ГОСТ 20522-2012

Группа Ж39

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГРУНТЫ

Методы статистической обработки результатов испытаний

Soils. Methods of statistical treatment of test results

МКС 13.080

Дата введения 2013-07-01

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0-92 "Межгосударственная система стандартизации. Основные положения" и ГОСТ 1.2-2009 "Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены"

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Научно-исследовательским, проектно-изыскательским и конструкторско-технологическим институтом оснований и подземных сооружений им. Н.М.Герсеванова (НИИОСП им. Н.М.Герсеванова), ОАО "НИЦ "Строительство" при участии Национального объединения изыскателей (НОИЗ), Московского геологоразведочного института (МГРИ - РГГРУ)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство"

3 ПРИНЯТ Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (приложение В к протоколу N 40 от 4 июня 2012 г.)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование органа государственного управления строительством
Азербайджан	AZ	Государственный комитет градостроительства и архитектуры
Армения	AM	Министерство градостроительства
Кыргызстан	KG	Госстрой
Молдова	MD	Министерство строительства и регионального развития
Российская Федерация	RU	Министерство регионального развития
Узбекистан	UZ	Госархитектстрой
Украина	UA	Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2012 г. N 597-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 20522-2012 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 01 июля 2013 г.

5 ВЗАМЕН ГОСТ 20522-96

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта публикуется в ежемесячно издаваемом указателе "Национальные стандарты".

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемых информационных указателях "Национальные стандарты". В случае пересмотра или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты"

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает применяемые при инженерно-геологических изысканиях, проектировании и строительстве методы статистической обработки результатов испытаний грунтов, составляющих различные грунтовые объекты (основания сооружений, массивы, вмещающие подземные сооружения, сооружения из грунта, склоны и т.д.).

Данные методы применяют для статистической обработки результатов определений физических и механических (прочностных и деформационных) характеристик всех грунтов (см. ГОСТ 25100), а также для выделения инженерно-геологических и расчетных грунтовых элементов.

Требования настоящего стандарта не распространяются на параметры прочности и деформируемости грунтов при динамических воздействиях, а также на характеристики крупнообломочных грунтов, получаемые с применением моделирования гранулометрических составов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю "Национальные стандарты", составленному на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **вероятность:** Числовая характеристика возможности появления какого-либо определенного события в тех или иных определенных условиях, которые могут повторяться неограниченное число раз, выражаемая в долях единицы или процентах. Вероятности, с которыми характеристики грунтов, трактуемые как случайные величины, принимают те или иные значения, образуют распределение вероятностей, для установления которого по выборочным данным оценивают один или несколько параметров распределения.

3.2 **доверительный интервал:** Интервал, вычисленный по выборочным данным, который с заданной вероятностью (доверительной) накрывает неизвестное истинное значение оцениваемого параметра распределения.

3.3 **доверительная вероятность:** Вероятность того, что доверительный интервал накроет неизвестное истинное значение параметра, оцениваемого по выборочным данным.

3.4 **односторонняя доверительная вероятность:** Вероятность того, что неизвестное истинное значение параметра не выйдет за пределы нижней (или верхней) границы доверительного интервала.

3.5 **среднее значение (выборочное):** Среднеарифметическое частных значений, образующих выборку величин, независимых друг от друга и от пространственных координат.

3.6 **среднеквадратическое отклонение:** Мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения или функциональной зависимости, выражаемая в абсолютных единицах и вычисляемая по формулам (4), (12).

3.7 **коэффициент вариации:** Мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения, выражаемая в долях единицы или процентах и вычисляемая по формуле (5).

3.8 **сравнительный коэффициент вариации:** Мера изменчивости величины, зависящая от начала отсчета выборки и вычисляемая по формуле (А.1) приложения А.

3.9 **число степеней свободы:** Число независимых наблюдений, равное числу определений n характеристики минус число оцениваемых статистических параметров.

3.10 **метод наименьших квадратов:** Метод статистической оценки функциональной зависимости путем установления таких ее параметров, при которых сумма квадратов отклонений опытных данных от этой зависимости является минимальной.

3.11 **инженерно-геологический элемент;** ИГЭ: Основная грунтовая единица при инженерно-геологической схематизации грунтового объекта, определяемая положениями 4.6.

3.12 **расчетный грунтовый элемент;** РГЭ: Основная грунтовая единица, выделяемая с учетом применяемого при проектировании грунтового объекта расчетного или экспериментального метода, определяемая по 4.6.

4 Общие положения

4.1 Статистическую обработку результатов испытаний проводят для оценки неоднородности грунтов, выделения ИГЭ, а при необходимости и РГЭ, и вычисления нормативных и расчетных значений характеристик грунтов.

4.2 Опытные данные, для которых проводится статистическая обработка, должны быть получены единым методом испытания.

4.3 Применяемые в настоящем стандарте методы статистической обработки используют нормальный закон распределения вероятностей. При обосновании могут быть использованы и другие законы распределения, например, логарифмически нормальный (см. приложение Б).

4.4 Неоднородность грунта оценивают с помощью коэффициента вариации характеристик грунта (см. 6.4). Для сравнения неоднородности по разным характеристикам может применяться сравнительный коэффициент вариации (см. приложение А).

4.5 Статистическую обработку проводят для частных значений характеристик грунтов или фиксируемых в отдельных испытаниях величин, которые составляют случайную выборку.

При наличии закономерного изменения характеристики в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной) статистическую обработку проводят для определения параметров корреляционной зависимости, аппроксимирующей опытные точки линейной или кусочно-линейной функцией.

4.6 Статистическую обработку результатов испытаний выполняют для ИГЭ или РГЭ.

За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения, подвида или разновидности (см. ГОСТ 25100) при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно) либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В случае выявления закономерности должны выполняться требования 5.5. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ используют при создании инженерно-геологической модели объекта.

За РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения, подвида или разновидности, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода проектирования объекта могут быть постоянными или закономерно изменяющимися по направлению (чаще всего по глубине). РГЭ может включать в себя один или несколько ИГЭ. Комплекс РГЭ используют при создании расчетной геомеханической модели объекта.

Примечания

1 Местоположение, конфигурацию и объем ИГЭ и РГЭ устанавливают с учетом сведений об объекте строительства и геологических данных.

2 Выделение РГЭ должно осуществляться совместно изыскателем и проектировщиком.

4.7 Для всех характеристик грунта вычисляют нормативные, а для характеристик, используемых в расчетах, и расчетные значения.

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

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

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

Примечания

1 В расчетное значение характеристики проектировщиком в соответствии с указаниями норм проектирования различных видов сооружений могут вводиться и другие коэффициенты надежности, учитывающие влияние факторов, которые не могут быть учтены статистическим путем.

2 Для отдельных характеристик грунтов по указаниям норм проектирования различных видов сооружений их расчетные значения могут быть приняты равными нормативным значениям.

4.9 Значения доверительной вероятности при вычислении расчетного значения характеристики грунта принимают в соответствии с рекомендациями норм проектирования различных видов сооружений и должны быть указаны в техническом задании и программе работ на проведение инженерно-геологических изысканий.

4.10 Число определений характеристики грунтов, необходимое для вычисления ее нормативного и расчетного значения, может быть установлено из формулы (6) в зависимости от заданных коэффициента вариации характеристики, показателя точности (погрешности) ее среднего значения и доверительной вероятности.

Минимальное число определений характеристик грунтов или фиксируемых в опытах значений должно быть шесть.

5 Выделение инженерно-геологического элемента и расчетного грунтового элемента

5.1 Исследуемую толщу грунтов предварительно разделяют на ИГЭ с учетом их происхождения, текстурно-структурных особенностей, вида, подвида или разновидности (см. ГОСТ 25100), а также сведений об объекте строительства.

Значения характеристик грунтов в каждом предварительно выделенном ИГЭ анализируют с целью установить и исключить значения, резко отличающиеся от большинства значений, если они вызваны ошибками в опытах или принадлежат другому ИГЭ.

5.2 Окончательное выделение ИГЭ проводят на основе оценки характера пространственной изменчивости характеристик грунтов и их коэффициента вариации или сравнительного коэффициента вариации (см. приложение А). При этом необходимо установить, изменяются ли характеристики грунтов в пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом или имеет место их закономерное изменение в каком-либо направлении.

Для анализа используют физические характеристики, а при достаточном количестве - и механические. Для выделения ИГЭ дополнительно могут быть использованы зондирование, геофизические методы и другие экспресс-методы.

5.3 Для оценки характера пространственной изменчивости характеристик могут быть использованы инженерно-геологические разрезы, планы, а также трехмерные модели. Для выявления закономерного изменения характеристик строят точечные графики изменения их значений по направлению, выявляют корреляционную зависимость показателей свойств от координат.

5.4 Если установлено, что характеристики грунтов изменяются в пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом, этот элемент принимают за окончательный независимо от значений коэффициента вариации характеристик.

За единый инженерно-геологический элемент могут быть приняты грунты, представленные часто сменяющимися тонкими (менее 20 см) слоями и линзами грунтов различного вида, подвида или разновидности. Слои и линзы, сложенные рыхлыми песками, глинистыми грунтами с показателем текучести более 0,75, органо-минеральными или органическими грунтами и другими грунтами, оказывающими существенное влияние на проектное решение, следует рассматривать как отдельные инженерно-геологические элементы независимо от их мощности.

Примечание - Линзы и прослои, мощность которых не позволяет отобрать достаточное число образцов (см. 4.10), могут быть охарактеризованы нормативными значениями характеристик по единичным определениям. Расчетные значения в этом случае принимают при следующих коэффициентах надежности по грунту γ_g : для модуля деформации γ_g = 1,1; для угла внутреннего трения $\gamma_{g,II}$ = 1,1 и $\gamma_{g,I}$ = 1,15; для удельного сцепления $\gamma_{g,II}$ = 1,25 и $\gamma_{g,I}$ = 1,5.

5.5 При наличии закономерного изменения характеристик грунтов в каком-либо направлении следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ.

Дополнительное разделение ИГЭ не проводят, если выполняется условие

$$V < V_{\text{доп}}, \qquad (1)$$

где V - коэффициент вариации (см. 6.4);

$V_{доп}$ - допустимое значение V, принимаемое равным для физических характеристик 0,15, для механических, а также для параметров зондирования 0,30.

Если коэффициенты вариации превышают указанные значения, дальнейшее разделение ИГЭ проводят так, чтобы для вновь выделенных ИГЭ выполнялось условие (1).

Разделение ИГЭ может быть проведено на основе сравнения средних значений характеристик грунта во вновь выделенных ИГЭ (см. приложение В).

5.6 При проведении дополнительного разделения первоначально выделенного ИГЭ, определяя границы вновь выделяемых ИГЭ, необходимо учитывать:

- наличие тенденции к закономерному изменению характеристик грунтов;

- положение уровня подземных вод;

- наличие слоев специфических грунтов (просадочных, набухающих, засоленных, органо-минеральных и органических);

- наличие в скальных грунтах зон разной степени выветрелости и разгрузки;

- наличие в дисперсных грунтах, прежде всего в элювиальных, зон разной степени выветрелости;

- наличие грунтов разной консистенции;

- наличие мерзлых грунтов разного состояния и степени льдистости.

5.7 Формирование РГЭ проводят на основе выделенных при инженерно-геологической схематизации ИГЭ применительно к конкретному методу расчета объекта (экспериментального метода) с наделением его конкретными характеристиками, необходимыми для возможности использования этого метода. При этом РГЭ в общем случае могут не совпадать с ИГЭ по одному или нескольким показателям (форме, размерам, характеристикам и их значениям).

В РГЭ могут быть также объединены два соседних ИГЭ, представленных грунтами разного происхождения, но одного подвида или разновидности, если выполняются требования приложения В.

5.8 При выделении РГЭ, в пределах которых значения характеристик принимают закономерно изменяющимися по направлению, их нормативные и расчетные значения устанавливают в соответствии с приложением Г.

6 Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов, представленных одной величиной

6.1 Определение нормативных X_n и расчетных X значений характеристик грунтов для ИГЭ и РГЭ в случае принятия для последнего постоянных значений X_n и X следует проводить в соответствии с 6.2-6.6. Для РГЭ при закономерном изменении характеристик по направлению их нормативные и расчетные значения следует определять в соответствии с 6.7.

6.2 Нормативное значение X_n всех физических и механических характеристик грунтов принимают равным среднеарифметическому значению $\overline{X}$ и вычисляют по формуле

$$X_n = \overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \,, \tag{2}$$

где n - число определений характеристики;

X_i - частные значения характеристики, получаемые по результатам отдельных i-х опытов.

Примечание - Для характеристик грунтов, получаемых из графиков испытаний (например, компрессионная кривая), их нормативные значения могут быть установлены из обобщенной для ИГЭ аппроксимирующей зависимости (см. 4.7).

6.3 Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок, оставшихся после анализа опытных данных в соответствии с 5.1. Исключают то частичное (максимальное или минимальное) значение X_i, для которого выполняется условие

$$|X_n - X_i| > \nu S, \tag{3}$$

где ν - статистический критерий, принимаемый в зависимости от числа определений n характеристики по таблице Е.1 приложения Е;

S - среднеквадратическое отклонение характеристики, вычисляемое по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_n - X_i)^2} \,. \tag{4}$$

Если какое-либо значение характеристики исключено, следует для оставшихся опытных данных заново вычислить X_n по формуле (2) и S по формуле (4) и выполнить повторную проверку по формуле (3).

6.4 Вычисляют коэффициент вариации V характеристики и показатель точности (погрешности) ее среднего значения ρ_α по формулам:

$$V = \frac{S}{X_n}; \tag{5}$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}}, \tag{6}$$

где t_α - коэффициент, принимаемый по таблице Е.2 приложения Е в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α и числа степеней свободы $K = n - 1$.

6.5 Вычисляют коэффициент надежности по грунту γ_g по формуле

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - \rho_\alpha}. \tag{7}$$

Примечание - В отдельных расчетах проектировщиком перед величиной ρ_α может быть принят знак "+", чтобы обеспечивалась большая надежность основания или сооружения.

6.6 Вычисляют расчетное значение X характеристики грунта по формуле

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}. \tag{8}$$

Примечание - В формулах (6)-(8) вместо α, а также в качестве индекса для X могут быть указаны значения доверительной вероятности.

6.7 При закономерном изменении характеристики по направлению (например, по глубине h) ее нормативные $X_n(h)$ и расчетные $X(h)$ значения могут быть вычислены в пределах РГЭ по приложению Г.

7 Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления грунтов

7.1 Нормативные и расчетные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c по результатам опытов на одноплоскостной срез (см. ГОСТ 12248) вычисляют (первый способ) путем статистической обработки частных значений $\operatorname{tg}\varphi_j$ и c_j (7.2-7.5) или (второй способ) путем статистической обработки всех пар опытных значений сопротивления срезу τ_i и нормального напряжения σ_i как единой совокупности (7.6-7.12). Второй способ должен применяться в соответствии с нормами проектирования конкретных видов сооружений.

Примечания

1 Число определений частных значений $\operatorname{tg}\varphi_j$ и c_j в первом способе и число определений пар τ_i и σ_i во втором способе должно быть не менее шести.

2 Методика статистической обработки результатов испытаний грунтов при трехосном сжатии приведена в приложении Д.

7.2 При статистической обработке частных значений $\operatorname{tg}\varphi_j$ и c_j для каждой j-й точки отбора монолита грунта в пределах ИГЭ предварительно вычисляют по методу наименьших квадратов указанные частные значения по результатам не менее трех определений сопротивления грунта срезу τ_i при трех последовательных значениях нормального напряжения σ_i (см. ГОСТ 12248):

$$\operatorname{tg}\varphi_j = \frac{k\sum_{i=1}^{k}\tau_i\sigma_i - \sum_{i=1}^{k}\tau_i\sum_{i=1}^{k}\sigma_i}{k\sum_{i=1}^{k}(\sigma_i)^2 - (\sum_{i=1}^{k}\sigma_i)^2}; \qquad (9)$$

$$c_j = \frac{1}{k}\left(\sum_{i=1}^{k}\tau_i - \operatorname{tg}\varphi_j\sum_{i=1}^{k}\sigma_i\right), \qquad (10)$$

где k - число определений τ в каждой точке ИГЭ.

Если при вычислении по формуле (10) получается значение c_j <0, то принимают значение c_j = 0, а $\operatorname{tg}\varphi_j$ вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi_j = \frac{\sum_{i=1}^{k}\tau_i\sigma_i}{\sum_{i=1}^{k}\sigma_i^2}. \qquad (11)$$

7.3 По найденным частным значениям $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j вычисляют нормативные значения $\mathrm{tg}\,\varphi_j$ и c_j по формуле (2) и среднеквадратические отклонения $S_{\mathrm{tg}\varphi}$ и S_c по формуле (4).

7.4 Проводят статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях $\mathrm{tg}\,\varphi_j$ и c_j в соответствии с 6.3. Пару значений $\mathrm{tg}\,\varphi_j$ и c_j исключают, если хотя бы для одного из них выполняется условие (3). При этом для оставшихся опытных данных следует заново вычислить значения $\mathrm{tg}\,\varphi_n$, c_n, $S_{\mathrm{tg}\varphi}$ и S_c.

7.5 Вычисляют для $\mathrm{tg}\,\varphi$ и c коэффициент вариации V, показатель точности ρ_α, коэффициент надежности по грунту γ_g и их расчетные значения по формулам (5)-(8).

Примечание - Если по формуле (6) для $\mathrm{tg}\,\varphi$ или c получится значение ρ_α>1, то расчетное значение этой характеристики следует принять равным нулю.

7.6 При статистической обработке всех n пар опытных значений τ_i и σ_i как единой совокупности нормативные значения $\mathrm{tg}\,\varphi_n$ и c_n вычисляют по формулам (9) и (10), в которых значения $\mathrm{tg}\,\varphi_j$, c_j и k необходимо заменить на $\mathrm{tg}\,\varphi_n$, c_n и n соответственно.

Если при этом получится значение c_n<0, то принимают c_n =0, а $\mathrm{tg}\,\varphi_n$ вычисляют вновь по формуле (11), в которой необходимо заменить $\mathrm{tg}\,\varphi_j$ и k на $\mathrm{tg}\,\varphi_n$ и n соответственно.

Примечание - При существенной нелинейности зависимости $\tau = f(\sigma)$ ее аппроксимируют кусочно-линейной зависимостью и выполняют статистическую обработку для каждого линейного участка отдельно, при этом число пар опытных значений σ_i и τ_i на каждом линейном участке должно быть не менее шести.

7.7 Вычисляют среднеквадратическое отклонение сопротивления срезу S_τ по формуле

$$S_\tau = \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}(\sigma_i \mathrm{tg}\,\varphi_n + c_n - \tau_i)^2}\,. \qquad (12)$$

Примечание - В формуле (12) следует заменить $n-2$ на $n-1$, если в соответствии с 7.6 принято $c_n = 0$, а $\mathrm{tg}\,\varphi_n$ вычислен по формуле (11).

7.8 Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях τ_i в соответствии с 6.3. Исключают наиболее отклоняющееся от нормативной зависимости $\tau_n = c_n + \sigma \operatorname{tg} \varphi_n$ значение τ_i, для которого выполняется условие (3). При этом в условие (3) следует подставить вместо X_i проверяемое значение τ_i, вместо X_n - соответствующее τ_i значение τ_n и вместо S - значение S_τ из формулы (12).

Если какое-либо значение τ_i будет исключено, следует заново вычислить значения $\operatorname{tg} \varphi_n$, c_n и S_τ по оставшимся опытным данным.

7.9 Расчетные значения $\operatorname{tg} \varphi$ и c вычисляют с учетом заданного диапазона нормальных напряжений $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, который принимают в соответствии с программой работ. При отсутствии таких указаний следует принимать $\sigma_{\min}$ и $\sigma_{\max}$ равными минимальному и максимальному нормальным напряжениям, имевшим место при испытании грунта на срез. Вычисляемые значения $\operatorname{tg} \varphi$ и c должны сопровождаться сведениями о принятом диапазоне нормальных напряжений.

7.10 Вычисляют нормативные значения сопротивления грунта срезу τ_n' и τ_n'' и значения полудлин совместных доверительных интервалов δ_τ' и δ_n'' при значениях нормального напряжения $\sigma = \sigma_{\min}$ и $\sigma = \sigma_{\max}$ по формулам (13) и (14):

$$\tau_n = c_n + \sigma \operatorname{tg} \varphi_n; \tag{13}$$

$$\delta_\tau = \frac{V_{\alpha,\lambda} S_\tau}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{n(\sigma - \overline{\sigma})^2}{\sum_{i=1}^{n} (\sigma_i - \overline{\sigma})^2}}, \tag{14}$$

где $V_{\alpha,\lambda}$ - коэффициент, принимаемый по таблице Е.3 или Е.4 приложения Е в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α, параметра λ, вычисляемого по формуле (16), и числа степеней свободы $K = n - 2$;

$$\overline{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \sigma_i; \tag{15}$$

σ_i - опытные значения нормального напряжения.

7.11 Параметр λ, учитывающий значения диапазона $/\sigma_{\min}, \sigma_{\max}/$, вычисляют по формуле

$$\lambda = \sqrt{0{,}5\left(1 - \frac{1 + nGD}{\sqrt{(1 + nG^2)(1 + nD^2)}}\right)}, \quad (16)$$

где

$$G = \frac{\sigma_{\min} - \overline{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\sigma_i - \overline{\sigma})^2}}, \quad (17)$$

$$D = \frac{\sigma_{\max} - \overline{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\sigma_i - \overline{\sigma})^2}}. \quad (18)$$

7.12 Вычисляют расчетные значения сопротивления срезу τ' и τ'' при нормальных напряжениях $\sigma = \sigma_{\min}$ и $\sigma = \sigma_{\max}$ и коэффициенты надежности по грунту $\gamma_{g,\mathrm{tg}\varphi}$ и $\gamma_{g,c}$ для $\mathrm{tg}\,\varphi$ и c по формулам (19) и (20):

$$\tau = \tau_n - \delta_\tau; \quad (19)$$

$$\gamma_{g,\mathrm{tg}\varphi} = \gamma_{g,c} = \frac{\tau'_n + \tau''_n}{\tau' + \tau''}. \quad (20)$$

Расчетные значения $\mathrm{tg}\,\varphi$ и c вычисляют по формуле (8).

Если $\frac{\tau'}{\sigma_{\min}} < \frac{\tau''}{\sigma_{\max}}$, то вместо формулы (20) следует использовать формулу (21):

$$\gamma_{g,\mathrm{tg}\varphi} = \gamma_{g,c} = \frac{(\tau'_n + \tau''_n)\sigma_{\max}}{\tau''(\sigma_{\min} + \sigma_{\max})}. \quad (21)$$

Приложение А (рекомендуемое). Вычисление сравнительного коэффициента вариации

Приложение А
(рекомендуемое)

А.1 Сравнительный коэффициент вариации V_c вычисляют по формуле

$$V_c = \frac{S}{X_n - X_{\min}}, \quad (А.1)$$

где X_n и S - то же, что и в формулах (2) и (4);

$X_{\min}$ - наименьшее значение в выборке опытных данных X_i после статистической проверки на исключение ошибок (см. 6.3).

Приложение Б (рекомендуемое). Статистическая обработка опытных данных с использованием логарифмически нормального закона распределения

Приложение Б
(рекомендуемое)

Б.1 Для всех значений опытных данных X_i находят по таблицам их десятичный логарифм $\lg X_i$. Если среди значений, преобразуемых логарифмированием, имеются значения между 0 и 1, то все данные рекомендуется умножить на 10 в соответствующей степени, чтобы все значения были больше 1 и не получалось отрицательных чисел. При этом полученные нормативное и расчетное значения характеристики (Б.5) следует поделить на 10 в соответствующей степени.

Б.2 Вычисляют параметры $\overline{a}$ и S по формулам:

$$\overline{a} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lg X_i ; \quad (Б.1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (\lg X_i - \overline{a})^2} . \quad (Б.2)$$

Б.3 Вычисляют логарифм нормативного значения характеристики X_n по формуле

$$\lg X_n = \overline{a} + 1{,}151S^2 . \quad (Б.3)$$

Б.4 Вычисляют полудлину доверительного интервала Δ по формуле

$$\Delta = u_\alpha + \frac{S}{\sqrt{n}}\sqrt{1 + 2{,}65S^2} , \quad (Б.4)$$

где u_α - значение, принимаемое по таблице Б.1 в зависимости от односторонней доверительной вероятности α.

Таблица Б.1 - Значения u_α

α	0,85	0,90	0,95	0,975	0,99
u_α	1,03	1,28	1,65	1,96	2,33

Б.5 Логарифм расчетного значения X характеристики вычисляют по формуле

$$\lg X = \lg X_n \pm \Delta. \quad (Б.5)$$

Значения X_n и X находят в результате операции антилогарифмирования.

Приложение В (рекомендуемое). Проверка необходимости дополнительного разделения ИГЭ и возможности объединения двух ИГЭ в РГЭ

Приложение В
(рекомендуемое)

В.1 Для проверки необходимости дополнительного разделения предварительно выделенного ИГЭ на два новых элемента вычисляют значение критерия t по формуле

$$t = \frac{\left|\overline{X}_1 - \overline{X}_2\right|}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (В.1)$$

где $\overline{X}_1$ и $\overline{X}_2$ - среднеарифметические значения характеристики в двух новых ИГЭ;

S_1 и S_2 - соответствующие им среднеквадратические отклонения;

n_1, n_2 - число определений характеристики в каждом новом элементе.

В.2 Для проверки возможности объединения двух ИГЭ в один РГЭ вычисляют значения критериев t и F по формулам (В.1) и (В.2):

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \qquad \text{(В.2)}$$

где S_1 и S_2 - то же, что и в формуле (В.1), при этом в числитель подставляют большее из значений S_1 и S_2.

В.3 Дополнительное разделение ИГЭ необходимо, если $t \geq t_\alpha$.

Два ИГЭ объединяют в один РГЭ, если одновременно выполняются условия $F < F_\alpha$ и $t < t_\alpha$.

Значение t_α принимают по таблице Е.2 приложения Е при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K = n_1 + n_2 - 2$.

Значение F_α принимают по таблице Е.5 приложения Е при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K_1 = n_1 - 1$ и $K_2 = n_2 - 1$.

Приложение Г (рекомендуемое). Вычисление нормативного и расчетного значений характеристики при ее закономерном изменении с глубиной

Приложение Г
(рекомендуемое)

Г.1 При закономерном изменении характеристики X с глубиной h связь между X и h в пределах РГЭ аппроксимируют линейной или кусочно-линейной зависимостью

$$X(h) = ah + b, \qquad \text{(Г.1)}$$

где a и b - параметры линейной зависимости или отдельных участков кусочно-линейной зависимости.

Параметры a и b вычисляют по формулам (9) и (10), в которых значения $\operatorname{tg}\varphi_j$, c_j, τ_i, σ_i и k необходимо заменить на a, b, X_i, h_i и n соответственно, где X_i - опытные значения характеристики в точках h_i, n - число определений X_i.

Г.2 Нормативные значения $X_n(h)$ характеристики на различных глубинах h_i определяют по зависимости (Г.1), подставляя в нее значения h_i.

Г.3 Среднеквадратическое отклонение характеристики S_x и коэффициент вариации V вычисляют по формулам:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}(X_n(h) - X_i)^2}\ ; \qquad (Г.2)$$

$$V = \frac{S_x}{\overline{X}}\ , \qquad (Г.3)$$

где $\overline{X}$ - среднеарифметическое из частных значений X_i.

Г.4 Нормативные значения X'_n и X''_n характеристики вычисляют по формуле (Г.1) при значениях $h_{\min}$ и $h_{\max}$, соответствующих границам РГЭ в случае линейной зависимости или границам участков в случае кусочно-линейной зависимости.

Г.5 Расчетные значения $X(h)$ характеристики вычисляют по формуле (8), при этом коэффициент γ_g устанавливают так же, как указано в 7.10-7.12, используя формулы (14)-(21). В этих формулах необходимо заменить δ_τ, S_τ, σ, $\overline{\sigma}$, σ_i, $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, τ, τ_n, τ'_n, τ''_n, τ', τ'' на δ_x, S_x, h, $\overline{h}$, h_i, $h_{\min}$, $h_{\max}$, X X_n, X'_n, X''_n, X', X'' соответственно.

Приложение Д (обязательное). Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления по результатам испытаний грунтов при трехосном сжатии

Приложение Д
(обязательное)

Д.1 При статистической обработке $\operatorname{tg}\varphi$ и c (см. 7.2-7.5) частные значения $\operatorname{tg}\varphi_j$ и c_j вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg}\varphi_j = \frac{N_j - 1}{2\sqrt{N_j}}; \qquad (Д.1)$$

$$c_j = \frac{M_j}{2\sqrt{N_j}}, \qquad (Д.2)$$

где N_j и M_j - коэффициенты, вычисляемые по формулам (9) и (10) с заменой в них $\operatorname{tg}\varphi_j$, c_j, τ_i, и σ_i на N_j, M_j, $\sigma_{1,i}$ и $\sigma_{3,i}$, а σ_1 и σ_3 - главные напряжения при разрушении образца грунта.

Дальнейшую статистическую обработку проводят в соответствии с 7.3-7.5.

Д.2 При статистической обработке всех n пар опытных значений $\sigma_{1,i}$ и $\sigma_{3,i}$ как единой совокупности (см. 7.6-7.12) вычисляют:

- нормативные значения коэффициентов N и M по формулам (9)-(11), заменяя в них σ_i на $\sigma_{3,i}$ и τ_i на $\sigma_{1,i}$;

- нормативные значения $\operatorname{tg}\varphi_n$ и c_n по формулам (Д.1) и (Д.2), заменяя в них $\operatorname{tg}\varphi_j$, c_j, N_j, и M_j на $\operatorname{tg}\varphi_n$, c_n, N и M соответственно;

- коэффициент надежности по грунту γ_g с использованием формул (12)-(21), заменяя в них τ'_n, τ''_n, δ'_τ, δ''_τ, c_n, $\operatorname{tg}\varphi_n$, $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, $\overline{\sigma}$, σ_i, τ_i, S_τ соответственно на $\sigma'_{1,n}$, $\sigma''_{1,n}$, $\delta'_{\sigma 1}$, $\delta''_{\sigma 1}$, M, N, $\sigma_{3,\min}$, $\sigma_{3,mzx}$, $\overline{\sigma}_3$, $\sigma_{3,i}$, $\sigma_{1,i}$, $S_{\sigma 1}$;

- расчетные значения $\operatorname{tg}\varphi$ и c - по формуле (8).

Приложение Е (обязательное). Статистические таблицы

Приложение Е
(обязательное)

Таблица Е.1 - Значения критерия ν при двусторонней доверительной вероятности α = 0,95

Число определений n	Значение критерия ν

3	1,41
4	1,71
5	1,92
6	2,07
7	2,18
8	2,27
9	2,35
10	2,41
11	2,47
12	2,52
13	2,56
14	2,60
15	2,64

16	2,67
17	2,70
18	2,73
19	2,75
20	2,78
21	2,80
22	2,82
23	2,84
24	2,86
25	2,88
26	2,90
27	2,91
28	2,93
29	2,94

30	2,96
31	2,97
32	2,98
33	3,00
34	3,01
35	3,02
36	3,03
37	3,04
38	3,05
39	3,06
40	3,07
41	3,08
42	3,09
43	3,10

44	3,11
45	3,12
46	3,13
47	3,14
48	3,14
49	3,15
50	3,16

Таблица Е.2 - Значения коэффициента t_α

Число степеней свободы K	Значения коэффициента t_α при односторонней доверительной вероятности α, равной					
	0,85 (0,70)	0,90 (0,80)	0,95 (0,90)	0,975 (0,95)	0,98 (0,96)	0,99 (0,98)
3	1,25	1,64	2,35	3,18	3,45	4,54

4	1,19	1,53	2,13	2,78	3,02	3,75
5	1,16	1,48	2,01	2,57	2,74	3,36
6	1,13	1,44	1,94	2,45	2,63	3,14
7	1,12	1,41	1,90	2,37	2,54	3,00
8	1,11	1,40	1,86	2,31	2,49	2,90
9	1,10	1,38	1,83	2,26	2,44	2,82
10	1,10	1,37	1,81	2,23	2,40	2,76
11	1,09	1,36	1,80	2,20	2,36	2,72
12	1,08	1,36	1,78	2,18	2,33	2,68
13	1,08	1,35	1,77	2,16	2,30	2,65
14	1,08	1,34	1,76	2,15	2,28	2,62
15	1,07	1,34	1,75	2,13	2,27	2,60
16	1,07	1,34	1,75	2,12	2,26	2,58
17	1,07	1,33	1,74	2,11	2,25	2,57

18	1,07	1,33	1,73	2,10	2,24	2,55
19	1,07	1,33	1,73	2,09	2,23	2,54
20	1,06	1,32	1,72	2,09	2,22	2,53
25	1,06	1,32	1,71	2,06	2,19	2,49
30	1,05	1,31	1,70	2,04	2,17	2,46
40	1,05	1,30	1,68	2,02	2,14	2,42
60	1,05	1,30	1,67	2,00	2,12	2,39

Примечание - В головке таблицы в скобках приведены значения двусторонней доверительной вероятности α.

Таблица Е.3 - Значения коэффициента V_α (α = 0,85)

Число степеней свободы K	Значения коэффициента V_α (α = 0,85) при λ, равном										
	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
3	1,70	1,74	1,77	1,80	1,83	1,86	1,88	1,90	1,91	1,92	1,92

4	1,60	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,76	1,77	1,78	1,78
5	1,54	1,57	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	1,70	1,70	1,70
6	1,51	1,53	1,56	1,58	1,60	1,62	1,63	1,64	1,65	1,65	1,65
7	1,48	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	1,60	1,61	1,61	1,62	1,62
8	1,46	1,49	1,51	1,53	1,55	1,56	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
9	1,45	1,48	1,50	1,52	1,53	1,55	1,56	1,57	1,57	1,57	1,57
10	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,55	1,55	1,56	1,56	1,56
11	1,43	1,46	1,47	1,50	1,51	1,52	1,54	1,54	1,55	1,55	1,55
12	1,42	1,45	1,47	1,49	1,50	1,52	1,53	1,53	1,54	1,54	1,54
13	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,51	1,52	1,53	1,53	1,53	1,53
14	1,41	1,44	1,46	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,52	1,52	1,52
15	1,41	1,43	1,45	1,47	1,48	1,50	1,51	1,51	1,52	1,52	1,52
16	1,40	1,43	1,45	1,47	1,48	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51
17	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,49	1,50	1,50	1,51	1,51	1,51

18	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49	1,49	1,50	1,50	1,50	1,50
19	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,50	1,50	1,50
20	1,39	1,42	1,44	1,45	1,47	1,48	1,49	1,49	1,50	1,50	1,50
25	1,39	1,41	1,43	1,44	1,46	1,47	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
30	1,38	1,40	1,42	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,48	1,48	1,48
40	1,37	1,39	1,41	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47	1,47	1,47	1,47
60	1,36	1,38	1,40	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46

Таблица Е.4 - Значения коэффициента V_α (α = 0,95)

Число степеней свободы K	Значения коэффициента V_α (α = 0,95) при λ, равном										
	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
3	2,94	2,98	3,02	3,05	3,09	3,11	3,14	3,16	3,17	3,18	3,19
4	2,61	2,64	2,67	2,70	2,72	2,74	2,75	2,76	2,77	2,78	2,78

5	2,44	2,47	2,49	2,51	2,53	2,54	2,55	2,56	2,57	2,57	2,57
6	2,34	2,36	2,38	2,40	2,41	2,43	2,44	2,44	2,45	2,45	2,45
7	2,27	2,29	2,31	2,33	2,34	2,35	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
8	2,22	2,24	2,26	2,27	2,28	2,29	2,30	2,30	2,31	2,31	2,31
9	2,18	2,20	2,22	2,23	2,23	2,24	2,25	2,26	2,26	2,26	2,26
10	2,15	2,17	2,19	2,20	2,21	2,22	2,22	2,23	2,23	2,23	2,23
11	2,13	2,15	2,16	2,17	2,18	2,19	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
12	2,11	2,13	2,14	2,15	2,16	2,17	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
13	2,09	2,11	2,12	2,14	2,15	2,15	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
14	2,08	2,10	2,11	2,12	2,13	2,14	2,14	2,14	2,15	2,15	2,15
15	2,07	2,08	2,10	2,11	2,12	2,12	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
16	2,06	2,07	2,09	2,10	2,11	2,11	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
17	2,05	2,06	2,08	2,09	2,10	2,10	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
18	2,04	2,06	2,07	2,08	2,09	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10

19	2,03	2,05	2,06	2,07	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
20	2,03	2,04	2,06	2,07	2,08	2,08	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09
25	2,00	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
30	1,99	2,00	2,02	2,03	2,03	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
40	1,97	1,99	2,00	2,01	2,01	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
60	1,95	1,97	1,98	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Таблица Е.5 - Значения критерия F_α при доверительной вероятности α = 0,95

Число степеней свободы K_2	Значения критерия F_α (α = 0,95) при числе степеней свободы K_1, равном													
	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	30	40	60
5	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,68	4,64	4,60	4,56	4,50	4,46	4,43
6	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,96	3,92	3,87	3,81	3,77	3,74
7	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,52	3,49	3,44	3,38	3,34	3,30

8	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28	3,23	3,20	3,15	3,08	3,05	3,01
9	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98	2,93	2,86	2,82	2,79
10	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,86	2,82	2,77	2,70	2,67	2,62
11	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82	2,79	2,74	2,70	2,65	2,57	2,53	2,49
12	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69	2,64	2,60	2,54	2,46	2,42	2,38
13	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,63	2,60	2,55	2,51	2,46	2,38	2,34	2,30
14	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53	2,48	2,44	2,39	2,31	2,27	2,22
15	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,51	2,48	2,43	2,39	2,33	2,25	2,21	2,16
16	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45	2,42	2,37	2,33	2,28	2,20	2,16	2,11
17	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,41	2,38	2,33	2,29	2,23	2,15	2,11	2,06
18	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,29	2,25	2,19	2,11	2,07	2,02
19	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,34	2,31	2,26	2,21	2,15	2,07	2,02	1,98
20	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,23	2,18	2,12	2,04	1,99	1,95
22	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,26	2,23	2,18	2,13	2,07	1,98	1,93	1,89

24	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,22	2,18	2,13	2,09	2,02	1,94	1,89	1,84
26	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,10	2,05	1,99	1,90	1,85	1,80
28	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12	2,06	2,02	1,96	1,87	1,81	1,77
30	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,04	1,99	1,93	1,84	1,79	1,74
40	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00	1,95	1,90	1,84	1,74	1,69	1,64
50	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98	1,95	1,90	1,85	1,78	1,69	1,63	1,58
60	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92	1,87	1,82	1,75	1,65	1,59	1,53

Примечание - K_1 и K_2 - число степеней свободы числителя и знаменателя соответственно.

Электронный текст документа
подготовлен ЗАО "Кодекс" и сверен по:
официальное издание
М.: Стандартинформ, 2013