

## Определение деформационных характеристик грунтового массива, преобразованного по технологии армирования грунта цементно-песчаным раствором

*А.Ю. Прокопов, И.В. Сычев*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Выполнен анализ методов оценки качества работ по закреплению грунтовых массивов различными составами, отмечены недостатки существующих методов. Предложено новое устройство для определения свойств грунтового массива, закрепленного методом армирования цементно-песчаным раствором. Описана конструкция и особенности применения разработанного устройства для оценки деформационных свойств закрепленного массива. Приведен пример получения и обработки результатов испытаний грунта разработанным устройством.

**Ключевые слова:** армирование грунтов, цементно-песчаный раствор, контроль качества, штамповые испытания, геофизические методы, проходка шурфов, осадка, модуль деформации.

В современной практике строительства всё большую область применения, как при реконструкции, капитальном ремонте, так и для вновь возводимых зданий и сооружений, находят инъекционные методы технической мелиорации грунтов по различным технологиям [1 – 5].

При сравнении технико-экономических показателей способов улучшения строительных свойств грунтов оснований фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе на просадочных, насыпных, слабых водонасыщенных грунтах, одним из наиболее эффективных и рациональных с точки зрения использования ресурсов, для обеспечения нормальной эксплуатации зданий и сооружений, является метод армирования грунтов цементно-песчаным раствором.

Применение экономичных инновационных инъекционных технологий подготовки основания позволяет проводить работы в условиях плотной городской застройки, где ограничено применение методов, создающих дополнительные вибрационные нагрузки на окружающие здания и

сооружения, при значительном снижении сметной стоимости и без потери эксплуатационной надежности.

Существует достаточно большое количество технологий преобразования строительных свойств грунтового массива [6 – 9], но достижение цели достигается по одной модели – формирование в массиве объемных жестких бетонных включений хаотического, неструктурированного расположения, пространство между которыми заполнено грунтом с характеристиками, близкими к природному сложению.

Одним из ключевых сдерживающих факторов применения инъекционных технологий является невозможность применения универсальной оценки качественных параметров преобразованного грунтового массива.

Опыт применения метода армирования грунтов цементно-песчаным раствором достаточно обширен, но единого подхода к решению задачи оценки деформационных свойств нет.

В условиях естественной неоднородности грунтовых условий качество работ по закреплению грунтов надежно обеспечивается выполнением следующего комплекса мероприятий и условий:

- высокое качество применяемых материалов;
- операционный контроль выполнения технологических операций;
- работы на опытном участке;
- контроль качества с применением специальных методов.

Целью контроля качества является установление соответствия физико-механических и деформационных характеристик закрепленного массива требованиям проекта. В настоящее время на практике, при строительстве уникальных сооружений и объектах повышенного уровня ответственности, должен использоваться комплексный подход, который позволяет дать всестороннюю оценку выполненным работ.

---

Рассмотрим методы контроля качества закрепления грунтовых оснований, получивших наиболее широкое распространение.

**Геофизические методы.** По результатам можно судить об однородности закрепленного массива грунта. Исследования проводятся до и после проведения работ по армированию грунтов цементно-песчаным раствором, чтобы исключить наличие каких-либо полостей в основании фундаментов и можно было проследить изменения, которые произошли в грунте. Современные георадары позволяют беспрепятственно, даже при наличии железобетонной плиты, проводить работы по исследованию грунтов основания.

**Инструментальное наблюдение за осадками зданий и сооружений.** Данный метод предполагает анализ исполнительной документации и фиксацию динамики развития деформаций во времени. По результатам наблюдений можно провести сравнительный анализ расчетных предполагаемых и фактически реализованных вертикальных и горизонтальных деформаций. Может быть использован в качестве дополнительной меры по обеспечению эксплуатационной безопасности зданий и сооружений.

**Статическое и динамическое зондирование.** Данные методы нормируются ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием» и являются достаточно достоверными для определения прочностных характеристик грунта. К недостаткам методов относятся: сложность производства работ в стесненных условиях из-за габаритов применяемой техники; опасность повреждения оборудования при вдавливании или забивке в закрепленные грунты, содержащие массивные бетонные тела.

**Отбор монолитов ненарушенного сложения из шурфов или выработок.** Это наиболее распространенный метод определения физико-

---

механических характеристик закрепленного массива, предусматривающий проходку геологической выработку с отбором образцов грунта для дальнейших лабораторных исследований. Параллельно с этим проводится визуальное освидетельствование наличия затвердевших бетонных тел и оценка их соотношения к объему грунта, то есть «процента армирования», фиксируется характер распространения цементно-песчаного раствора.

Недостатки метода связаны со сложностью интерпретации данных лабораторных компрессионных испытаний грунтов. При составлении отчетов по контролю качества выполненных работ инженеры-геологи указывают лабораторный компрессионный модуль деформации  $E_k$ , что недостаточно для оценки соответствия требованиям проекта, в котором при расчетах осадок применяется общий модуль деформации.

Приоритетным направлением определения деформационных характеристик закрепленного грунтового массива является проведение натуральных исследований грунтов штампами. В большинстве случаев при проведении полевых испытаний для определения деформационных характеристик закрепленного массива грунта руководствуются ГОСТ 20276-2012 и используют стандартные круглые жесткие штампы площадью  $5000 \text{ см}^2$ , устройство для создания и измерения нагрузки на штамп, анкерное устройство, устройство для измерения осадок штампа.

Однако, подобная методика имеет существенные недостатки в части точности определения общего модуля деформации закрепленного массива, так как не полностью учитывает пространственное положение хаотически распределенных бетонных тел, которые являются армирующим каркасом грунтового массива, что приводит к искажению данных о деформационных характеристиках армированного грунта.

Решение поставленной задачи может быть обеспечено применением специально разработанных авторских технологий [6] и устройств для

---

испытания преобразованных грунтов [10], учитывающих пространственную работу закрепленного массива. Запатентованная полезная модель устройства для испытания грунтов, армированных цементно-песчаным раствором [10] включает в себя: штамп железобетонный размерами 2,4×2,4 м; систему упорных балок; гидравлический домкрат с тарированным манометром для создания и измерения нагрузки на штамп; анкерную систему в виде винтовых свай для восприятия выдергивающих нагрузок; прогибомеры для измерения вертикальных перемещений штампа (рис. 1, а, б).

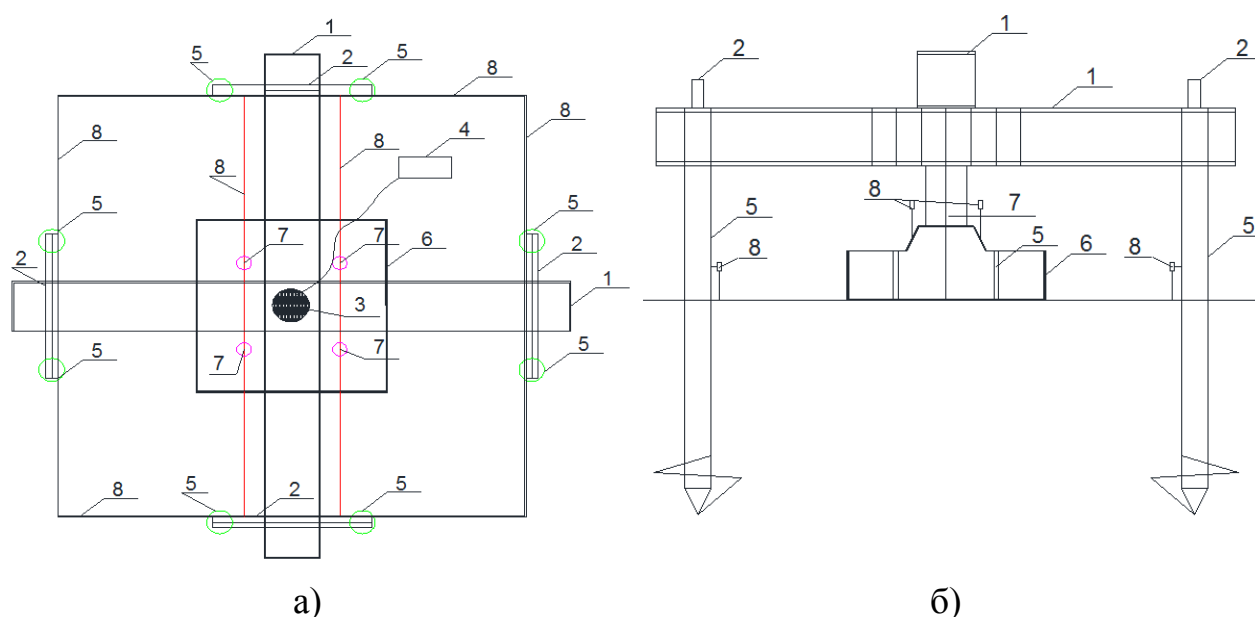


Рис. 1. – Устройство для испытания грунтов, армированных цементно-песчаным раствором: а – вид сверху; б – вид сбоку

Устройство включает систему упорных балок, состоящую из двух главных металлических сварных балок 1 и четырех второстепенных металлических сварных балок 2, воспринимающих усилия от устройства для создания и измерения нагрузки – гидравлического домкрата 3, укомплектованного насосной станцией 4 и передающих нагрузку на анкерные стальные винтовые сваи 5, которые смонтированы на заданную глубину согласно программе испытаний.

Нагрузка от гидравлического домкрата, передается на железобетонный штамп б, который в свою очередь воздействует на закрепленный грунтовый

массив. В железобетонном штампе есть технологические отверстия 7 через которые осуществляются работы по закреплению грунтов основания. При помощи измерительной системы 8 определяются деформации основания под нагрузкой.

Повышение точности и достоверности результатов штамповых испытаний достигается за счет того, что, помимо закрепляемого грунтового массива, в работу включается пространственный каркас, состоящий из затвердевших бетонных тел, полученных путем закачки раствора через технологические отверстия штампа.

Устройство позволяет после производства работ на опытном участке определить общий модуль деформации, который может быть использован в качестве нормативного при расчетах и корректировке проекта.

Особенностью испытания грунтов, армированных цементно-песчаным раствором, с применением устройства является то, что до пробной закачки раствора на опытной площадке монтируется устройство и создается «пригруз» в виде приложенной посредством домкрата нагрузки, который исключает неравномерные деформации штампа при закачке цементно-песчаного раствора. После этого производятся работы по бурению, закачке раствора, которые выполняются через технологические отверстия в теле железобетонного штампа.

После достижения раствором необходимой прочности проводятся испытания грунтов основания в соответствии с разработанной программой.

Нормативный общий модуль деформации закрепленного грунта определяется в соответствии со следующими требованиями ГОСТ 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности:

1. Приложение нагрузки ведется ступенями 1/10 от максимально предусмотренного программой испытаний;
  2. Отсчеты с измерительных устройств снимаются каждые 30 мин.;
-

3. Следующая ступень нагрузки может быть приложена только после условной стабилизации деформаций грунтов основания;

4. После достижения нагрузки, предусмотренной программой испытаний, производится разгрузка штампа ступенями 1/5 от достигнутого значения нагрузки.

5. Строится график зависимости деформаций от напряжений.

Согласно ГОСТ 20276-2012 по результатам испытаний построен график зависимости осадки штампа от давления  $S = f(p)$  (рис. 2).

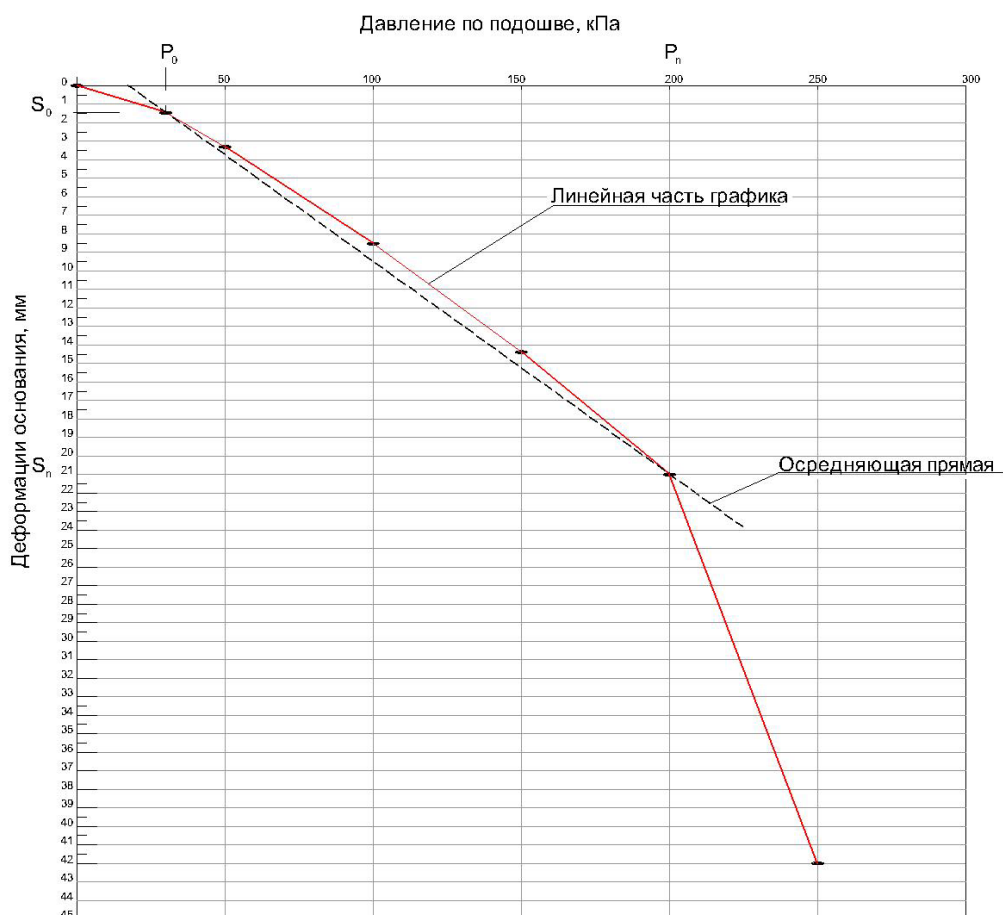


Рис.2. – График зависимости осадки штампа от давления  $S = f(p)$

Модуль деформации грунта  $E$ , МПа, вычислен для линейного участка графика по формуле ГОСТ 20276-99:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (1)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона, принимаемый для суглинков равным 0,35; Коэффициент  $K_p$  принимают равным 1 при испытаниях грунтов штампами в котлованах, шурфах и дудках;  $K_1$  – коэффициент, принимаемый равным 0,88 для жесткого квадратного штампа [11];  $\Delta p$  – приращение давления на штамп (п. 5.5.1 ГОСТ 20276-99), МПа, равное  $p_n - p_0$ ;  $\Delta S$  – приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta p$ , см, определяемое по осредняющей прямой; Подставляя в формулу (1) значения, определенные по графику, получаем:

$$E = (1 - 0,35^2) \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 240 \cdot 170 / 1,95 = 16,15 \text{ МПа.}$$

Полученный таким образом модуль деформации может быть использован для расчетов основания фундаментов по деформациям.

При накоплении достаточного опыта и результатов штамповых испытаний грунтов, армированных цементно-песчаным раствором, можно создать нормативные методические рекомендации по определению деформационных характеристик преобразованного грунтового массива.

СП 22.13330.2011 допускает определять значения общего модуля деформации  $E$  для сооружений нормального уровня ответственности только по результатам компрессионных испытаний, корректируя их с помощью повышающих коэффициентов  $m_k$ , при наличии статистически обоснованных региональных данных, приведенных в региональных строительных нормах.

Создание региональной методики, позволяющей применять переводной коэффициент  $m_k$  от компрессионного модуля деформации к общему в зависимости от «процента армирования» для закрепленных грунтов, существенно упростит и унифицирует процедуру контроля качества выполненных работ [5, 7, 10, 12] и откроет новую страницу применения фундаментов на закрепленном основании.

## Литература



1. Дежина И.Ю. Выбор метода преобразования лессовых грунтов Ростовской области с учетом различных факторов// Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945).

2. Прокопов А.Ю., Евлахова Е.Ю., Михайлов А.А. и др. Анализ проектов закрепления грунтовых оснований при строительстве зданий образовательных учреждений в Ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5443](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5443).

3. Голованов А.М. Исследование однорастворного способа силикатизации лессовых грунтов и возможностей повышения его эффективности: дис. канд. техн. наук: 05.23.02. Ростов-на-Дону, 1970. 234 с.

4. Черный А.Т. Исследование и разработка эффективных методов контроля качества силикатизации лессовых грунтов: дис. канд. техн. наук: 05.23.02. Ростов-на-Дону, 1981. 198 с.

5. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don // MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: [doi.org/10.1051/matecconf/201710602001](https://doi.org/10.1051/matecconf/201710602001)

6. Приходченко О.Е., Таржиманов М.А., Таржиманов Э.А., Сычев И.В. Опыт применения метода цементации при закреплении мягко-пластичных грунтов в г. Ростове-на-Дону// Научное обозрение. 2014. №9. Ч.3. С. 746- 750.

7. Гирия Л.В., Белаш В.В., Хоренков С.В., Петров К.С. Контроль качества производства работ по закреплению грунтов основания с использованием метода георадиолокационного подповерхностного зондирования // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056).

8. Армированное основание: патент 83258 РФ: МПК E02D5/66 / Чернявский А.Г.; заявл. 24.07.2008; опубл. 27.05.2009.

9. Akopyan V., Akopyan A. Experimental and Theoretical Investigation of the Interaction of the Reinforced Concrete Screw Piles with the Surrounding Soil // Procedia Engineering, Volume 150, 2016, pp.2202-2207.

10. Устройство для испытания грунтов, армированных цементно-песчаным раствором: Патент на полезную модель РФ №160099 / Сычев И.В., Таржиманов М.А.; заявитель и правообладатель Ростовский гос. строит. ун-т. – №2015146063/03; заявл. 26.10.2015; опубл. 10.03.2016. Бюл. №7.

11. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

12. Гапонов Д.А., Фоменко Л.Н., Шеремет Р.Д. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов // Инженерный вестник Дона, 2016, №3, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724.

### References

1. Dezhina I.Yu. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945.

2. Prokopov A.Yu., Evlahova E.Yu., Mihajlov A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5443.

3. Golovanov A.M. Issledovanie odnorastvornogo sposoba silikatizacii lessovyh gruntov i vozmozhnostej povysheniya ego ehffektivnosti [Study of one-solution method of silicatization of loess soils and possibilities for increasing its effectiveness]. Rostov-on-Don, 1970. 234 p.

4. Chernyj A.T. Issledovanie i razrabotka ehffektivnyh metodov kontrolya kachestva silikatizacii lessovyh gruntov [Research and development of effective quality control methods for the silicatization of loess soils]. Rostov-on-Don, 1981. 198 p.

5. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017, URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001.



6. Prihodchenko O.E., Tarzhimanov M.A., Tarzhimanov Je.A., Sychev I.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. №9. Part. 3. pp. 746- 750.
7. Girya L.V., Belash V.V., Horenkov S.V., Petrov K.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2056).
8. Armirovannoe osnovanie: patent 83258 RF: MPK E02D5/66. Chernjavskij A.G.; zajavl. 24.07.2008; opubl. 27.05.2009. [Reinforced base: RF patent 83258: IPC E02D5 66 Chernyavsky A.G.; declare 07.24.2008; publ. 27.05.2009].
9. Akopyan V., Akopyan A. Procedia Engineering, Volume 150, 2016, pp. 2202-2207.
10. Ustrojstvo dlja ispytaniya gruntov, armirovannyh cementno-peschanym rastvorom: Patent na poleznuju model' RF №160099. Sychev I.V., Tarzhimanov M.A.; zajavitel' i pravoobladatel' Rostovskij gos. stroit. un-t. №2015146063/03; zajavl. 26.10.2015; opubl. 10.03.2016. Bjul. №7 [Apparatus for testing soils reinforced with cement-sand mortar: RF patent 160099. Sychev I.V., Tarzhimanov M.A., declare 26.10.2015; publ. 10.03.2016].
11. Tsytovich N.A. Mehanika gruntov [Soil mechanics]. Moscow: Vysshaja shkola, 1983. 288 p.
12. Gaponov D.A., Fomenko L.N., Sheremet R.D. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3724).