УДК 624.131.4.001.4:006.354 ОКС 13.080 Ж39 ОКУСТ 5703

ГОСТ 20522–96

Межгосударственный стандарт

ГРУНТЫ

Методы статистической обработки результатов испытаний

Предисловие

1. Разработан Государственным предприятием – Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова (НИИОСП им. Герсеванова), Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС), Акционерным обществом "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева" (АО "ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева"), Государственным дорожным научно-исследовательским институтом (Союздорнии), Государственным предприятием – Инженерно-методологический центр "Стройизыскания" Российской Федерации.

Внесен Минстроем России.

2. Принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС) 15 мая 1996 г.

За принятие проголосовали

Наименование государства	Наименование органа государственного управления строительством
Азербайджанская Республика	Госстрой Азербайджанской Республики
Республика Армения	Госупрархитектуры Республики Армения
Республика Беларусь	Минстройархитектуры Республики Беларусь
Республика Казахстан	Минстрой Республики Казахстан
Кыргызская Республика	Госстрой Кыргызской Республики
Республика Молдова	Минархстрой Республики Молдова
Российская Федерация	Минстрой России
Республика Узбекистан	Госкомархитекстрой Республики Узбекистан

3. Взамен ГОСТ 20522-75

4. Введен в действие с 1 января 1997 г. в качестве государственного стандарта Российской Федерации постановлением Минстроя России от 1 августа 1996 г. № 18-58.

Содержание

1. Область применения
2. Определения
3. Общие положения
4. Выделение инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и расчетного грунтового элемента (РГЭ)
5. Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов, представленных одной величиной
6. Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления грунтов
Приложение А. Вычисление сравнительного коэффициента вариации
Приложение Б. Проверка необходимости дополнительного разделения ИГЭ и возможности объединения двух ИГЭ в РГЭ

Приложение В. Вычисление нормативного и расчетного значения модуля деформации с использованием аналитической аппроксимации компрессионной кривой
Приложение Г. Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов с использованием логарифмически нормального закона распределения
Приложение Д. Вычисление нормативного и расчетного значений характеристики при ее закономерном изменении с глубиной
Приложение Е. Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления по результатам испытаний грунтов при трехосном сжатии
Приложение Ж. Статистические таблицы

ГОСТ 20522–96

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГРУНТЫ
МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

SOILS
STATISTICAL TREATMENT OF THE TEST RESULTS

Дата введения 1997–01–01

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, склоны, массивы, вмещающие подземные сооружения, грунтовые сооружения и их элементы и т. д.).

Методы применяют для статистической обработки результатов определений физических и механических (прочностных и деформационных) характеристик всех грунтов, а также при выделении основных грунтовых единиц − инженерно-геологических и расчетных грунтовых элементов (разделы 3 и 4).

2. Определения

В настоящем стандарте применяют следующие термины.

Вероятность − числовая характеристика степени возможности появления какого-либо определенного события в тех или иных определенных условиях, которые могут повторяться неограниченное число раз, выражается 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.

Доверительный интервал − интервал, вычисленный по выборочным данным, который с заданной вероятностью (доверительной) накрывает неизвестное истинное значение оцениваемого параметра распределения.

Доверительная вероятность − вероятность того, что доверительный интервал накроет неизвестное истинное значение параметра, оцениваемого по выборочным данным.

Односторонняя доверительная вероятность − вероятность того, что неизвестное истинное значение параметра не выйдет за пределы нижней (или верхней) границы доверительного интервала.

Среднее значение (выборочное) − среднеарифметическое из частных значений, образующих выборку независимых друг от друга и от пространственных координат величин.

Коэффициент вариации − мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения, выражаемая в долях единицы или процентах, вычисляется по формуле (5).

Сравнительный коэффициент вариации – мера изменчивости величины, зависящая от начала отсчета выборки, вычисляется по формуле (А. 1) приложения А.

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.

Среднеквадратическое отклонение – мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения или от функциональной зависимости, выражаемая в абсолютных единицах, вычисляется по формулам (4), (12).

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

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ) – основная грунтовая единица при инженерно-геологической схематизации грунтового объекта, определяемая положениями 3.4.

Расчетный грунтовый элемент (РГЭ) – основная грунтовая единица, выделяемая с учетом применяемого при проектировании грунтового объекта расчетного или экспериментального метода, определяемая положениями 3.4.

3. Общие положения

3.1. Статистическую обработку результатов испытаний проводят для оценки неоднородности грунтов, выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и вычисления нормативных и расчетных значений характеристик грунтов.

3.2. Неоднородность грунта оценивается с помощью коэффициента вариации характеристик грунта (5.4). Для сравнения неоднородности по разным характеристикам может применяться сравнительный коэффициент вариации, определяемый по приложению А.

3.3. 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) статистическая обработка проводится для определения параметров аналитической зависимости, аппроксимирующей опытные точки линейной или кусочно-линейной функцией.

3.4. Статистическую обработку результатов испытаний выполняют для ИГЭ или РГЭ.

За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения и вида при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно), либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В последнем случае должны выполняться требования 4.5. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ образует инженерно-геологическую модель объекта.

За РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик при проектировании грунтового объекта по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода могут быть постоянными или закономерно изменяющимися по направлению (чаще всего по глубине). РГЭ может включать часть одного или несколько ИГЭ. Комплекс РГЭ образует расчетную геомеханическую модель объекта.

Примечание – Объем, местоположение и конфигурацию ИГЭ и РГЭ устанавливают с учетом геологических данных и сведений об объекте строительства.

3.5. 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 зависимостям каких-то из этих величин от координат по одному из направлений.

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

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

Примечания.

1. По указаниям норм проектирования различных видов сооружений при вычислении расчетного значения характеристики могут вводиться и другие коэффициенты, 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.

3.7. Значения доверительной вероятности при вычислении расчетного значения характеристики грунта принимают в соответствии с рекомендациями норм проектирования различных видов сооружений.

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

3.9. Применяемые в настоящем стандарте методы статистической обработки используют нормальный или логарифмически нормальный закон распределения вероятностей.

3.10. Настоящие методы применяют при числе определений характеристик грунтов или фиксируемых в опытах величин не менее шести.

4. Выделение инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и расчетного грунтового элемента (РГЭ)

4.1. Исследуемые грунты предварительно разделяют на ИГЭ с учетом их происхождения, текстурно-структурных особенностей и вида.

Характеристики 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.

4.2. Окончательное выделение ИГЭ проводят на основе оценки характера пространственной изменчивости характеристик грунтов и их коэффициента вариации, а также сравнительного коэффициента вариации. При этом необходимо установить, изменяются характеристики грунтов в пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом или имеет место их закономерное изменение в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной).

Для анализа используют физические характеристики, а при достаточном количестве и механические.

Примечание – Для выделения ИГЭ наряду с физическими и механическими характеристиками грунтов могут использоваться фиксируемые в опытах величины или показатели, получаемые с помощью зондирования и других экспресс-методов.

4.3. Для оценки характера пространственной изменчивости характеристик их наносят на инженерно-геологические разрезы в точках их определения, строят графики рассеяния, а также графики зондирования. Для выявления закономерного изменения характеристик строят точечные графики изменения их значений по направлению или применяют положения 1 и 2 приложения Д.

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

За единый инженерно-геологический элемент могут быть приняты грунты, представленные часто сменяющимися тонкими (менее 20 см) слоями и линзами грунтов различного вида. Слои и линзы, сложенные рыхлыми песками, глинистыми грунтами с показателем текучести более

0,75, илами, сапропелями, заторфованными грунтами и торфами, следует рассматривать как отдельные инженерно-геологические элементы независимо от их толщины.

4.5. При наличии закономерного изменения характеристик грунтов в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной) следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ.

Дополнительное разделение ИГЭ не проводят, если выполняется условие

$$V < V_{доп}, \qquad (1)$$

где V – коэффициент вариации (5.4);

$V_{доп}$ – допустимое значение V, принимаемое равным для физических характеристик 0,15, а для механических (см. 4.2) – 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 в соответствии с приложением Б.

4.6. При проведении дополнительного разделения первоначально выделенного ИГЭ (4.5), определяя границы вновь выделяемых ИГЭ, необходимо учитывать:

– наличие тенденции к скачкообразному изменению характеристик грунтов;

– положение уровня подземных вод;

– наличие зон просадочных, набухающих и засоленных грунтов и грунтов с примесью органических веществ;

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

– наличие в элювиальных грунтах зон разной степени выветрелости;

– наличие зон грунтов разной консистенции;

– наличие в вечномерзлых грунтах зон разной степени льдистости и цементации льда.

4.7. Выделение 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 (по форме, размерам, местоположению, характеристикам и их значениям).

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

4.8. При выделении РГЭ, в пределах которых значения характеристик принимаются закономерно (не скачкообразно) изменявшимися по направлению (например, по глубине) оценку этой изменчивости производят с использованием положений 1 и 2 приложения Д, а критерием возможности выделения РГЭ является условие (1), в котором коэффициент вариации вычисляется по формуле (Д.3) приложения Д. Если условие (1) не выполняется, то проводят разделение РГЭ так, чтобы выполнялось условие (1).

5. Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов, представленных одной величиной

5.1. 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 5.2–5.7. Для РГЭ при закономерном изменении характеристик по направлению (чаще всего по глубине) их нормативные и расчетные значения следует определять в соответствии с 5.8.

5.2. Нормативное значение X_n всех физических (влажности, плотности, пластичности и т. п.) и механических характеристик грунтов (модуля деформации, предела прочности на одноосное сжатие,

относительных просадочности и набухания и т. п.) принимают равным среднеарифметическому значению $\overline{X}$ и вычисляют по формуле

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

где n – число определений характеристики;

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

Примечание – Для физических характеристик грунтов, вычисляемых по формулам (коэффициент пористости, число пластичности и др.) в зависимости от величин, определяемых опытным путем, и для компрессионного модуля деформации (приложение В) их нормативные значения могут быть установлены исходя из нормативных значений измеренных в опытах величин.

5.3. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок, оставшихся после анализа опытных данных в соответствии с 4.1. Исключают то частичное (максимальное или минимальное) значение X_i, для которого выполняется условие

$$|X_n - X_i| > \nu S , \qquad (3)$$

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

S – среднеквадратическое отклонение характеристики, вычисляемое по формуле

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

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

5.4. Вычисляют коэффициент вариации V характеристики и показатель точности ее среднего значения ρ_α по формулам:

$$V = \frac{S}{X_n} , \qquad (5)$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} , \qquad (6)$$

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

5.5. Вычисляют коэффициент надежности по грунту γ_g по формуле

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha} . \qquad (7)$$

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

5.6. Вычисляют расчетное значение X характеристики грунта по формуле

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g} . \qquad (8)$$

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

5.7. Если коэффициент вариации V характеристики (5.4) превышает 0,4, ее нормативное и расчетное значение может быть вычислено с использованием логарифмически нормального закона распределения по приложению Г.

5.8. 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 Д. При этом при определении подлежащих исключению из выборки частных

значений X_i (5.3) необходимо в формуле (3) заменить X_n на $X_n(h)$, а S вычислить по формуле (Д.2) приложения Д.

6. Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления грунтов

6.1. Нормативные и расчетные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c по результатам опытов на одноплоскостной срез вычисляют путем статистической обработки частных значений $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j (6.2–6.5) или путем статистической обработки всех пар опытных значений сопротивления срезу τ_i и нормального напряжения σ_i как единой совокупности (6.6–6.12). Второй из указанных способов должен использоваться согласно соответствующим нормам проектирования для систем, включающих гидротехнические и (или) энергетические сооружения.

Примечания.

1. Число определений частных значений $\mathrm{tg}\varphi_j$ 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 Е.

6.2. При статистической обработке частных значений $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j для каждой j-й точки испытания грунта в пределах ИГЭ вычисляют по методу наименьших квадратов частные значения $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j по результатам не менее трех определений сопротивления грунта срезу τ_i при различных значениях нормального напряжения σ_i в пределах одинакового диапазона σ_i:

$$\mathrm{tg}\varphi_j = \frac{k\sum_{i=1}^{k}\tau_i\sigma_i - \sum_{i=1}^{k}\tau_i\sum_{i=1}^{k}\sigma_i}{k\sum_{i=1}^{k}(\sigma_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{k}\sigma_i\right)^2}, \qquad (9)$$

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

где k – число определений τ в каждой точке ИГЭ.

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

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

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

6.4. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j в соответствии с 5.3. Пару значений $\mathrm{tg}\varphi_j$ и c_j исключат, 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.

6.5. 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 $\rho_\alpha > 1$, расчетное значение этой характеристики следует принять равным нулю.

6.6. 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 $c_n < 0$, 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.

6.7. Вычисляют среднеквадратическое отклонение сопротивления срезу S_τ по формуле

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

Примечание – В формуле (12) следует заменить n-2 на n-1, если по 6.6 принято $c_n = 0$, а $\mathrm{tg}\varphi_n$ вычислен по формуле (11).

6.8. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях τ_i в соответствии с 5.3.

Исключают наиболее отклоняющееся от нормативной зависимости $\tau_n = c_n + \sigma\mathrm{tg}\varphi_n$ 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 (12).

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

6.9. Расчетные значения $\mathrm{tg}\varphi$ и c вычисляют с учетом заданного диапазона нормальных напряжений σ_{min}, σ_{max}, который принимается по указаниям норм проектирования различных видов сооружений. При отсутствии таких указаний следует принимать σ_{min} и σ_{max} равными минимальному и максимальному нормальным напряжениям, имевшим место при испытании грунта на срез.

Вычисляемые значения $\mathrm{tg}\varphi$ и c должны сопровождаться сведениями о принятом диапазоне нормальных напряжений.

6.10. Нормативные значения сопротивления грунта срезу τ'_n, τ''_n вычисляют по формуле (13) и значения полудлин совместных доверительных интервалов δ'_τ и δ''_τ по формуле (14) при значениях нормального напряжения $\sigma = \sigma_{min}$ и $\sigma = \sigma_{max}$:

$$\tau_n = c_n + \sigma\mathrm{tg}\varphi_n, \qquad (13)$$

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

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

σ_i – опытные значения нормального напряжения;

$$\overline{\sigma} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sigma_i \quad . \qquad (15)$$

6.11. Параметр λ, учитывающий значения диапазона /σ_{min}, σ_{max}/ вычисляют по формуле

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

где

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

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

6.12. Вычисляют расчетные значения сопротивления срезу τ' и τ'' по формуле (19) при нормальных напряжениях $\sigma = \sigma_{min}$ и $\sigma = \sigma_{max}$, коэффициенты надежности по грунту $\gamma_{g,tg\varphi}$ и $\gamma_{g,c}$ для tgφ и c по формуле (20) и расчетные значения tgφ и c по формуле (8):

$$\tau = \tau_n - \delta_\tau, \qquad (19)$$

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

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

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

Приложение А
(рекомендуемое)

Вычисление
сравнительного коэффициента вариации

Сравнительный коэффициент вариации V_c вычисляют по формуле

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

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 статической проверки на исключение ошибок (5.3).

Приложение Б
(рекомендуемое)

Проверка необходимости дополнительного разделения ИГЭ и возможности объединения двух ИГЭ в РГЭ

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

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

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

S_1 и S_2 – соответствующие им среднеквадратические отклонения;

n_1 и n_2 – число определений характеристики в каждом новом элементе.

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

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

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 Ж.2 приложения Ж при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K = n_1 + n_2 - 2$.

Значение F_α принимают по таблице Ж.4 приложения Ж при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K_1 = n_1 - 1$ и $K_2 = n_2 - 1$.

Приложение В
(рекомендуемое)

Вычисление нормативного и расчетного значений модуля деформации с использованием аналитической аппроксимации компрессионной кривой

1. Компрессионные зависимости относительной деформации ε образцов грунта (коэффициента пористости) от нормального напряжения σ, полученные в пределах окончательно выделенного ИГЭ, обрабатываются вместе путем аппроксимации той или иной аналитической зависимостью (логарифмической, гиперболической и другими подходящими нелинейными зависимостями). При этом нелинейную зависимость необходимо предварительно линеаризовать путем замены переменных.

Примечание – Аппроксимация может быть произведена для участка компрессионной кривой в заданном диапазоне нормальных напряжений σ.

2. При использовании, например, логарифмической зависимости типа

$$\varepsilon = a_0 + a_1 \ln\sigma, \qquad \text{(В.1)}$$

входящие в нее параметры a_0 и a_1 вычисляют по формулам (9) и (10), в которых необходимо заменить $\mathrm{tg}\varphi_j$, c_j, τ_i, σ_i и k на a_1, a_0, ε_i, $\ln\sigma_i$ и n соответственно, где n – общее число определений ε_i по всем компрессионным кривым в данном ИГЭ.

3. Для найденной нормативной зависимости (В.1) и заданного диапазона напряжений $/\sigma_{min}, \sigma_{max}/$ вычисляют по формулам механики грунтов нормативные значения коэффициента сжимаемости и модуля деформации.

4. Расчетные значения модуля деформации вычисляют по формуле (8), при этом коэффициент γ_g устанавливают так же, как указано в 6.10–6.12, используя формулы (13)–(21). В этих формулах необходимо заменить τ'_n, τ''_n, δ_τ, S_τ, σ, $\overline{\sigma}$, σ_i, σ_{min}, σ_{max}, τ', τ'', и $\gamma_{g,\mathrm{tg}\varphi}$, на ε'_n, ε''_n, δ_ε, S_ε, $\ln\sigma$, $\ln\overline{\sigma}$, $\ln\sigma_i$, $\ln\sigma_{min}$, $\ln\sigma_{max}$, ε', ε'', $\gamma_{g,\varepsilon}$ соответственно.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов с использованием логарифмически нормального закона распределения

1. Для всех значений опытных данных 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 полученное нормативное и расчетное значение характеристики (пункт 5) следует поделить на 10 в соответствующей степени.

2. Параметры $\overline{a}$ и S вычисляют по формулам:

$$\overline{a} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lg X_i \ , \qquad \text{(Г.1)}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} \left(\lg X_i - \overline{a}\right)^2} \ . \qquad \text{(Г.2)}$$

3. Логарифм нормативного значения характеристики вычисляют по формуле

$$\lg X_n = \bar{a} + 1{,}151 S^2 . \qquad (Г.3)$$

4. Вычисляют полудлину доверительного интервала Δ по формуле

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

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

Таблица Г.1

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

5. Логарифм расчетного значения X характеристики вычисляют по формуле

$$\lg X = \lg X_n \pm \Delta . \qquad (Г.5)$$

Значения X_n и X находят в результате операции антилогарифмирования.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Вычисление нормативного и расчетного значений характеристики при ее закономерном изменении с глубиной

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

$$X(h) = ah + b, \qquad (Д.1)$$

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 $\mathrm{tg}\varphi_j$, 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.

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

3. Вычисляют среднеквадратическое отклонение характеристики S_x и коэффициент вариации V по формулам (Д.2) и (Д.3):

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(X_n(h) - X_i\right)^2} , \qquad (Д.2)$$

$$V = \frac{S_x}{\bar{X}} , \qquad (Д.3)$$

где $\bar{X}$ – среднеарифметическое из частных значений X_i.

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

5. Расчетные значения $X(h)$ характеристики вычисляют по формуле (8), при этом коэффициент γ_g устанавливают также, как указано в 6.10–6.12, используя формулы (14)–(21). В этих формулах необходимо заменить δ_τ, S_τ, σ, $\bar{\sigma}$, σ_i, σ_{min}, σ_{max}, τ, τ_n, τ'_n, τ''_n, τ', τ'' и δ_x, S_x, h, $\bar{h}$, h_i, h_{min}, h_{max}, X, X_n, X'_n, X''_n, X', X'' соответственно.

Приложение Е
(обязательное)

Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления по результатам испытаний грунтов при трехосном сжатии

1. При статистической обработке tgφ и *c* (6.2–6.5) частные значения $tg\varphi_j$ и c_j вычисляют по формулам:

$$tg\varphi_j = \frac{N_j - 1}{2\sqrt{N_j}}, \qquad (Е.1)$$

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

где N_j и M_j – коэффициенты, вычисляемые по формулам (9) и (10) с заменой в них $tg\varphi_j$, 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 6.3–6.5.

2. При статистической обработке всех *n* пар опытных значений $\sigma_{1,i}$ и $\sigma_{3,i}$ как единой совокупности (6.6-6.12) 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 $tg\varphi_n$ и c_n по формулам (Е.1) и (Е.2), заменяя в них $tg\varphi_j$, c_j, N_j, и M_j на $tg\varphi_n$, 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, $tg\varphi_n$, σ_{min}, σ_{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*, $\sigma_{3,min}$, $\sigma_{3,max}$, σ_3, $\sigma_{3,i}$, $\sigma_{1,i}$, $S_{\sigma 1}$;

– расчетные значения tgφ и *c* по формуле (8).

Приложение Ж
(обязательное)

Статистические таблицы

Таблица Ж.1 – **Значения критерия *v* при двусторонней доверительной вероятности α = 0,95**

Число определений *n*	Значение критерия *v*	Число определений *n*	Значение критерия *v*	Число определений *n*	Значение критерия *v*
3	1,41	19	2,75	35	3,02
4	1,71	20	2,78	36	3,03
5	1,92	21	2,80	37	3,04
6	2,07	22	2,82	38	3,05
7	2,18	23	2,84	39	3,06
8	2,27	24	2,86	40	3,07
9	2,35	25	2,88	41	3,08
10	2,41	26	2,90	42	3,09
11	2,47	27	2,91	43	3,10
12	2,52	28	2,93	44	3,11
13	2,56	29	2,94	45	3,12
14	2,60	30	2,96	46	3,13
15	2,64	31	2,97	47	3,14
16	2,67	32	2,98	48	3,14
17	2,70	33	3,00	49	3,15
18	2,73	34	3,01	50	3,16

Таблица Ж.2 – **Значения коэффициента t_α**

Число степеней	Значения коэффициента t_α при односторонней доверительной вероятности α, равной					
свободы К	0,85 (0,70)	0,90 (0,80)	0,95 (0,90)	0,975 (0,95)	0,98 (0,96)	0,99 (0,98)
1	2	3	4	5	6	7

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 скобках приведены значения двусторонней доверительной вероятности α.

Таблица Ж.3 – **Значения коэффициента V_α (α = 0,95)**

λ / K	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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	2,24	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	2,22	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 Ж.4 – **Значения критерия F_α при доверительной вероятности α = 0,95**

K_1 / K_2	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	30	40	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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 соответственно числителя и знаменателя.

Ключевые слова: грунты, статистическая обработка результатов испытаний, инженерно-геологические изыскания, проектирование, строительство, инженерно-геологический элемент, нормативное значение характеристики грунта, расчетное значение характеристики грунта.