

УДК 624.13

*к.т.н. Иванова М. С.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, marij4444.44@mail.ru)*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

*Работа посвящена усовершенствованию метода испытаний в лабораторных условиях с определением плотности грунтов в воде и получением информации в режиме реального времени. Получение достоверной характеристики о реальной плотности грунта подтвердило высокую вероятность и эффективность применяемого усовершенствованного метода испытаний грунта за счёт автоматизации сбора информации, исключая влияние человека. Данный параметр входит в расчётные формулы, что позволяет проектировать размер фундамента экономичнее.*

**Ключевые слова:** грунт, методика испытаний, плотность, автоматизация процесса сбора информации.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Проблема устройства и проектирования сооружений с правильным подбором технологии их строительства продолжает оставаться актуальной из-за отсутствия достоверных данных, влияющих на формы и размеры фундаментов с последующим поиском возможных вариантов укрепления грунтового массива.

Возникающие проблемы потребовали усовершенствования методики испытания и методики расчёта, что послужило толчком для проведения исследования причин снижающих достоверность параметров, оказывающих влияние на расчётные данные при проектировании несущей способности неустойчивых грунтов, соответственно, влияющих на деформационные свойства грунтов и сооружений, их продолжительность службы.

Анализ последних достижений и публикаций показал, что к настоящему времени опубликовано большое количество работ, в которых эти проблемы рассматриваются с двух точек зрения: геологии, которая изучает эти процессы, на базе метода натурных наблюдений и существующих методов по использованию опыта, накопленного веками [1–2].

Известными авторами теоретически обосновано прямое использование методов без учёта конкретных условий, что во мно-

гих случаях приводит к серьёзным ошибкам. Причиной тому является разнообразие природной обстановки и типов грунтов, влияние человеческого фактора при обработке параметров, входящих в состав расчётных формул; условий залегания грунтов, а также гидрогеологических условий [1–2].

Анализируя причины и факторы, которые влияют на методику расчёта, наиболее перспективным в решении данной проблемы можно назвать усовершенствование методики испытаний и внесения изменений в методику расчёта с целью получения наиболее достоверных характеристик для проектирования фундаментов.

Поэтому целью исследований является решение проблемы повышения достоверности получаемых параметров, входящих в состав расчётных формул, усовершенствованием методики испытаний, влияющих на методику расчёта при проектировании фундаментов.

Задача исследований состояла в создании новых и совершенствовании существующих технологий испытаний, методов расчёта, а также оценки влияния напряжённого состояния грунтовой массы и её деформационных свойств.

**Изложение материала и его результаты.** Эффективность усовершенствования методики испытаний и методики расчёта, в отличие от базовых стандартных вариан-

тов, изложена в существующих методах, где показано влияние человеческого фактора от использования визуальных наблюдений при их регистрации [1–2].

Для повышения достоверности получаемых характеристик первой задачей стояло составление для управления процессом испытаний алгоритма, не нарушающего модель математической структуры и стандартные требования норм. Вторая задача — обеспечение оборудованием, которое могло бы объединить все процессы и исключить влияние человеческого фактора.

Для решения поставленной задачи были исследованы грунты, представленные суглинками в интервале от 0,5 до 4,5 м, отобранные на территориях Донбасского региона.

Испытания проводились двумя методами: стандартным и предложенным усовершенствованным.

Определение плотности грунтов стандартным методом взвешивания в воде заключалось в следующем. Плотность грунта образцов неправильной формы обычно определялась методом взвешивания в воде на механических лабораторных весах, как показано на рисунке 1.

Полученная информация заносилась в журнал для испытаний и применялась при испытании прочностных характеристик на другом оборудовании.

Достоверность получаемых значений при взвешивании зависела от точности оборудования и влияния фактора человека.

Недостаток известного метода испытания заключён в использовании оборудования, требующего применения ручного труда, и зависимости от человеческого фактора при сборе информации.

При анализе проведённых работ было принято решение устранить этот недостаток усовершенствованием метода испытаний и метода расчёта, что является актуальным вопросом для устранения проблем как факторов, влияющих на достоверность расчётных характеристик.

С целью получения достоверных результатов и уточнения причин их расхождений при исследовании предложен метод испытания грунтов в лабораторных условиях, позволяющий объединить испытания и сбор информации без вмешательства человека в единый комплекс с помощью автоматизированной системы.



1 — образец из грунта с ниткой; 2 — стакан для воды; 3 — опорный мостик; 4 — подставка для опоры (мостика и стакана) для ограничения прикосновения к чашкам весов; 5 — разновесы; 6 — образцы грунта; 7 — весы лабораторные механические

Рисунок 1 Общий вид оборудования для определения плотности грунта

**Сущность метода** заключается в том, чтобы найти возможность в водной среде определить массу испытуемого грунта, не допустив его насыщения водой, и получить достоверную плотность любого грунта.

Задача была решена комплексно усовершенствованием оборудования и введением в расчётный алгоритм стандартной формулы дополнительных параметров, что позволило изменить методологию испытания и методику расчёта.

Отличительная особенность между предложенной методикой расчёта и стандартной [3, (1)] заложена в усовершенствовании методологии. При испытании плотности запарафинированных образцов грунта в воде добавлены дополнительные параметры, которые определяют массу грунта и влаги из параметра  $m_2$ , и массы параметров  $m_3$ ,  $m_4$ , позволяющих получить достоверную плотность грунта в воде, где  $m_2 = m_4 - m_3$  — уточнённая масса грунта на момент взвешивания в воде, которая входит в состав формулы (1):

$$\gamma = \frac{0,9 \times m \times \gamma_w}{0,9 \times (m_1 - m_2) - \gamma_w (m - m_1)}, \quad (1)$$

где  $m$  — масса грунта до запарафинирования, г;  $m_1$  — масса запарафинированного грунта, г;  $m_4, m_2$  — масса запарафинированного грунта в воде, г;  $m_3$  — масса стакана с водой, г;  $m_4$  — масса стакана с водой и запарафинированным грунтом, г;  $\gamma_w$  — плотность воды, г/см<sup>3</sup>; 0,9 — плотность парафина, г/см<sup>3</sup>.

Объектом для исследования послужили грунты, представленные суглинками в интервале от 0,5 до 4,5 метров.

Зная, что плотность ( $\gamma$ ) грунта входит в состав расчётных формул СНиП 2.02.01-83\*, ДСТУ Б В.2.1-2-96, в уравнения для определения значений расчётного сопротивления ( $R$ ) и предельного давления ( $P_u$ ), было принято решение ввести в алгоритм управления формулы

$$R = M_\gamma \cdot b \cdot \gamma + M_c \cdot C, \quad (2)$$

$$P_u = N_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot b \cdot \gamma + N_c \cdot \xi_c \cdot C, \quad (3)$$

где  $M_\gamma$ ,  $M_c$  — коэффициенты, учитывающие грунтовые условия в зависимости от  $\gamma$ , ширины подошвы фундамента  $b$ , нагрузки  $N_\gamma$ ,  $N_c$  и коэффициентов  $\xi_\gamma$ ,  $\xi_c$ , учитывающих конструктивные особенности сооружения.

Значения угла внутреннего трения ( $\varphi$ ) и удельного сцепления ( $C$ ) находятся системой путём решения уравнения при определении  $R$  и  $P_u$ , имеющего вид

$$\frac{N_c \cdot \xi_c \cdot (R - M_\gamma \cdot b \cdot \gamma)}{M_c} + N_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot b \cdot \gamma - P_u = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) выполнялось последовательной подстановкой в него из таблиц значений  $M_\gamma$ ,  $M_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_c$  с учётом корректировки плотности грунта  $\gamma$  в процессе эксперимента и различных  $\varphi$  до практического удовлетворения.

Для грунтов оснований фундаментов угол внутреннего трения находится в интервале значений от  $\varphi=0^\circ$  (пластичные глины) до  $\varphi=45^\circ$  (пески). Значения  $\varphi$  определяются на практике с точностью до одного градуса.

Эти обстоятельства позволяют в автоматизированном режиме вычислить уравнения (1–4) с последующей распечаткой графических построений зависимостей предельного сопротивления  $R=f(b)$  и осадки  $S=f(P_u)$ .

Дальнейшее техническое решение вопроса зависело от оборудования, которым необходимо было управлять, оценивать ситуацию и передавать эту информацию для обработки. Для этой цели был введён автоматизированный комплекс, управляющий процессом испытаний и сбора информации. В отличие от стандартного метода и применяемого оборудования запарафинированный грунт взвешивается на электронных весах, а полученная информация передаётся автоматически в блок «А, Б, В». Соответственно, методика испытаний грунтов в лабораторных условиях по определению плотности ( $\gamma$ ) грунта в воде [3] изменяет методологию испытаний и методику исследования (рис. 2).

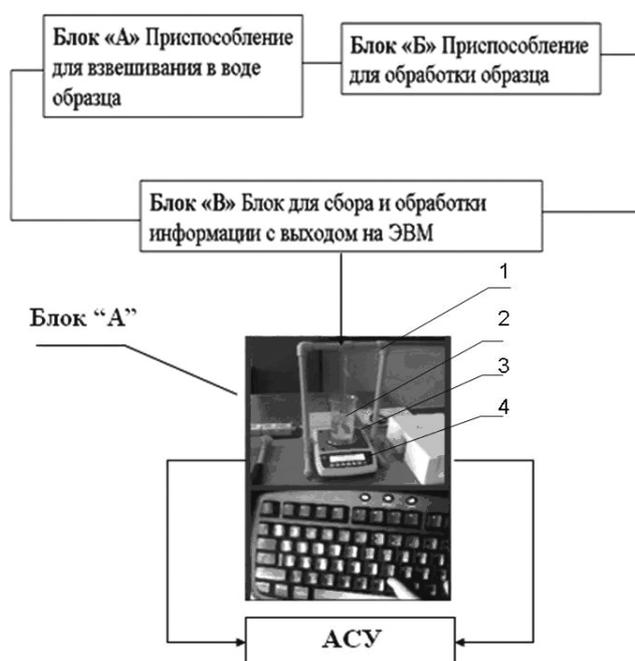


Рисунок 2 Определение плотности грунта взвешиванием в воде

На рисунке 2 приведён предложенный метод, который содержит: комплекс [3, 4], состоящий из автоматизированной системы управления (АСУ) и дополнительных усовершенствованных блоков (А, Б, В), передающих информацию на дисплей с последующей распечаткой.

АСУ взаимодействует с ними через главный алгоритм, управляя технологическим процессом при испытании, где введена дополнительная характеристика — плотность грунта, определяемая в воде.

Определение характеристики производится через самостоятельно действующий блок «А», взаимосвязанный с блоками «Б», «В».

**Блок «А»** — приспособление для взвешивания в воде образца, содержит: стойку 1 П-образную, имеющую захват (нумерация условно не показана) для подвешивания образца 2, стеклянный стакан 3 с водой, весы лабораторные электронные 4, соединённые с блоком «Б» и блоком «В», [3, 4, см. рис. 2].

**Блок «Б»** — приспособление для обработки образца содержит: песчаную баню; ёмкость для разогрева парафина (условно не показано).

**Блок «В»** — входит в состав ЭВМ и выполняет сбор и обработку информации с выходом на дисплей и на АСУ.

Вся информация передаётся на ЭВМ, дисплей и в АСУ. Это даёт возможность определить через дополнительно введённый параметр влажность и плотность грунта в воде, оценить прочностные характеристики ( $E, S, \varphi, C$ ), ( $a.R.$ ), взаимосвязанные между собой через плотность грунта ( $\gamma$ ).

Определяемый параметр влияет на достоверность прочностных характеристик ( $E, S, \varphi, C$ ), входящих в состав расчётной формулы по определению нормативного давления на грунт ( $R$ ).

Параметр удельного сопротивления ( $C$ ), в зависимости от угла внутреннего трения  $\varphi$  и плотности  $\gamma$  грунта, определяется путём последовательной подстановки коэффициентов, зависящих от конструктивных особенностей сооружения. Решение примет вид

$$C = \frac{R - M_q \cdot h \cdot \gamma - M_\gamma \cdot b \cdot \gamma}{M_c}. \quad (5)$$

После подстановки в уравнение (5) формула (4) преобразуется в следующий вид:

$$M_q \cdot \xi_q \cdot h + N_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot b_\gamma + N_c \cdot \xi_c \cdot \frac{R - M_q \cdot h \cdot \gamma - M_\gamma \cdot b \cdot \gamma}{M_c} - P_u = 0, \quad (6)$$

где принцип расчёта остаётся таким же, как и у формулы (4), учитывается лишь глубина  $h > 0$  заложения и ширина  $b$  проектируемой подошвы фундамента, что является новым при определении расчётного и предельного сопротивления грунта с учётом реальной плотности (в процессе испытания корректировалась).

Усовершенствованная методика позволяет повысить точность определения плотности грунта взвешиванием в воде за счёт устройства, которое снабжено электронными весами, П-образной стойкой, выполненной из пластмассово-алюминиевого материала. В верхней части П-образной стойки расположен захват для подвешивания образца, соединённого ниткой, где на одном конце выполнена петля, а на другом подвешен образец из грунта. Предложенная конструкция устройства позволяет исключить влияние человека на точность измерения.

Такая методология, с применением комплексного оборудования и вычисления, обработки результатов прочностных ха-

рактеристик в зависимости от плотности грунта и его влаги, исключает вмешательство человека при сборе и обработке информации, сокращает время на её обработку, обеспечивая большую достоверность получаемых результатов.

**Выводы.** В заключение можно сказать следующее:

1. С помощью усовершенствованной методики для определения прочностных характеристик возможно повысить точность определения плотности грунта взвешиванием в воде за счёт блока «А», взаимосвязанного с блоками «Б» и «В» через ЭВМ и АСУ, которая управляет ими через главный алгоритм, технологическим процессом при испытании.

2. Обновлён математический аппарат в виде алгоритма, позволяющего оценить плотность грунтового массива, входящего в состав расчётных формул, при проектировании фундаментов.

3. В процессе испытаний при оценке общей ситуации алгоритм способен корректироваться, что является новым при определении расчётного и предельного сопротивления грунта с учётом реальной плотности.

4. Методика может быть использована в области строительства при проведении инженерно-геологических изысканий.

### Библиографический список

1. Budhu, M. *Soil Mechanics Fundamentals [Text]* / M. Budhu. — Publishing house : Wiley-Blackwell, 2015.
2. Bowmen, E. T. *General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice [Text]* / E. T. Bowmen, R. J. Fannin // *Challenges and Innovation in Geotechnics : Proc. of the 18<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. — Paris, France, 2013. — P. 2137–2144.
3. Пат. 87778 Україна, МПК G01N 9/08. Пристрій для визначення щільності ґрунту зважуванням у воді / М. С. Іванова ; заявник і власник патенту Донбаський держ. техн. ун-т. — № U201306140 ; заявл. 17.05.13 ; опубл. 25.02.00, Бюл. № 4.
4. Іванова, М. С. Программне забезпечення по обробці опытних даних, получаемых методом експресс-анализа при определении физико-механических характеристик ґрунтів [Текст] / М. С. Іванова, А. А. Левченко // *Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник*. — К. : НДІБК, 2004. — № 60. — С. 427–428.

© Іванова М. С.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ГиПС ИСА  
и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,  
к.т.н., доц., и. о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.*

*Статья поступила в редакцию 11.09.18.*

**к.т.н. Иванова М. С.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, [marij4444.44@mail.ru](mailto:marij4444.44@mail.ru))

### **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ҐРУНТУ**

*Робота присвячена вдосконаленню методу випробувань в лабораторних умовах з визначенням щільності ґрунтів у воді і отриманням інформації в автоматизованому реальному режимі. Отримання достовірної характеристики про реальну щільність ґрунту підтвердило високу ймовірність і ефективність застосовуваного удосконаленого методу випробування ґрунту за рахунок автоматизації збору інформації, виключаючи вплив людини. Цей параметр входить в розрахункові формули, що дозволяє проектувати розмір фундаменту економніше.*

**Ключові слова:** ґрунт, методика випробувань, щільність, автоматизація процесу збирання інформації.

**PhD Ivanova M. S.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

### **IMPROVING THE METHOD FOR DETERMINING THE SOIL STRENGTH CHARACTERISTICS**

*The work is devoted to improving the methodology of testing in laboratory conditions while determining the density of soils in water and obtaining the information in automatic mode to ensure the reliability of the characteristics, excluding the human influence on making changes to the design formulas for designing the dimensions of the foundations being an important task of soil mechanics.*

**Key words:** soil, test methods, density, process automation for collecting information.