

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Болдырев Г.Г., Пензенский университет архитектуры и строительства, ООО
«НПП-Геотек»

Мельников А.В., аспирант Пензенского университета архитектуры
и строительства

Новичков А.Г., аспирант Пензенского университета архитектуры
и строительства

Аннотация: в статье рассмотрены методы интерпретации данных лабораторных испытаний грунтов с целью определения деформационных характеристик дисперсных грунтов. Приведены процедуры определения модулей деформации из компрессионных и трехосных испытаний грунтов. Рассмотрено применение модулей деформации при расчете осадок фундаментов.

Ключевые слова: лабораторные испытания; интерпретация данных испытаний; компрессионные и трехосные испытания; расчетный и нормативный модуль деформации; упругий модуль деформации; коэффициенты надежности; методы расчета осадки фундаментов

Основным параметром, характеризующий сжимаемость грунтов является модуль общей деформации E . Этот модуль используется при расчете осадки фундаментов методом послойного элементарного суммирования [7] и называется нормативным модулем деформации, который определяют с коэффициентом надежности $\gamma_g=1$ [5]. Кроме модуля деформации, к параметрам характеризующим сжимаемость и начальное напряженное состояние грунта относятся: коэффициент Пуассона ν ; давление предварительного уплотнения σ_p ; степень переуплотнения OCR ; модуль сдвига G ; модуль объемной деформации K ; коэффициент бокового давления в состоянии покоя K_o ; коэффициент первичной консолидации c_v ; коэффициент вторичной консолидации c_α ; предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов R_c .

Эти характеристики определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 12248 [4] и СП 47.13330 [6]. В тоже время СП 22.13330 [7], СП 23.1330 [8], СП 24.13330 [9], СП 25.13330 [10], МДС [11], ПиНАЭ 5.10-87 [12] допускают применять другие параметры, характеризующие взаимодействие фундаментов с грунтом основания и установленные опытным путем (удельные силы пучения при промерзании, коэффициент жесткости основания и пр.). В некоторых случаях, когда применяются численные

методы расчета оснований, требуются иные параметры, количество и вид которых зависят от принятой модели грунта и программы расчета [1,13,17].

В соответствии с основными нормативными [7-10] и ведомственными документами [11,12] расчет оснований зданий и сооружений следует выполнять по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по деформациям. Расчет деформации основания обязателен во всех случаях, за исключением скальных оснований.

Расчет по деформациям заключается в определении осадки фундамента и согласно СП 22.13330 выполняется с использованием расчетной схемы (рис. 1) и выражения:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (1)$$

где E_i – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа; $E_{e,i}$ – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа.

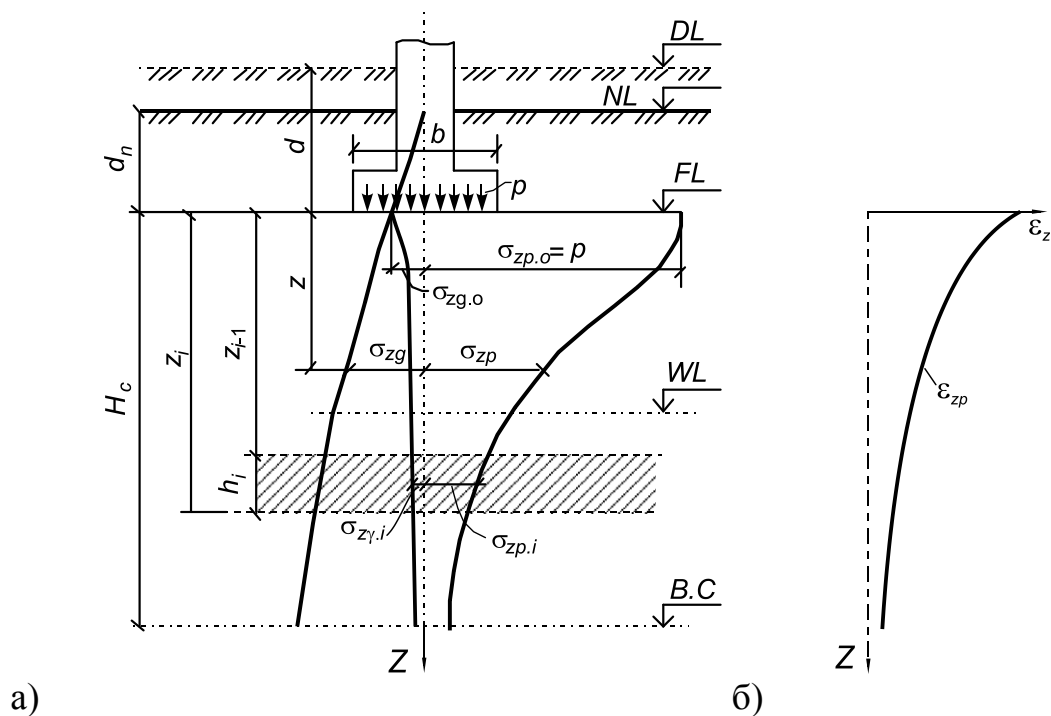


Рис. 1. Расчетная схема к определению осадки фундамента (а) и эпюра вертикальной деформации (б)

Как следует из формулы (1) для расчета осадки методом послойного суммирования необходимо знать не только напряжения от нагрузки и собственного веса грунта, но и определить два модуля деформации. Формула (1) используется в том случае, если давление под подошвой фундамента не превышает расчетного сопротивления грунта. Расчетное сопротивление грунта (СП 22.13330) находится с использованием прочностных характеристик грунта ϕ , c и удельного веса грунта γ . Таким образом, для расчета осадки с использованием формулы (1) необходимо

определить следующие характеристики грунтов, приведенные в табл. 1. Эти характеристики должны быть определены на глубину не менее сжимаемой толщи грунта H_c (рис. 1а).

Таблица 1

Характеристики грунтов, необходимые для расчета осадки методом СП 22.13330

| Наименование характеристики | Обозначение | Размерность |
|---------------------------------|-------------|-------------------|
| Модуль деформации | E | кПа |
| Модуль деформации при разгрузке | E_e | кПа |
| Коэффициент Пуассона | ν | – |
| Угол внутреннего трения | φ | град. |
| Силы удельного сцепления | c | кПа |
| Удельный вес грунта | γ | кН/м ³ |

В последние годы чаще стали выполнять расчет осадки фундаментов с использованием нелинейной механики грунтов. Основное преимущество заключается в возможности определения осадки фундаментов при давлении под подошвой фундаментов более расчетного сопротивления грунта, в отличие от метода послойного суммирования (1). В этом случае используются более сложные модели грунта, с большим количеством определяемых опытным путем характеристик грунтов [13]. В табл. 2, для примера, приведена сводка характеристик грунтов (параметров модели), которые необходимо определить, если требуется выполнить расчет осадки с использованием упрочняющейся модели грунта программы PLAXIS [17] на однородном песчаном основании, а на рис. 2, результаты испытаний песка в условиях трехосного и компрессионного сжатия.

Таблица 2

Параметры модели грунта с упрочнением [13, 17]

| Наименование параметра | Обозначение | Значение | Единица измерения |
|---|------------------|----------|-------------------|
| Общие свойства | | | |
| Модель материала « <i>Hardening soil</i> » | Model | | |
| Тип поведения материала | Type | Drained | |
| Удельный вес выше уровня грунтовых вод | γ_{unsat} | 15,2 | кН/м ³ |
| Параметры грунта | | | |
| Секущий модуль деформации при консолидированно-дренированном испытании при трехосном сжатии | E_{50}^{ref} | 26000 | кПа |
| Касательный модуль деформации при испытаниях в одометре | E_{oed}^{ref} | 19000 | кПа |
| Модуль деформации при разгрузке | E_{ur}^{ref} | 110000 | кПа |
| Показатель степени зависимости модуля деформации от напряжений | m | 0,80 | - |

| | | | |
|--|--------------------|-------|-------|
| Сцепление | c'_{ref} | 1,0 | кПа |
| Угол внутреннего трения | φ' | 35,0 | град. |
| Угол дилатансии | ψ | 4,7 | град. |
| Коэффициент Пуассона | ν | 0,3 | - |
| Максимально возможное растягивающее напряжение | $\sigma_{tension}$ | 0,0 | кПа |
| Начальный коэффициент пористости | e_0 | 0,750 | - |
| Минимальный коэффициент пористости | e_{min} | 0,563 | - |
| Максимальный коэффициент пористости | e_{max} | 0,850 | - |
| Параметр асимптоты девиатора напряжений | R_f | 0,85 | - |
| Параметры интерфейсного элемента | | | |
| Коэффициент снижения прочности в интерфейсе | R_{inter} | 0,29 | - |
| Параметры начального напряженного состояния | | | |
| Коэффициент бокового давления грунта | K_0 | 0,426 | - |
| Коэффициент переуплотнения | OCR | 1,0 | - |
| Давление предварительного уплотнения | σ_p | 0,0 | кПа |

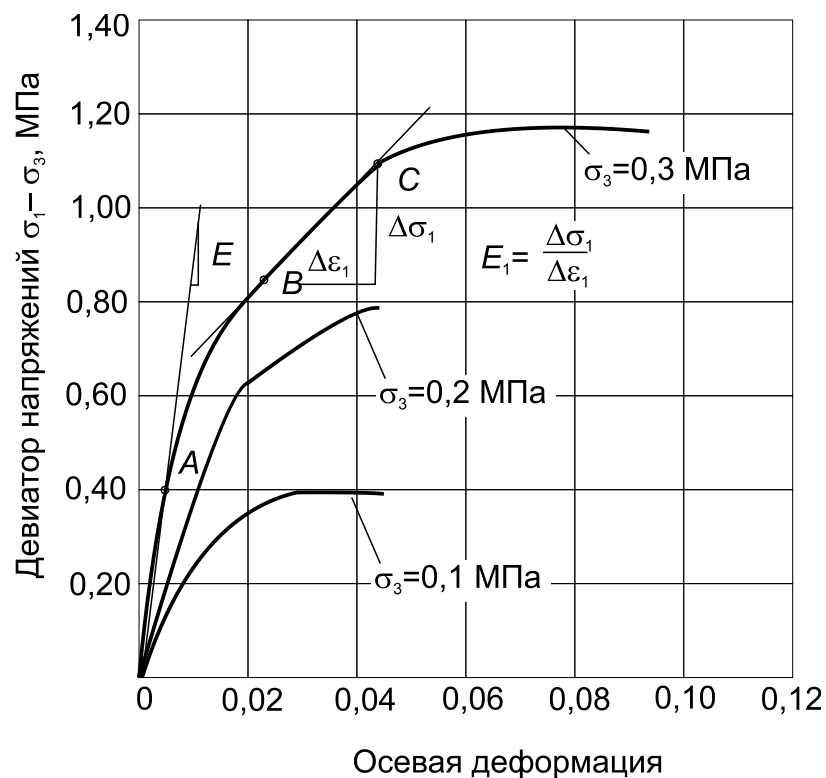


Рис. 2. Результаты испытаний в условиях трехосного сжатия

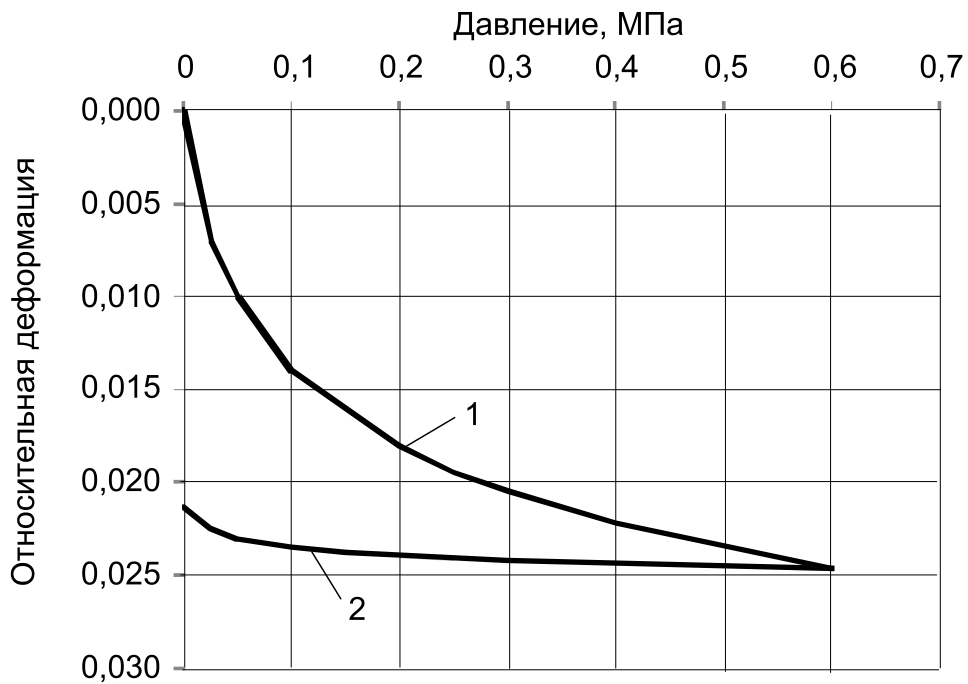


Рис. 3. Результаты испытаний в условиях компрессионного сжатия:
1 – ветвь первичного нагружения, 2 – ветвь разгрузки

Секущий модуль упругости E_{50}^{ref} и модуль упругости на цикле разгрузка – повторное нагружение E_{ur}^{ref} являются величинами, зависящими от сцепления c , угла внутреннего трения φ , наименьшего главного напряжения σ_3 , и определяются из трехосных испытаний по формулам

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi + \sin \varphi \sigma_3}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m; \quad (2)$$

и

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi + \sin \varphi \sigma_1}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m, \quad (3)$$

где m – показатель степени, предложенный Ohde (1937) [16] для оценки изменения модуля деформации при изменении действующего напряжения по отношению к атмосферному давлению $p_{ref} = 100$ кПа. Параметр m для большинства грунтов изменяется в пределах 0,..1.

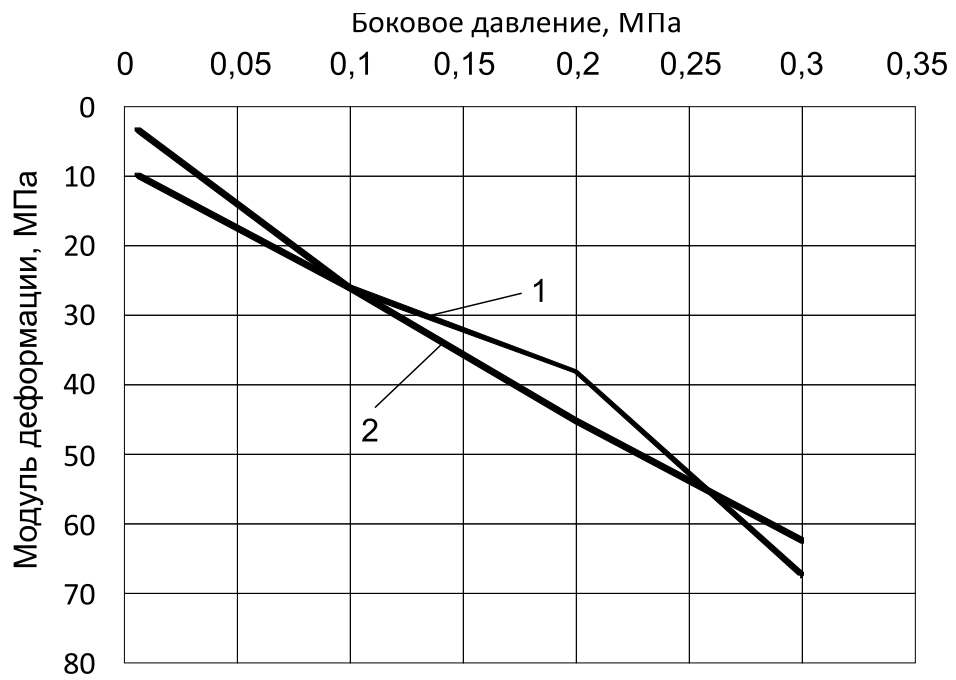


Рис. 4. Трехосные модули деформации:
1 – лабораторный и 2 – вычисленный по формуле (2)

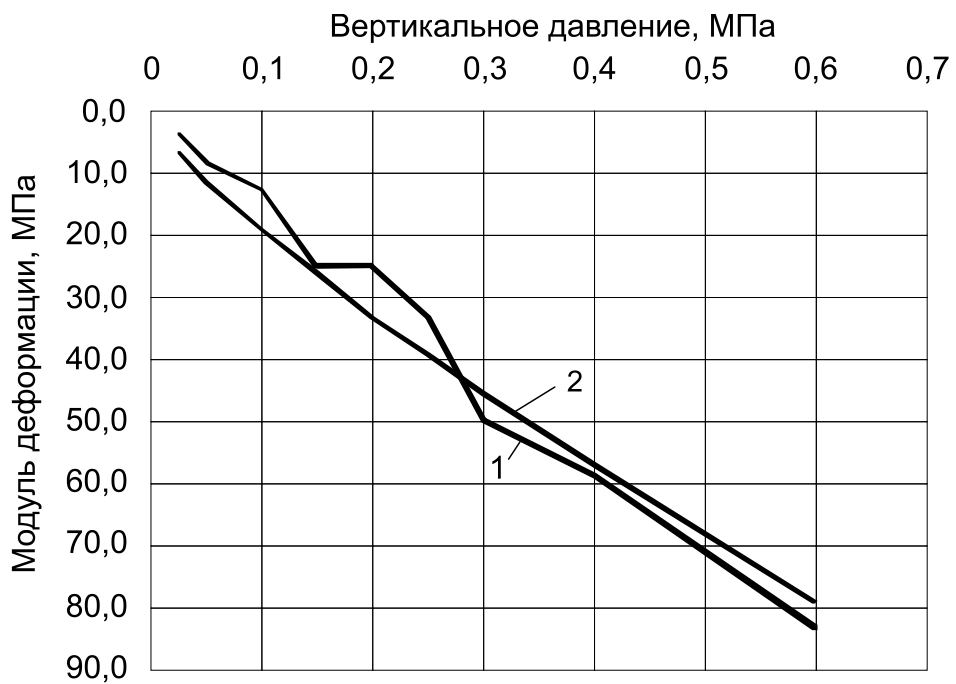


Рис. 5. Одометрические модули деформации:
1 – лабораторный и 2 – вычисленный по формуле (3)

Как следует из выражения (1) для расчета осадки фундаментов следует определить два модуля деформации – модуль деформации E на первичной ветви (OABE, рис. 6в) нагружения и модуль деформации E_e на ветви вторичного (BCD, рис. 6в) нагружения. Модули деформации определяют путем испытания образцов грунта в условиях одномерной (компрессионное сжатие) и осесимметричной деформации (трехосное сжатие). Если провести испытания образцов грунта в условиях плоской деформации, то получим значение модуля деформации, отличающееся от предыдущих. Если дополнительно провести испытания образцов в условиях истинного трехосного сжатия, то мы получим еще один модуль деформации. Эти различия обусловлены видом напряженного состояния, которое возникает в образцах грунта при их испытании в приборах различной конструкции [1]. Таким образом, мы насчитали шесть модулей деформации. Однако это еще не все модули. Если провести испытания в условиях трехосного сжатия по траектории сжатия и расширения (рис. 6а,б), то получим различные значения модулей деформации для одного и того же грунта.

Полевые испытания также дают различные значения модуля деформации. Наибольшее значение получим, если проведем испытания плоским круглым штампом с кольцевой пригрузкой, при этом модуль деформации зависит от площади штампа, возрастая с ее увеличением. Испытания другими полевыми методами: прессиометром, динамическое и статическое зондирование, винтовой или плоский штампы в скважинах также показывают неэквивалентные значения. Если учесть, что на практике наибольшее применение находят методы испытаний винтовым штампом, прессиометрия и статическое зондирование, то получаем еще три дополнительных значения модуля деформации. Таким образом, имеем девять величин модуля деформации. Однако если учесть, что грунты по своей природе являются анизотропной средой, то следует еще добавить два модуля деформации, характеризующий сжимаемость грунта в горизонтальном направлении.

Отсюда и вытекает основной вопрос, какие же модули деформации следует определять и применять при расчете осадки фундаментов?

В теоретической механике грунтов, как и в механике сплошной среды, также используется несколько модулей деформации. Общим для них является то, что они являются параметрами закона Гука:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma, \quad (4)$$

где ε – линейная деформация; σ – напряжение (кПа); E – модуль деформации (кПа).

Как видно из уравнения (2), модуль деформации является коэффициентом пропорциональности зависимости деформации от напряжения и его можно найти из опытов используя выражение:

$$\Delta\varepsilon = \frac{1}{E} \Delta\sigma, \quad (5)$$

где $\Delta\varepsilon$ – приращение линейной деформации; $\Delta\sigma$ – приращение напряжения.

Грунты только на начальном участке (рис. 2) зависимость $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$, показывает линейную связь между напряжениями и деформациями, которая имеет вид подобный уравнению (4). При определенном уровне напряжений деформирование становится нелинейным (точка А, на рис. 2) и каждому последующему приращению деформации соответствует свой модуль деформации. Например, на участке ВС (рис. 2) это модуль E_1 и т.д. Эти модули называются секущими модулями деформации в определенном диапазоне наибольшего главного напряжения. Чем больше напряжение, тем ниже модуль деформации. Наибольшее значение модуля деформации получают при уровне деформации, соответствующей начальному участку кривой деформирования. Этот модуль называют упругим модулем деформации. Его находят, как тангенс угла наклона касательной к начальному линейному участку зависимости $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$. Обычно его обозначают индексом E (см. рис. 2, бв). В зарубежных источниках его часто называют модулем Юнга.

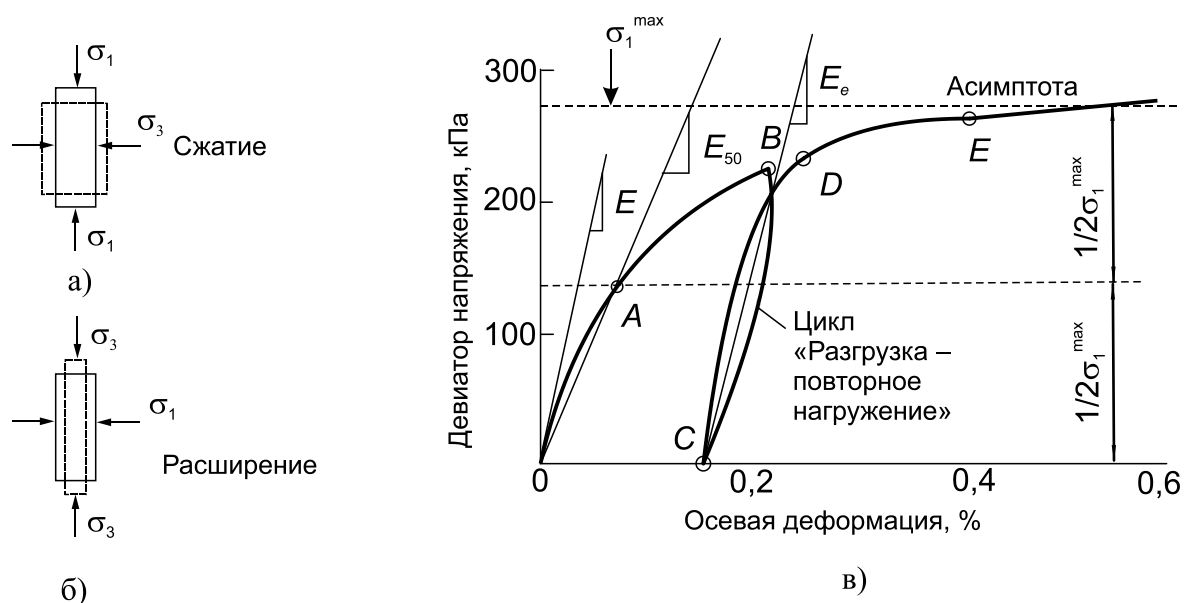


Рис. 6. К определению модулей деформации в условиях трехосного сжатия: а – траектория сжатия; б – траектория расширения; в – зависимость деформации от напряжения

Таким образом, упругий или начальный модуль деформации находят в пределах линейного участка зависимости «деформация – напряжение» исходя из предположения, что при уровне относительной деформации менее 10^{-2} грунт ведет себя как упругое тело, без возникновения остаточных деформаций, как на цикле «разгрузка – повторное нагружение».

Модулем деформации называют тот же коэффициент пропорциональности (зависимость 4), но при большем уровне деформации, когда при разгрузке возникает остаточная деформация. Если провести секущую из начала координат к любой точке кривой деформирования, то на начальном участке она будет совпадать с линейной частью зависимости

«деформация – напряжение», а далее будет иметь различные углы наклона и соответственно из выражения (3), мы получим различные модули деформации. Этот модуль деформации зависит от величины действующего напряжения и уменьшается с ростом последнего. Данный модуль называют модулем деформации, иногда модулем общей деформации или секущим модулем деформации E_k (рис. 2в). Обозначают его по-разному, в зависимости от используемого решения. В СП 22.13330 он обозначен как E и называется модулем деформации.

Если теперь, на какой-то ступени нагружения, разгрузить полностью образец грунта, уменьшив напряжения до нуля, а затем увеличить их до прежнего уровня, то опять же угол наклона секущей характеризует модуль деформации, который называют модулем деформации на вторичной ветви нагружения, обозначая его как E_e (СП 22.13330). Величина этого модуля практически равна величине упругого модуля деформации. С большой осторожностью можно принять, что $E_e = (5 - 6)E$ (СП 22.13330).

Модуль деформации из испытаний в условиях трехосного сжатия может быть найден используя зависимости, которые показаны на рис. 2. В зависимости от схемы трехосных испытаний, данная зависимость может быть получена в условиях консолидированно-дренированных испытаний, консолидированно-недренированных или из условий неконсолидированно-недренированных испытаний. На практике используются только результаты консолидированно-дренированных или консолидированно-недренированных испытаний. В последнем случае начальные значения модулей деформации E совпадают.

Для того чтобы найти модуль деформации E_e необходимо знать значение напряжений разгрузки, при достижении которых следует выполнить разгрузку образца грунта, а затем вновь его нагрузить создавая таким образом вторичное нагружение после разгрузки. В СП 22.13330 говорится, что разгрузку грунта следует учитывать, если глубина котлована более 5 м. На рис. 6в этот цикл «разгрузка повторная нагрузка» обозначен петлей ВСД. Напряжения разгрузки являются функцией собственного веса грунта вынутаго при устройстве котлована (рис. 7) и определяются произведением удельного веса γ грунта на глубину h : $\sigma_p = \gamma h$.

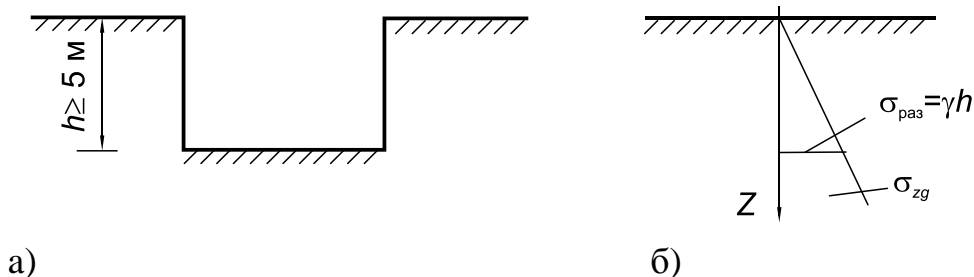


Рис. 7. К определению напряжений разгрузки:
а – котлован; б – эпюра напряжений

Из рассмотренного следует, что модуль деформации не является физической характеристикой грунта и для одного и того же грунта будет иметь различные значения в зависимости от уровня действующего напряжения или деформации. Можно, конечно, сказать, что начальный или упругий модуль деформации характеризует жесткость грунта и, что чем больше жесткость (например, твердая глина), тем больше упругий модуль деформации.

Модули деформации допускается определять, используя различные методы лабораторных [1] и полевых испытаний грунтов [2]. Из испытаний в условиях компрессионного сжатия находим компрессионный модуль деформации E_k (рис. 8а) и одометрический модуль деформации E_{od} (рис. 8б).

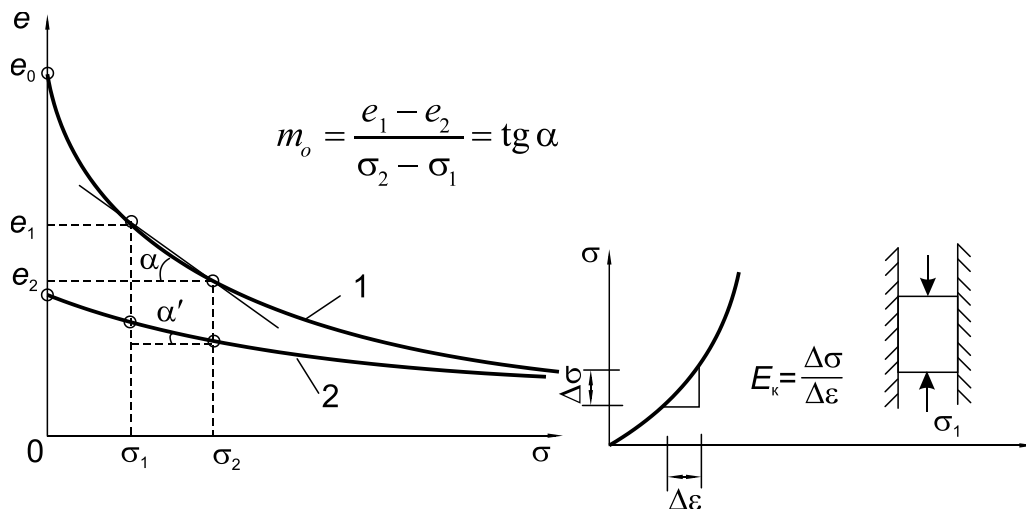


Рис. 8. К определению модулей деформации из испытаний в условиях компрессионного сжатия:
а – компрессионный модуль; б – одометрический модуль

$$E_k = \frac{\beta}{m_v}, \quad (6)$$

где $\beta = \frac{1 - 2\nu^2}{1 - \nu}$; $m_v = \frac{m_o}{1 + e_o}$; ν – коэффициент Пуассона; m_o – коэффициент сжимаемости; e_o – начальное значение коэффициента пористости. Коэффициент β учитывает поперечное расширение грунта, которое имеет место в массиве грунта под фундаментами.

Одновременно с компрессионным модулем деформации можно найти одометрический модуль деформации, используя для этого зависимость осевой деформации от нормального давления $\epsilon = f(p)$, которая показана на

рис. 8б. Одометрический модуль деформации находится также в выбранном интервале нормального давления:

$$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}. \quad (7)$$

Между компрессионным и одометрическим модулем деформации существует связь:

$$E_k = \beta E_{oed}. \quad (8)$$

Так как модули деформации как компрессионный, так и трехосный зависят от выбранного интервала нормального давления, то их значения в i -ом слое грунта (см. рис.1а) следует определять используя значения вертикальных сжимающих напряжений σ_z от давления p под подошвой проектируемого фундамента. Как видно из рис. 9, модули деформации определяют с учетом как напряжений от собственного веса грунта $z\gamma$, так и напряжений σ_z от внешней нагрузки, на заданной глубине под фундаментом.

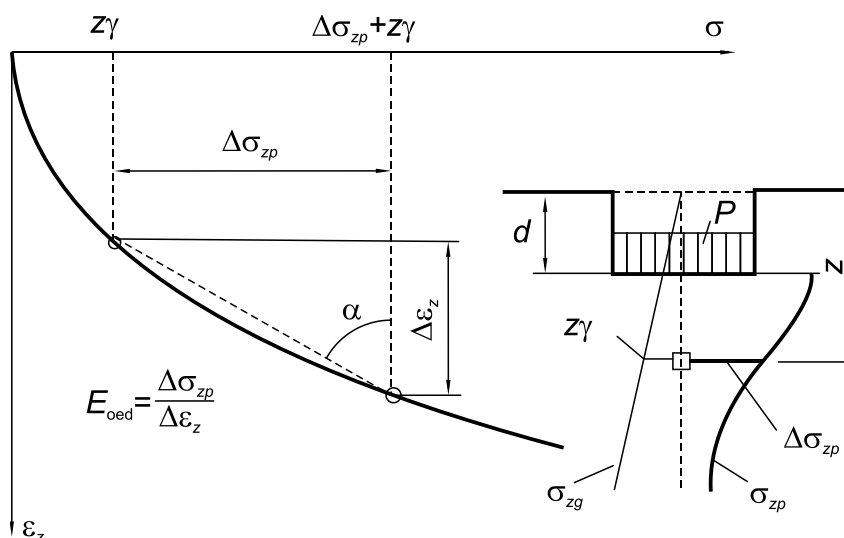


Рис. 9. К определению одометрического модуля деформации

Так как на стадии лабораторных испытаний грунтов напряжения σ_z не известны, то в отчете следует приводить значения модуля деформации для всех интервалов нормального давления (компрессия) и вертикального напряжения σ_1 (трехосное сжатие). Это позволит использовать в расчетах осадки фундаментов различные значения модулей деформации, так как показано на рис. 9.

Компрессионный модуль деформации E_k является величиной переменной, зависящей от значения нормального давления σ . При расчете осадки с использованием компрессионного модуля деформации его значение принимают из интервала нормального давления, равного дополнительным напряжениям σ_{zp} в рассматриваемом слое грунта в пределах сжимаемой толщи (СП 22.13330, раздел 5.6.31). Поэтому в инженерно-геологических

отчетах следует приводить не одно значение компрессионного модуля деформации в интервале нормального давления 0,1-0,2 МПа, а во всех исследованных интервалах нормального давления.

Из лабораторных методов испытаний только метод трехосного сжатия более реально моделирует поведение грунта при действии внешней нагрузки, так как в испытаниях учитывается начальное напряженное состояние от собственного веса. Если провести испытания образцов грунта при различном всестороннем давлении (среднем напряжении $\sigma_{cp} = (\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3$) то результаты испытаний можно представить в виде следующей зависимости:

$$E = E_o \left(\frac{\sigma_{cp}}{P_a} \right)^\alpha, \quad (9)$$

где E_o – модуль упругости; σ_{cp} – среднее нормальное напряжение; P_a – атмосферное давление; α – параметр, зависящий от плотности грунта (коэффициента пористости).

Зависимость (9) показывает влияние среднего напряжения на модуль деформации грунта, который нелинейно возрастает с ростом среднего напряжения или глубины отбора монолитов грунта.

Как уже было отмечено ранее, модуль деформации изменяется с ростом напряженного состояния в рассматриваемой точке грунта, что наглядно видно из рис. 10. На рис. 10 показано изменение модуля сдвига от начального G_o до минимального, при деформации сдвига более 0,1%. В области малых деформаций сдвига «жесткость» грунта характеризуется наибольшим значением модуля сдвига, который является чисто упругим модулем. С ростом деформаций сдвига модуль сдвига уменьшается, достигая своего минимального значения при достижении предельной нагрузки.

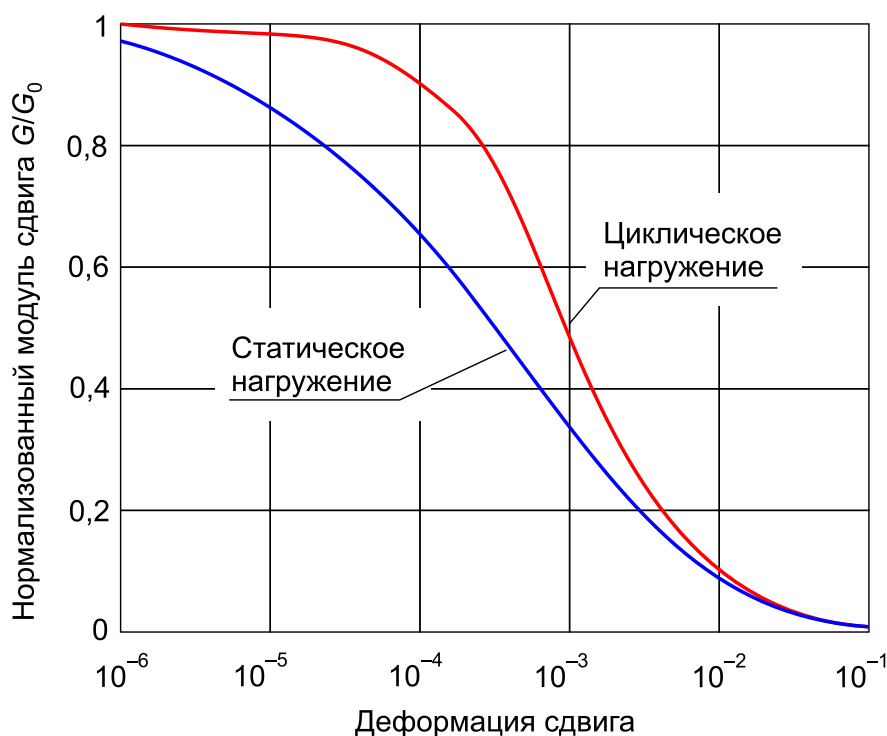


Рис. 10. Изменение нормированного модуля сдвига с ростом деформации сдвига [15, 18]

Упругий модуль сдвига можно найти из лабораторных испытаний грунтов в условиях трехосного сжатия. Аналитическое выражение для определения G_o песчаных грунтов имеет следующий вид:

$$G_o = A \frac{(B - e)}{1 + e} (\sigma'_c)^{1/2}, \quad (10)$$

где σ'_c – среднее (октаэдрическое) нормальное напряжение; e – коэффициент пористости. Для значений G_j и σ'_c в кПа, параметры A и B находятся:

- для песка с окатанными частицами, $A = 6908$ и $B = 2,17$;
- для песка с угловатыми частицами, $A = 3230$ и $B = 2,97$.

Для глинистых грунтов подобное выражение было предложено Hardin and Drnevich (1972) [14]:

$$G_o = A \frac{(B - e)}{1 + e} OCR^n (\sigma'_c)^{1/2}, \quad (11)$$

где G_o и σ'_c в кПа; OCR – коэффициент переуплотнения; n – коэффициент, зависящий от числа пластичности.

Далее зная начальное значение модуля сдвига G_o и уровень деформации сдвига в i -м слое грунта под фундаментом из рис. 5 можно найти соответствующее значение упругого модуля деформации E_o по формуле

$$E_o = 2G_o(1 + \nu), \quad (12)$$

где ν – коэффициент Пуассона; G_o – упругий модуль сдвига.

Данную процедуру можно применять на практике, но при одном условии, если вы имеете зависимость, которая приведена на рис. 10 и знаете уровень

деформации сдвига в основании проектируемого здания или сооружения. Естественно, что эта задача не для геолога, а для геотехника, которую несложно решить, имея результаты испытаний.

В большинстве случаев геологам не приходится определять упругие модуль деформации и модуль сдвига, так как при проектировании оснований зданий и сооружений преимущественно применяются стандартные методы расчетов, приведенные в соответствующих сводах правил [6-10]. Как видно из формулы (1) осадку можно рассчитать, если известны два модуля – модуль деформации E по ветви первичного нагружения и для случая зданий с подземной частью, модуль деформации по ветви вторичного нагружения E_e . Эти модули можно найти из испытаний образцов грунта в компрессионном приборе или приборе трехосного сжатия.

Остается нерешенным еще один вопрос, как получить расчетный модуль деформации из результатов лабораторных испытаний грунтов?

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов определяются путем испытаний образцов грунта в лабораторных условиях и прямым способом в полевых условиях. В расчетах оснований по деформациям используют нормативные значения характеристик [5,7].

Нормативные значения определяют как среднестатистические, получаемые осреднением их частных значений, или отвечающие осредненным по частным значениям, аппроксимирующим зависимости между измеряемыми в опытах величинами (или функционально с ними связанными величинами), или зависимостям каких-либо из этих величин от координат по одному из направлений.

Расчетное значение получают делением нормативного значения на коэффициент надежности по грунту.

Коэффициент надежности по грунту должен устанавливаться с учетом изменчивости и числа определений характеристики (числа испытаний) при заданной доверительной вероятности.

В СП 22.13330 для нормативных характеристик коэффициент надежности γ_g равен единице, т.е. статистический разброс не учитывается. Это неверно, т.к. при расчете, например, кренов фундамента коэффициент надежности под одной частью фундамента следует принимать больше единицы, а под противоположной – меньше единицы [3].

Для расчетных параметров грунтов введены коэффициенты надежности: $\gamma_g, \gamma_{gf}, \gamma_{gc}, \gamma_{gy}$, по формуле, которая дает два значения:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}. \quad (13)$$

Примечание – Знак перед величиной ρ_α принимают таким, чтобы обеспечивалась большая надежность основания или сооружения.

На практике, используя выражение (2.5) в знаменателе применяют знак «+», полагая, что заниженные значения определяемых характеристик обеспечивают большую надежность оснований или сооружений, как отмечено в предыдущем примечании ГОСТ 20522. Это верно для расчета

основания по первому предельному состоянию, но не всегда верно для расчетов по второму предельному состоянию.

В СП 22.13330 расчеты оснований по деформациям выполняются с использованием нормативных значений характеристик, а расчеты по несущей способности – с использованием расчетных значений характеристик грунтов, определяемых по формуле:

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}, \quad (14)$$

где X_n – нормативное значение данной характеристики; γ_g – коэффициент надежности по грунту.

В СП 22.13330 при расчетах по второму предельному состоянию коэффициент надежности для модуля деформации грунта принимается равным единице. При этом не учитывается статистическая неоднородность модуля деформации, которую можно представить тем, что коэффициент надежности под одной частью фундамента больше, а под другой меньше единицы.

Следует иметь в виду, что при расчете осадки методом послойного суммирования (1) используется не компрессионный модуль деформации E_k , а расчетный модуль деформации E , который определяется путем умножения компрессионного модуля деформации на повышающий коэффициент m_k . То же справедливо и для трехосных испытаний. Несмотря на то, что трехосный модуль деформации больше компрессионного модуля деформации он не равен штамповому модулю деформации. Поэтому для перехода от трехосного модуля деформации к расчетному необходимо также использовать коэффициент перехода, значение которого можно найти из сопоставительных опытов винтовым или плоским штампами.

В СП 22.13330, п. 5.3.6 даны следующие рекомендации по его использованию «... Для сооружений I и II уровней ответственности значения E по лабораторным данным должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампами, прессиометрами (см. 5.3.3, 5.3.4), а также в приборах трехосного сжатия. Для сооружений III уровня ответственности допускается определять значения E только по результатам компрессионных испытаний, корректируя их с помощью повышающих коэффициентов m_k , приведенных в табл. 5.1 СП 22.13330. Эти коэффициенты распространяются на четвертичные глинистые грунты с показателем текучести $0 < I_L \leq 1$, при этом значения модуля деформации по компрессионным испытаниям следует вычислять в интервале давлений 0,1-0,2 МПа, а значение коэффициента β , учитывающего отсутствие поперечных деформаций грунтов, принимать в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12248...».

В связи с тем, что большинство проектируемых зданий и сооружений относятся к I или II уровням ответственности, то на практике применять табл. 5.1 отмеченного СП следует с большой осторожностью. Кроме того, эта таблица дает коэффициент перехода для давлений в интервале 0,1-0,2 МПа,

что значительно меньше давления под подошвой фундаментов зданий и сооружений, проектируемых в настоящее время. Поэтому, значение модуля деформации следует определять из результатов полевых испытаний штампом или прессиометром, или из лабораторных испытаний в условиях трехосного сжатия. При этом следует иметь в виду, что модуль деформации, найденный из трехосных испытаний будет ниже модуля деформации из полевых испытаний штампом. В свою очередь, штамповый модуль деформации зависит от площади штампа, поэтому надо стремиться проводить полевые испытания штампами большой площади от 5000 см² и более.

Список литературы

1. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов в лабораторных условиях, 2008. С. 696.
2. Болдырев, Г.Г. Полевые методы испытаний грунтов (В вопросах и ответах). Саратов: Издательский центр «РАТА», 2013. С. 356.
3. Болдырев Г.Г., Барвашов В.А., Кошкина Н.В. Происхождение и состав грунтов. Физические и механические свойства грунтов // Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева, 2014. С. 31-68.
4. ГОСТ 12248-2010. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости, МНТКС, 2010. С. 162.
5. ГОСТ 20522 – 2012 . Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. МНТКС., 2013. С. 20.
6. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения, 2012. С. 117.
7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений, 2011. С. 162.
8. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений, 2011. С. 115.
9. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты, 2011. С. 90.
10. СП 25.13330.2011. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах, 2011.
11. МДС 50-1.2007. Проектирование и устройство оснований, фундаментов и подземных частей многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов, 2007. С. 17.
12. ПиНАЭ 5.10-87. Основания реакторных отделений атомных станций. Министерство атомной энергетики СССР; Ин-т «Атомэнергoproject», 1987.
13. Строкова Л.А. Определение параметров деформируемости грунтов для упругопластических моделей // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 367. С. 190–194.
14. Hardin B.O., Drnevich V.P. Shear modulus and damping in soils; design equations and curves, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 98(SM7), 1972. P. 667–692.

15. Mayne P.W. Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. Proceedings, International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties & Case Histories, Bali, Indonesia, May 21-24, 2001. P. 27-48.
16. Ohde J. Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund // Der Bauingenieur. 1939. № 20. Heft 33/34. S. 451–459.
17. Plaxis. – URL: www.plaxis.nl.
18. Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M., Tokimatsu K. Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesive soils, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, 1986. P. 1016–1032.