_Light_Weight_Deflectometer.pdf (дата обращения: 10.07.2017).

References

1. Ponomarev A.B. et al. Geotekhnicheskii monitoring zhilogo doma [Geotechnical monitoring of a dwelling house]. Zhilishchnoe stroitel'stvo, 2015, no. 9, pp. 41-45.
2. Gavrilov A.N., Griaznova E.M. Ekspress-metody v geotekhnicheskom monitoring [Express methods in geotechnical monitoring]. Vestnik MGSU, 2010, no. 4-5, pp. 61-66.
3. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow, ASV, 2014, 728 p.
4. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Planirovanie jeksperimenta po issledovaniju zavisimosti mezhdu koefitsientom uplotneniya i modulem deformatsii [Experimental design to investigate the dependence between the coefficient of compaction and the modulus of deformation]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura, 2015, no. 3, pp. 67-80. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2015.3.09>.
5. Krutov V.I. Osnovaniya i fundamenty na nasypnykh gruntakh [Bases and foundations on an filled soil]. Moscow, Strojizdat, 1988, 223 p.
6. Aleksandrova N.P., Semenova T.V. Soveshenstvovanie metodov ekspress kontrolja uplotneniya gruntov v zemljanom polotne lesnyh dorog. Chast 1. Obobshhajushhaja matematicheskaja model [Improvement methods Express seal control soil subgrade of forest roads. Part 1: Generalizing mathematical model]. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016, no. 6–2(48), pp. 10–14.
7. Chen D-H, Bilyeu J., He, R. Comparison of resilient moduli between field and laboratory testing: a case study paper number 990591. 78th Annual Transportation Research Board Meeting. Washington D.C., January 10-14, 1999.

8. Maria J.S. The application of the modern method of embankment compaction control. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2004, vol. X, iss. 1, pp. 45-50.
9. Test Equipment for Geotechnics, Earthworks and Pavements. TIC service group, available at: <http://www.ticservicegroup.com.au/our-products/light-weight-deflectometer/lwd-glossary-faq/> (accessed 5 July 2017).
10. Fleming P.R., Frost M.W., Lambert J.P. A review of the lightweight deflectometer (lwd) for routine insitu assessment of pavement material stiffness. TIC service group, available at: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/2007_uk_portable_fwd_evaluation.pdf (accessed 5 July 2017).
11. Ponomarev A.B., Sazonova S.A., O nekotorykh rezultatah issledovaniy nasypnykh gruntov [Some results of bulk soil research]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitelstvo*, 2016, no. 2, pp. 109-116.
12. Bogomolov A.N., Vikhareva O.A., Redin A.V., Torshin D.P. Opredelenie polej napryazhenij v odnorodnykh gruntovykh massivakh slozhnogo poperechnogo secheniya [The definition of stress fields in homogeneous ground mass of complicated cross-section]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2001, no. 4, pp. 135-137.
13. Boldyrev G.G., Arefev D.V., Gordeev A.V. Opredelenie deformatsionnykh kharakteristik gruntov razlichnymi laboratornymi metodami [Determination of the deformation characteristics of soils by various laboratory methods]. *Inzhenernye izyskaniia*, 2010, no. 8, pp. 16-23.
14. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Investigation of the dynamic plate loading test with the light-weight deflectometer using the boundary element. TIC service group, available at: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/2011/11/Investigation_of_ZFG_2000_using_Boundary_Element_Method.pdf (accessed 10 July 2017).
15. Neil K. Singh et al. Use of the light weight deflectometer (lwd) at highland valley copper mine. TIC service group. available at: http://www.ticservicegroup.com.au/wp-content/uploads/Use_of_the_Light_Weight_Deflectometer.pdf (accessed 10 July 2017).