

УДК 692.115

**И.А. Исупов, С.А. Сазонова**

**I.A. Isupov, S.A. Sazonova**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **АНАЛИЗ ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ**

### **ANALYSIS OF IN SITU TESTS FOR DETERMINING THE FILL SOILS DEFORMATION CHARACTERISTICS**

В настоящее время контроль качества уплотнения насыпных песчаных грунтов сводится к определению коэффициента уплотнения, который связан только с физическими характеристиками грунта. По мнению авторов, более эффективными методами при контроле качества уплотнения грунтов будут методы, определяющие деформационные характеристики основания, о чем свидетельствует зарубежный опыт. К тому же экспресс-методы преимущественно применяются на строительной площадке, что сказывается на трудоемкости, скорости проведения испытаний и оперативности получения данных. Все эти факторы свидетельствуют об актуальности изучения зарубежных методов контроля качества и необходимости их адаптации в России.

**Ключевые слова:** контроль качества, насыпные грунты, коэффициент уплотнения, экспресс-методы, штамповые испытания, модуль деформации.

Currently, quality control of the compaction of fill sandy soils is reduced to the determination of the compaction factor, which is related only to the physical characteristics of the soil. According to the authors, more effective methods for quality control of soil compaction will be methods that determine the deformation characteristics of the base, as evidenced by foreign experience. In addition, express methods are mainly carried out on the construction site, which affects the labor intensity, speed of testing and the speed of data acquisition. All these factors indicate the relevance of studying foreign methods of quality control and the need for their adaptation in Russia.

**Keywords:** quality control, fill soils, coefficient of compaction, express methods, stamp test, modulus of deformation.

Контроль качества уплотнения насыпных грунтов – это важный этап при приемке работ, так как от качества оснований зданий и сооружений зависит дальнейшая эксплуатация этих объектов. Некачественно подготовленное основание может вызвать существенные осадки и крены, что влечет за собой создание дополнительных напряжений в конструктивных элементах зданий [1].

В настоящее время в основу контроля качества уплотнения насыпных грунтов положен принцип сравнения плотности, полученной в теле насыпи, с максимальной плотностью того же грунта при лабораторных испытаниях

в приборе стандартного уплотнения СоюздорНИИ [2]. По результатам лабораторных испытаний определяют коэффициент уплотнения и делают выводы о качестве основания. Однако коэффициент уплотнения не учитывает деформационные и прочностные характеристики грунта, такие как модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения и др. В связи с этим можно сделать вывод, что отечественные методы контроля качества уплотнения насыпных грунтов не позволяют в полной мере охарактеризовать свойства грунта [3].

Согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» самым точным методом для определения деформационных характеристик грунта является метод штампа. При испытании грунта данным методом определяют модуль деформации, начальное просадочное давление и относительную деформацию просадочности. Испытания проводят путем нагружения грунта вертикальной нагрузкой через жесткий штамп. Схема устройства установки представлена на рис. 1.

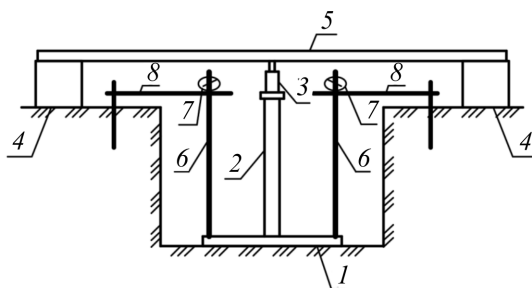


Рис. 1. Схема установки для испытания грунта штампом:

- 1 – штамп; 2 – стойка; 3 – гидравлический домкрат;  
4 – железобетонный блок; 5 – анкерная балка; 6 – стержень;  
7 – датчик; 8 – реперная система

При испытаниях нагрузку на штамп передают ступенями, равномерно увеличивая ее по мере осадки штампа. При приложении первой ступени нагрузки важно учесть нагрузку от самого штампа. Каждую ступень выдерживают до стабилизации осадки. По результатам осадки штампа на каждой ступени строят график зависимости осадки штампа от передаваемого на него давления. Затем определяют приращение осадки и давления во время испытаний и вычисляют модуль деформации грунта в определенном диапазоне давлений.

Недостатком испытания грунта методом штампа является высокая трудоемкость сооружения рамной анкерной конструкции и установки штампа с гидравлическим домкратом. Также стабилизация осадки штампа на одной ступени нагружения может занять несколько часов, что сказывается на скорости проведения испытаний.

По похожей методике проводят испытания экспресс-методом согласно DIN 18134–2012 «Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate load test», который имеет статус международного (зарубежного) стандарта. В России существует похожий документ, составленный на базе DIN 18134–2012, – ОДМ 218.5.007–2016 «Методические рекомендации по определению модуля упругости статическим штампом». Однако отечественный документ имеет рекомендательный характер.

Испытания грунта экспресс-методами по DIN 18134–2012 и ОДМ 218.5.007–2016 проводятся с применением нагрузочной плиты диаметром 300 (600, 762) мм. В ходе испытаний определяют следующие характеристики: модуль общей деформации и модуль упругости грунта. Испытания проводятся на строительной площадке и занимают значительно меньше времени [4]. К тому же данное оборудование можно смонтировать вручную без применения строительной техники. Существует две схемы устройства штамповых установок: установка с поворотным щупом, осуществляющая измерение осадки плиты при изменяющемся соотношении длины рычагов  $h_p:h_m$ ; установка с перемещающимся по оси щупом, осуществляющая измерение осадки плиты при фиксированном соотношении длины рычагов 1:1 (рис. 2).

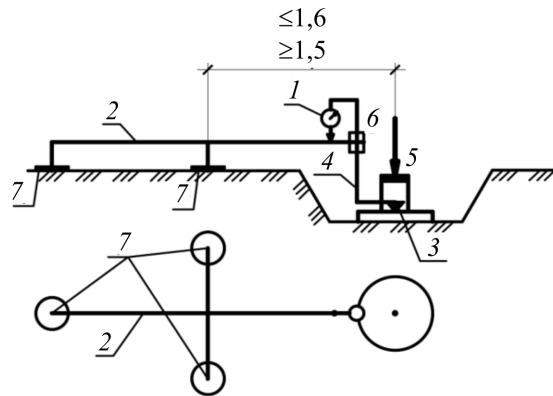


Рис. 2. Штамповая установка с перемещающимся по оси щупом:  
 1 – датчик измерения осадки; 2 – рама; 3 – считывающее устройство;  
 4 – щуп; 5 – нагрузка; 6 – линейный подшипник; 7 – опоры

Устройство измерения осадки должно обеспечивать точность измерений с погрешностью не более 0,04 мм в области измерения до 10 мм при использовании плит диаметром 300 и 600 мм и в области измерения до 15 мм при использовании нагрузочной плиты диаметром 762 мм.

Испытания проводятся при положительной температуре окружающего воздуха в интервале от 0 до 40 °С. Испытания штамповой установкой допускается проводить на жестком покрытии, основании и земляном полотне из

укрепленных и не укрепленных вяжущими крупнозернистых, разнотернистых и мелкозернистых материалов.

Перед проведением испытаний испытываемую поверхность грунта выравнивают. По необходимости наносят тонкий слой песка или гипсовой кашицы для равномерной передачи нагрузки от нагрузочной плиты на основание. В случае применения гипсовой кашицы поверхность нагрузочной плиты смазывают маслом для предотвращения адгезии плиты и гипса.

Определение модуля упругости проводят двухэтапным нагружением грунта. Для определения модуля общей деформации на нагрузочную плиту передают нагрузку шестью ступенями, затем снимают нагрузку в три ступени: 50 %, 25 % и 2 % от максимальной нагрузки. Для определения модуля упругой деформации проводят еще один цикл нагружения, но только до последней ступени первого цикла нагружения. Ступени нагрузки при первичном и вторичном нагружении представлены в таблице. Нагрузка на всех ступенях нагружения должна быть постоянной. При проведении испытаний все изменения фиксируются и записываются в журнал испытаний.

Ступени нагрузки-разгрузки с применением нагрузочной плиты диаметром 300 мм

Ступени нагрузки-разгрузки $\sigma$ , МН/м <sup>2</sup>													
Первичное нагружение						Разгрузка			Вторичное нагружение				
0,08	0,16	0,25	0,33	0,42	0,50	0,25	0,125	0,01	0,08	0,16	0,25	0,33	0,42

Определение осадки с помощью установки с перемещающимся по оси шупом (см. рис. 2) производится по показанию стрелочного индикатора. Нагрузка на всех ступенях нагружения должна быть постоянной. В случае, если получают нестандартные результаты испытаний, испытываемый грунт разрывают до глубины, соответствующей диаметру нагрузочной плиты. Если при этом встречаются камни, грунты с разной консистенцией и другие неоднородности, то это отмечают в протоколе испытаний.

По данным, полученным при проведении испытаний, строится график общей деформации при первичном нагружении, разгрузке и упругой деформации при вторичном нагружении (рис. 3), определяются модуль упругой деформации и модуль общей деформации. По полученным характеристикам грунта делается вывод о качестве подготовленного основания.

Отличительной особенностью экспресс-метода по DIN 18134–2012 и ОДМ 218.5.007–2016 от эталонного метода испытаний штампом по ГОСТ 20276–2012 «Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» является сокращение времени на проведение испытаний. Метод испытаний штампом предполагает использование массивного штампа площадью 2500–5000 см<sup>2</sup>, что сказывается на сложности монтажа

данного оборудования и анкерной системы. Метод экспресс-штампа предполагает использование компактного мобильного оборудования со штампом площадью до  $706 \text{ см}^2$ . Монтаж оборудования метода экспресс-штампа может осуществляться одним человеком с применением вместо сложной анкерной системы строительной техники в роли противовеса, нагрузка от которой минимум на  $10 \text{ кН}$  больше максимальной, создаваемой штамповой установкой при проведении испытаний.

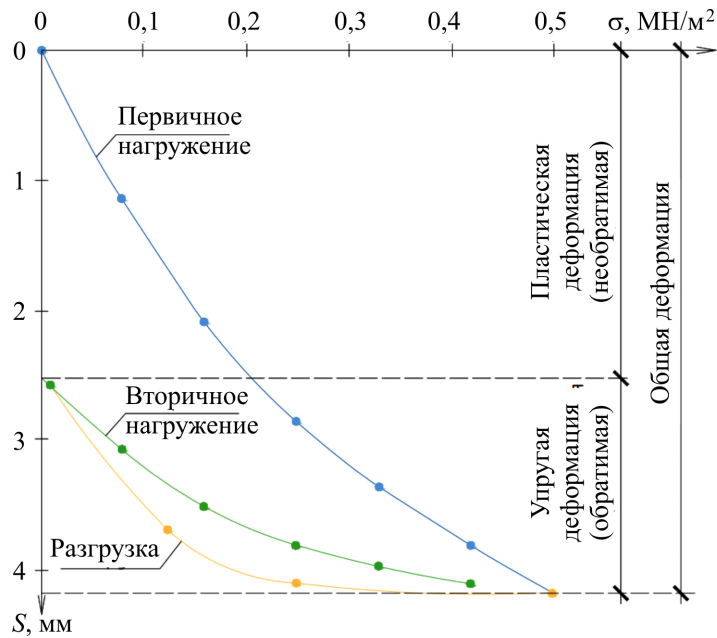


Рис. 3. График испытания статической штамповой установкой

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что достоинствами экспресс-методов по сравнению с эталонными испытаниями методом штампа является сокращение трудоемкости и времени при проведении испытаний. Однако ускоренный характер проведения испытаний может сказаться на точности результатов. Поэтому для определения точности экспресс-методов требуется проведение серии стандартных испытаний и испытаний экспресс-методами в лабораторных условиях с установкой между ними корреляционного (поправочного) коэффициента и сравнительным анализом результатов испытаний.

Об актуальности исследования экспресс-методов свидетельствует тот факт, что за рубежом эти методы являются официально признанными методами контроля качества и регламентируются нормативными документами [5–7], такими как DIN 18134-2012 “Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate load test”. Следовательно, для внедрения экспресс-методов в отечествен-

ную практику контроля качества грунтов требуется проведение анализа с существующими методами и разработка нормативной документации по контролю качества экспресс-методами.

### Список литературы

1. Крутов В.И., Глушко В.Т., Яланский А.А. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. – М.: Стройиздат, 1988. – 224 с.

2. Журнал «Стройка»: электронное периодическое издание. – URL: <http://library.stroit.ru/articles/control> (дата обращения: 10.01.2018).

3. 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.

4. Александрова Н.П., Семенова Т.В. Совершенствование методов экспресс-контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Ч. 1. Обобщающая математическая модель // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6–2 (48). – С. 10–14.

5. Chen D.-H., Bilyeu J., He R. Comparison of Resilient Moduli Between Field and Laboratory Testing: A Case Study Paper number 990591 // 78<sup>th</sup> Annual Transportation Research Board Meeting. – Washington D.C., 1999. – P. 10–14.

6. Maria J.S. The application of the modern method of embankment compaction control // Journal of Civil Engineering and Management. – 2004. – Vol. 10, suppl. 1. – P. 45–50.

7. Test Equipment for Geotechnics, Earthworks and Pavements // TIC service group. – URL: <http://www.ticservicegroup.com.au/our-products/light-weight-deflectometer/lwd-glossary-faq> (дата обращения: 14.01.2018).

Получено 30.01.2018

**Исупов Илья Андреевич** – магистрант, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [isupivia59@gmail.com](mailto:isupivia59@gmail.com)

**Сазонова Светлана Александровна** – аспирант, кафедра «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [feliks150@mail.ru](mailto:feliks150@mail.ru).