

УДК 624.01.001:624.15:622.693.26.08.05.12

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПОД ЗАСТРОЙКУ СООРУЖЕНИЙ В СТЕСНЕННЫХ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Иванова М. С.<sup>1</sup>, Шабельникова Д. С.<sup>2</sup>, Шабельников С. И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ГОУ ВПО Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск*

<sup>2</sup>*Таврическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация*

*E-mail: shabelnikov.s@yandex.ru*

Работа посвящена усовершенствованию способа исследования грунтов в сложных инженерно-геологических условиях и возможности их использования под застройку сооружений монолитного типа в стесненных городских условиях и связанных с дефицитом свободных земельных площадей.

Показана проблема повышения устойчивости структурно-неустойчивых грунтов, прогноза деформаций, поиск путей актуальных решений по их укреплению. Это связано с увеличивающимся дефицитом свободных земельных площадей и расположением сооружений в стесненных условиях. Наиболее перспективным в решении данной проблемы является изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива. Поэтому усовершенствование способов испытания и методов расчета устойчивости структурно-неустойчивых грунтов на основе анализа НДС является актуальной задачей механики грунтов.

**Ключевые слова:** структурно-неустойчивые грунты, способ испытания, стесненные условия, автоматизированная система управления.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность усовершенствования способа исследований структурно-неустойчивых грунтов и возможности их использования под застройку сооружений монолитного типа связана с увеличивающимся дефицитом свободных земельных площадей и расположением их в стесненных условиях.

Проблема повышения устойчивости структурно-неустойчивых грунтов, прогноза деформаций, устройства сооружений в стесненных городских условиях с выбором оптимальной технологии его строительства на сегодня решена недостаточно.

В настоящее время в мировой практике строительства соотношение между зданиями и сооружениями из сборного и монолитного бетона складывается в пользу монолитного. Так, анализируя сведения о ежегодном производстве бетона для монолитного строительства в мире, отметим, что он превышает в полтора миллиарда кубометров и что в процентном соотношении составит от 32 и до 80 %.

По объему производства и применения монолитный бетон имеет экономические преимущества и опережает другие виды строительных материалов.

Так, по сравнению с кирпичным и полносборным строительством, это характеризуются снижением единовременных затрат на создание

производственной базы, уменьшением расхода стали, энергоемкости, уменьшением трудовых затрат по сравнению с кирпичными зданиями той же этажности.

Однако достигнутые успехи в монолитном домостроении при строительстве многоэтажных монолитных сооружений до настоящего времени имеют множество проблем в обеспечении строительства при использовании новой технологии, проектировании, их эксплуатации. Возникающие проблемы потребовали усовершенствования методологии испытания и методики расчета, что послужило толчком для проведения исследования причин, снижающих достоверность параметров, влияющих на расчетные данные при проектировании несущей способности структурно-неустойчивых грунтов и, соответственно, влияющих на деформационные свойства грунтов и сооружений, их продолжительность службы.

Пути по усовершенствованию способов получения достоверной информации о их прочностных свойствах с двух точек зрения геологии освещены во многих источниках [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Однако этой информации недостаточно, чтобы повысить требования к методам расчета.

Прямое использование методов без учета конкретных условий во многих случаях приводит к серьезным ошибкам: причиной тому является разнообразие природной обстановки и типов грунтов, влияние человеческого фактора при обработке параметров входящих в состав расчетных формул; условий их залегания, а также гидрогеологических условий.

Анализ причин и факторов, которые влияют на достоверность применяемых результатов при проектировании оснований и фундаментов, позволил выбрать наиболее перспективные решения данной проблемы за счет поиска наиболее эффективного способа получения характеристик, входящих в состав расчетных формул.

Целью исследований является решение проблемы повышения достоверности получаемых результатов структурно-неустойчивых грунтов, находящихся под нагрузкой, усовершенствование методологии испытаний, а также возможности использования исследуемых грунтовых условий под застройку сооружений, располагаемых в стесненных условиях.

Существующие способы испытания позволяют получать результаты деформирующегося основания лишь в первой фазе работы грунта, на нелинейном же участке только в стабилизированном состоянии и только под нагрузкой. В последующих фазах II–III работы грунта (при наступлении мгновенного разрушения), на нелинейном участке при действии нагрузки во времени используется способ визуальных наблюдений. При этом применяется комплекс трудоемких ручных операций, выполняемых рабочими и специалистами с большими затратами времени на камеральную обработку данных. Получение и регистрация информации известными способами во второй и третьей фазах невозможны.

С целью получения достоверных результатов для исследований был предложен усовершенствованный способ испытаний в котлованах и шурфах с помощью передвижного комплекса.

В отличие от известных способов получения информации в предложенный внедрен расчетный алгоритм, который может проводить математический анализ с помощью программы CurveExpert по реальным данным, введенным в базу ЭВМ.

#### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Задача исследований осложняется созданием алгоритма для оценки происходящих процессов в режиме реального времени (например, определение параметров, изменяющихся от деформации грунтового массива). В выявлении факторов, действующих на прочностные свойства грунта в тесной связи «сооружение – грунт – свая», что позволит повысить долгосрочность службы сооружений, их эксплуатацию, с возможностью их использования в плотно застроенных территориях. Важность задачи также состоит в проведении непрерывных испытаний с поддержанием действующей нагрузки во времени и получением допустимой величины деформации грунтового массива под зданием. Эти задачи отличают предложенные исследования от известных.

Для достижения поставленной цели потребовалось выполнить усовершенствование способа испытания структурно-неустойчивых грунтов путем создания комплекса для исследований деформационных свойств грунтов [6].

В соответствии с нормами проводимые исследования должны соответствовать реальным условиям, в которых находится грунт (например – I, II, III фазы) в основании фундаментов. Кроме того, должны соблюдаться основные принципы расчетных моделей сплошной среды, положенных в основу вывода формул для  $R$  и  $P_u$  [4, 5]. При проведении исследований необходимо было доказать, что точность получаемых усредненных значений с помощью мобильного комплекса для определения деформационных и прочностных характеристик ( $\varphi$  и  $C$ ) достигается выше, чем в лабораторных условиях на испытываемых образцах грунта.

Новый вариант предусматривает моделирование, которое должно проводиться с помощью комплексной программы на базе ЭВМ, с использованием реальных грунтовых условий.

При этом предусматривается реальная нагрузка, которая составляется из строительных эталонных блоков. Затем сопоставляется путем масштабирования с помощью математического алгоритма. Считываемая информация обрабатывается и корректируется в период проведения испытаний в режиме реального времени [5, 6].

**Изложение основного материала** исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Одним из главных факторов, влияющих на оценку качества основания при проектировании фундаментов, является отсутствие достоверных характеристик, входящих в состав расчетных формул. Неоднозначные заключения, получаемые

при инженерных изысканиях, чреваты последствиями. Особенно это относится к зданиям проектируемых на неустойчивых грунтах, где малейшие отклонения приводят к значительным расходам на укрепление оснований и разрушающегося фундамента. Это ведет к приостановке строительных работ или полному их прекращению.

Объектом исследования представлены грунты, которые предназначены под застройку сооружений в стесненных городских условиях на территории города Симферополя Крымского региона (Рис. 1).



Рис. 1. Общий вид участка, предназначенного под застройку сооружения, в стесненных городских условиях.

Исследуемые основания сложены структурно-неустойчивыми грунтами лессовидного типа. В период 2014–2016 г. была изучена возможность использования данной территории под строительство и принято решение об использовании на этой территории буронабивных свай. На рисунке 2а показан фрагмент их создания и устройства монолитного ростверка (Рис. 2б).

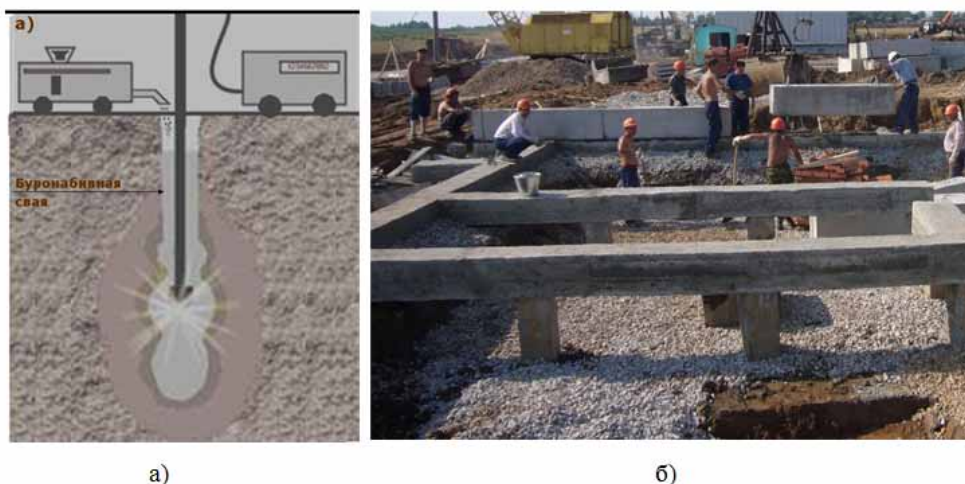


Рис. 2. Фрагмент создания буронабивной сваи: а – стандартным способом, б – с последующим устройством и увязкой монолитным ростверком.

Цель исследований заключалась в усовершенствовании способа испытания и получении достоверных результатов. Для изучения деформационных свойств грунтов был предложен комплекс, оснащенный автоматизированной системой управления процессом испытания в полевых условиях, в котловане и изучения несущей способности свай, опирающихся на подстилающийся слой грунта рисунке 3 системой управления 9.

Комплекс состоит из передающей 1 нагрузки, опирающейся на балку 2, воспринимающего 3 устройства, блока 4, управляемого передачей нагрузки автоматизированной системой 5 на сваю 6, расположенную в грунте 7. При этом процесс испытания управляется через дистанционный пульт 8 управления и взаимосвязан с автоматизированной системой управления 9.

Сущность его заключается в умении передать нагрузку на основание, поддерживать во времени и зафиксировать происходящие перемещения. При возникновении аварийной ситуации дается команда на отключение системы соединенной с ЭВМ. Информация обрабатывается, выдается протокол испытаний на всех этапах загрузки, что исключает вмешательство человеческого фактора и повышает достоверность результатов.

С целью повышения достоверности получаемых результатов и решения задач усовершенствованный способ был оснащен комплексом с автоматизированной системой и математическим алгоритмом, позволяющим оценивать в режиме реального времени происходящие процессы. Так, в отличие от ранее известного комплекса входящая в его состав система АСУ одновременно имеет возможность моделировать процессы в грунте. Этот момент можно увидеть в рабочем экране дисплея в графическом виде с помощью программ CurveExpert (Рис. 4). Оценка достоверности результатов достигалась математической проверкой, что

свидетельствует о наилучшей аппроксимации экспериментальных точек кривой регрессии через коэффициент корреляции  $r = 0,997$ , полученный с помощью программы CurveExpert. Использование этой программы позволило прогнозировать состояние прочностных свойств подстилающего слоя в режиме реального времени.

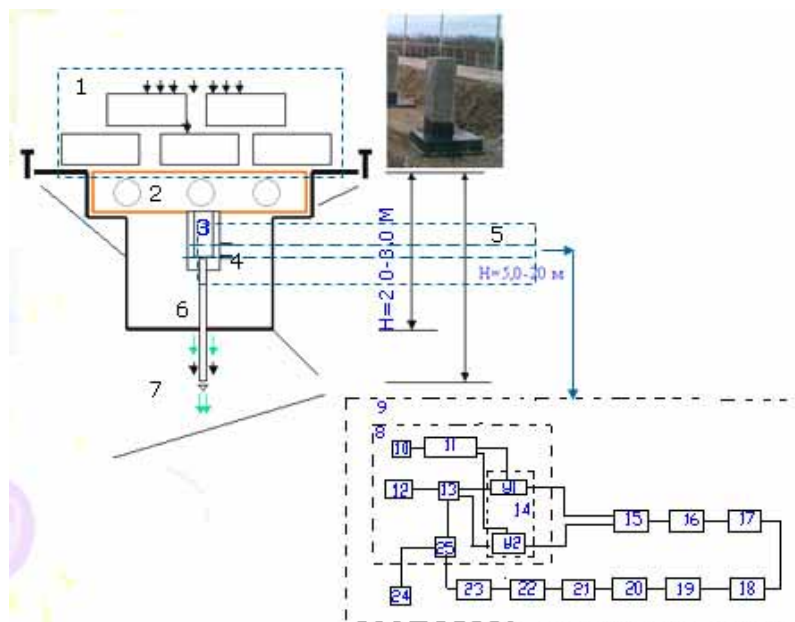


Рис. 3. Комплекс для исследования деформационных свойств грунтов.

Полученные реальные параметры предварительно оцениваются алгоритмом через параметр плотности грунта и передается ЭВМ на управляемую автоматизированную систему на главный алгоритм. На этом этапе идет оценка деформационных свойств основания, взаимосвязанного с системой «сооружение – свая – грунт».

В процессе испытания идут обновления результатов при передаче нагрузки на сваю-грунт в реальном режиме времени. Это позволяет повысить достоверность при регулировании давлением в гидросистеме в течение заданного времени (в зависимости от свойств грунтов) и контролировать перемещение.

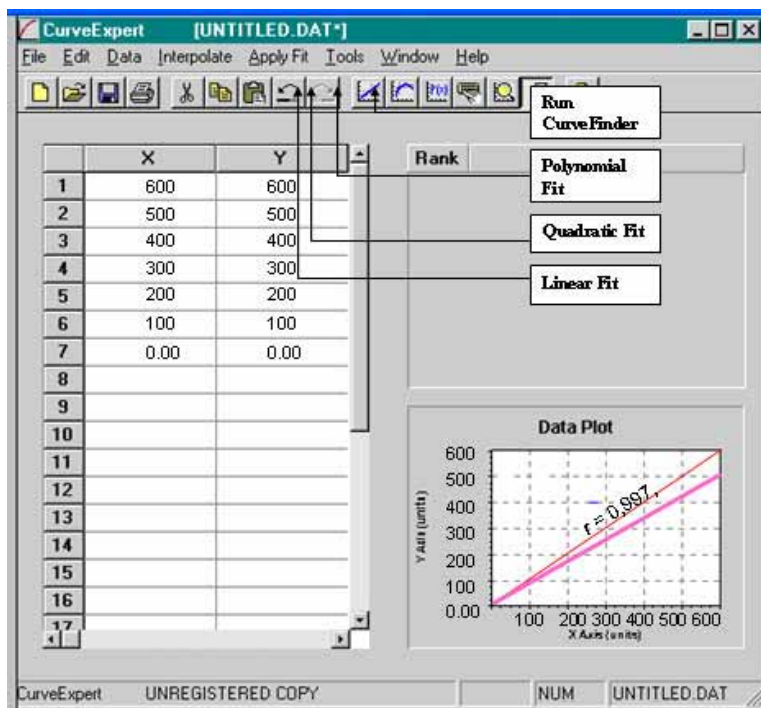


Рис. 4. Рабочее окно программы CurveExpert.

Одним из самых эффективных способов, позволяющих своевременно зарегистрировать начало и активизацию деформационных процессов в элементах сооружений от разрушающего воздействия, является использование автоматизированных систем, которые с высокой достоверностью воспринимают сигналы от деформирующихся объектов.

#### ВЫВОДЫ

В заключение можно сказать следующее:

- с помощью усовершенствованного способа исследований возможно учесть факторы, влияющие на прочностные свойства грунтового массива и материала, из которого изготовлена конструкция;
- в предлагаемом усовершенствованном способе испытаний внесены элементы новизны: усовершенствованы блоки в системе управления процессом испытания;
- введен математический алгоритм, позволяющий оценить состояние грунтового массива, в реальном режиме проведения испытания;
- усовершенствованный способ исследования грунтовых условий изменил методологию испытания;

- в целом способ позволяет проводить испытания (как штамповые, так и свайные, одиночные и кустовые), методом вдавливания пригрузом в грунт;
- при испытании в стесненных условиях предложенный способ не нарушает деформационных свойств конструкций зданий;
- проблемы по укреплению структурно-неустойчивых грунтов предложено решить применением буронабивных свай.

#### **Список литературы**

1. Budhu Muni. Soil Mechanics Fundamentals. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015. 342 p.
2. Bowmen E. T., Fannin R. J. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice // Challenges and Innovation in Geotechnics : Proc. of the 18<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris: France, 2013. pp. 2137–2144.
3. Demchyshyn M., Kril T. Instability of different genetic slope types // 7<sup>th</sup> European Congress on Regional GEOscientific, Cartography and Information System. 2012. Vol. 1. pp. 78–79.
4. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods // Proc. of the XIV Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering. Bratislava: Slovak University of Technology, 2010. pp. 245–253.
5. Иванова М. С., Левченко А. А. Программное обеспечение по обработке опытных данных, получаемых методом экспресс-анализа при определении физико-механических характеристик грунтов // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. 2004. Вип. 60. С. 427–428.
6. Иванова М. С., Иванов А. П. Усовершенствование методики испытаний грунтов в скважинах // Вестник МАНЭБ ДГМИ. 2001. № 1 (37). С. 98.

### **THE METHODS IMPROVEMENT RESEARCHES SOILS IN THE CONSTRAINED URBAN CONDITIONS UNDER BUILDING CONSTRUCTION**

*Ivanova M. S.<sup>1</sup>, Shabelnikova D. S.<sup>2</sup>, Sabelnikov S. I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*State educational institution of higher professional education of Lugansk People's Republic "Donbass State Technical University", Alchevsk*

<sup>2</sup>*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: shabelnikov.s@yandex.ru*

The work is devoted to the improvement of the method of soil investigation in complex engineering-geological conditions and the possibility of their use for the construction of monolithic structures in cramped urban conditions and associated with a deficit of free land areas.

Existing methods of testing make it possible to obtain the results of a deformable base only in the first phase of soil operation, in a non-linear region only in a stabilized state and only under load. In the subsequent phases II-III of the soil (at the onset of instantaneous destruction), in a nonlinear part under the action of the load in time, a method of visual observations is used. At the same time, a complex of labor-intensive manual operations performed by workers and specialists with a great expenditure of time



for computer processing of data is used. Receipt and registration of information by known methods in the second and third phases are impossible.

In order to obtain reliable results for research, an improved method of testing in trenches and pits with the help of a mobile complex was proposed.

In contrast to the known methods of obtaining information, a computational algorithm is introduced into the proposed one, which can perform mathematical analysis with the help of the CurveExpert program based on real data entered into the computer base.

The problem of increasing the stability of structurally unstable soils, forecasting deformations, searching for ways of actual solutions for their strengthening is shown. This is due to the increasing shortage of free land and the location of structures in tight conditions. The most promising in solving this problem is the study of the stress-strain state (VAT) of the soil massif. Therefore, the improvement of test methods and methods for calculating the stability of structurally unstable soils based on the analysis of VAT is an urgent task of soil mechanics.

With the help of an improved method of research, it is possible to take into account factors affecting the strength properties of the soil massif and the material from which the structure is made. In the proposed improved test method, novelty elements are introduced: the blocks in the test process control system have been improved; Introduced a mathematical algorithm that allows to assess the state of the soil massif in the real test mode. An improved method for studying ground conditions has changed the testing methodology. In general, the method makes it possible to carry out tests, both stamped and pile, single and bush, by pressing into the ground with the method of pressing. When tested in cramped conditions, the proposed method does not violate the deformation properties of building structures. Problems to strengthen structurally unstable soils are proposed to be solved using bored piles.

**Keywords:** structurally-unstable a ground, way of trials, cramped conditions, an automated management system

#### References

1. Budhu Muni. Soil Mechanics Fundamentals. Chichester: Wiley-Blackwell (Publ.), 2015. 342 p. (in English).
2. Bowmen E. T., Fannin R. J. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice // Challenges and Innovation in Geotechnics : Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris: France (Publ.), 2013, pp. 2137–2144. (in English).
3. Demchyshyn M., Kril T. Instability of different genetic slope types // 7th European Congress on Regional GEOscientific, Cartography and Information System, 2012, Vol. 1, pp. 78–79. (in English).
4. Zotsenko M., Vynnykov Y., Yakovlev A. Modern practice of determination of strength characteristics of cohesive soils by penetration methods // Proc. of the XIV Danube – European Conf. on Geotechnical Engineering. Bratislava: Slovak University of Technology (Publ.), 2010, pp. 245–253. (in English).
5. Ivanova M. S., Levchenko A. A. Programmnoe obespechenie po obrabotke opytnyh dannyh, poluchaemyh metodom ekspress-analiza pri opredelenii fiziko-mekhanicheskikh harakteristik gruntov // Budivel'ni konstruktsii. Mizhvidomchij naukovu-tekhnichnij zbirk, 2004, V. 60, pp. 427–428. (in Russian).
6. Ivanova M. S., Ivanov A. P. Usovershenstvovanie metodiki ispytaniy gruntov v skvazhinah // Vestnik MANEB DGMI, 2001, no 1 (37), pp. 98. (in Russian).