ДальНИИС Госстроя СССР

Методика

оценки прочности и сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями

Москва 1989

gost.e-ecolog.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
1. Общие положения 5
2. Определение физических характеристик грунтов 7
3. Определение прочностных характеристик грунтов 9
4. Определение модулей деформации грунтов 14

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. **Оценка механической прочности крупнообломочных фракций грунта** 16

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. **Нормативные характеристики c, φ и E крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями** 18

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. **Примеры определения нормативных характеристик крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями** 22

Нормативно-производственное издание

ДальНИИС Госстроя СССР

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ И СЖИМАЕМОСТИ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ С ПЫЛЕВАТЫМ И ГЛИНИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ И ПЫЛЕВАТЫХ И ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ С КРУПНООБЛОМОЧНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Редактор М.А. Жарикова
Мл. редактор Т.А. Самсонова
Технический редактор И.В. Берина
Корректор Л.А. Егорова
Оператор М.В. Карамнова
Н/К

Подписано в печать 28.06.89 Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная № 2
Печать офсетная Усл. печ.л. 1,39 Усл. кр.-отт. 1,77 Уч.-изд. л. 1,46
Тираж 9000 экз. Изд. №XII–3081 Заказ 2517 Цена 5 коп.

Стройиздат. 101442 Москва, Каляевская ул., 23а

Московская типография № 9
НПО "Всесоюзная книжная палата"
Госкомиздата СССР
109033, Москва, Волочаевская ул., 40

Дальневосточный
научно-исследовательский институт
по строительству

(ДальНИИС) Госстроя СССР

Методика

оценки прочности и сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями

Москва Стройиздат 1989

УДК 624.131.439

Рекомендовано к изданию Научно-техническим советом ДальНИИС Госстроя СССР.

Методика оценки прочности и сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями /ДальНИИС. – М.: Стройиздат, 1989. – 24 с.

Рассмотрены вопросы определения физических и прочностных характеристик грунтов, а также модулей их деформации. Дана оценка механической прочности крупнообломочных фракций грунтов.

Для инженерно-технических работников изыскательских и проектных организаций.

М $\frac{3204000000 - 224}{047(01) - 89}$ Инструкт.-нормат., I вып. – 101 – 88

© Стройиздат, 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Крупнообломочные грунты с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватые и глинистые грунты с крупнообломочными включениями (для краткости обломочно-пылевато-глинистые грунты) являются сложными природными многокомпонентными системами. Такие грунты, согласно ГОСТ 25100–82, относятся к двум различным подгруппам: подгруппе крупнообломочных и подгруппе пылеватых и глинистых. Исследования ДальНИИС показали, что формальный признак отнесения грунтов к крупнообломочным – содержание в гранулометрическом составе более 50% частиц крупнее 2 мм не является одновременно границей качественного изменения их механических свойств. С позиций закономерностей изменения механических свойств, обломочно-пылевато-глинистые грунты с содержанием 20–90% обломков должны рассматриваться как грунты одного типа.

С другой стороны, отдельно взятые обломки скальных пород (частицы более 2 мм) и пылеватый и глинистый заполнитель (частицы менее 2 мм) принципиально различны как по размеру фракций, так и по механическим свойствам. С этой точки зрения обломочно-пылевато-глинистые грунты можно рассматривать как естественные смеси грунтов двух типов: крупнообломочных и пылеватых и глинистых.

В зависимости от петрографического состава исходной скальной породы, степени ее выветрелости и генетического типа грунта обломки скальных пород, содержащиеся в грунтах, могут иметь различную прочность и окатанность.

В общем случае параметры механических свойств обломочно-пылевато-глинистого грунта зависят от следующих физических характеристик составляющих компонентов:

гранулометрического (зернового) состава грунта;

прочности обломков;

степени окатанности обломков;

степени глинистости (число пластичности) пылевато-глинистого заполнителя;

консистенции (показатель текучести) пылевато-глинистого заполнителя;

плотности грунта.

При шести независимых переменных понять их взаимозависимости и обосновать количественные связи между физическими характеристиками и параметрами механических свойств грунтов на основе систематизации результатов полевых опытов чрезвычайно трудно, поскольку в природных условиях эти факторы присутствуют одновременно и в различных соотношениях. Поэтому экспериментальные исследования, проведенные в ДальНИИС для обоснования положений настоящей Методики, выполнены на модельных грунтах с использованием принципа стабилизации переменных на экстремальных уровнях. Эти исследования привели к установлению безразмерного универсального физического эквивалента механических свойств обломочно-пылевато-глинистого грунта, явившегося основой построения системы связи между его физическими и механическими характеристиками.

Установлено наличие весьма тесных связей физического эквивалента грунтов с их прочностными и деформационными параметрами, а также с плотностью

грунта. Полученные регрессионные уравнения, отображающие эти связи, были положены в основу настоящей Методики, дающей, с одной стороны, возможность контролировать результаты полевых опытов, и, с другой стороны, – оценивать значения механических параметров обломочно-пылевато-глинистых грунтов через физические характеристики обломоков и пылевато-глинистого заполнителя.

Методика разработана ДальНИИС Госстроя СССР (д-р. техн. наук В.И. Федоров, при участии инж. В.В. Сергевниной, кандидатов техн. наук Л.И. Аминовой и В.Н. Шведова, инженеров В.Г. Алехиной, О.В. Добудько и И.Н. Выходцевой).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая Методика устанавливает основные правила определения нормативных значений углов внутреннего трения φ, удельных сцеплений с и модулей дефррмации Е по физическим характеристикам компонентов для четвертичных крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями элювиального, делювиального и аллювиального происхождения испытываемых в соответствии ГОСТ 12248–78* по способу:

консолидированного среза;

неконсолидированного среза.

Примечание. Методика не распространяется на определение всех механических характеристик вечномерзлых грунтов, оттаивающих в процессе эксплуатации сооружений, а также характеристик прочности при наличии естественных поверхностей скольжения и для условий вторичного сдвига по подготовленной поверхности.

1.2. Нормативные характеристики грунтов, определяемые в соответствии с Методикой, допускается использовать для предварительных и окончательных расчетов оснований зданий и сооружений II и III классов и опор воздушных линий электропередачи и связи независимо от их класса.

Методика может быть использована при сопоставлении значений характеристик грунтов, полученных в полевых условиях одним или несколькими способами, при различном процентном содержании обломков, разной их механической прочности, различных типах и консистенции заполнителя.

1.3. В соответствии с ГОСТ 25100–82 крупнообломочные грунты, содержащие в зерновом составе более 50% по массе обломоков скальных пород крупнее 2 мм, подразделяются по гранулометрическому составу на типы согласно табл. 1.

Пылеватый и глинистый заполнитель в крупнообломочных грунтах и пылеватые и глинистые грунты с крупнообломочными включениями классифицируются в соответствии с табл. 2.

1.4. Исходными физическими характеристиками при определении нормативных значений параметров механических свойств φ, с, Е крупнообломочных грунтов с

Таблица 1

Крупнообломочные грунты

Типы	Описание
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый) – частиц крупнее 200 мм более 50% Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц – щебенистый) – частиц крупнее 10 мм более 50% Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный) – частиц крупнее 2 мм более 50%	При наличии песчаного заполнителя более 40% или пылеватого и глинистого заполнителя более 30% общей массы абсолютно сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта должно содержаться наименование заполнителя. Состав заполнителя устанавливается после удаления из образца крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм. Для частиц крупнее 2 мм необходимо указывать их петрографический состав.

Таблица 2

Подгруппа обломочных пылеватых и глинистых грунтов (элювиальные, пролювиальные, делювиальные, аллювиальные и др.)		
Тип	Вид	Разновидность
По числу пластичности I_p, %: супеси $1 \leqslant I_p \leqslant 7$ суглинки $7 < I_p \leqslant 17$ глины $I_p > 17$	По наличию включений: супесь, суглинок или глина с галькой (щебнем) или с гравием (дресвой), если содержание (по массе) соответствующих частиц крупнее 2 мм составляет 15–25%; супесь, суглинок или глина галечниковые (щебенистые) или гравелистые (дресвяные), если содержание (по массе) соответствующих частиц крупнее 2 мм св. 25 до 50%	По консистенции, характеризуемой показателем текучести I_L: супеси: твердые $I_L < 0$ пластичные $0 \leqslant I_L \leqslant 1$ текучие $I_L > 1$ суглинки и глины: твердые $I_L < 0$ полутвердые $0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$ тугопластичные $0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}5$ мягкопластичные $0{,}5 < I_L \leqslant 0{,}75$ текучепластичные $0{,}75 < I_L \leqslant 1$ текучие $I_L > 1$

пылевато-глинистым заполнителем и пылевато-глинистых грунтов с крупнообломочными включениями являются:

гранулометрический (зерновой) состав грунта;

природная влажность пылевато-глинистого заполнителя;

пределы пластичности пылевато-глинистого заполнителя (влажность на границе текучести w_L, влажность на границе раскатывания w_p);

механическая прочность крупных обломков (частицы крупнее 2 мм) по испытанию на истирание (см. п. 2.6).

1.5. Определение нормативных значений механических характеристик обломочно-пылевато-глинистых грунтов по настоящей Методике допустимо при соблюдении условий, указанных в табл. 3.

1.6. В соответствии со СНиП 2.02.01-83 расчетные значения механических характеристик грунтов X определяются по формуле

$$X = X_n / \gamma_g, \qquad (1)$$

где X_n – нормативное значение механической характеристики, определяемое в соответствии с настоящей Методикой; γ_g – коэффициент надежности по грунту,

принимаемый со следующими значениями (СНиП 2.02.01-83): в расчетах оснований по деформации $\gamma_g = 1$; в расчетах оснований по несущей способности; для удельного сцепления $\gamma_{g(c)} = 1{,}5$; для угла внутреннего трения – $\gamma_{g(\varphi)} = 1{,}15$.

Таблица 3

Механические характеристики грунта	Способ испытания	Показатель текучести пылевато-глинистого заполнителя I_L	Предельные значения процентных содержаний обломков при типе заполнителя, min/max		
			Супесь	Суглинок	Глина
Угол внутреннего трения φ	Консолидированный срез по фиксированной поверхности	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	20/90	30/90	40/90
		$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}50$	20/90	30/90	50/90
		$0{,}50 < I_L \leqslant 0{,}75$	20/90	30/90	50/90
Удельное сцепление с	Неконсолидированный срез по фиксированной поверхности	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	20/90	20/90	30/90
		$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}50$	20/90	30/90	40/90
		$0{,}50 < I_L \leqslant 0{,}75$	20/90	30/90	40/90
Модуль деформации E	Штамп $F = 5000$ см^2	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	40/90	40/90	40/90
		$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}50$	40/90	40/90	50/90
		$0{,}50 < I_L \leqslant 0{,}75$	40/90	40/90	50/90

Примечание. Для грунтов, в которых содержание крупных обломков меньше указанных пределов или показатель текучести пылевато-глинистого заполнителя $I_L > 0{,}75$, характеристики грунта определяются только по полевым испытаниям.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

2.1. Для установления нормативных значений прочностных и деформационных характеристик грунтов по рекомендациям Методики используются нормативные значения физических характеристик, вычисленные по формуле

$$\chi_n = 1/n \sum_{i=1}^{n} \chi_i, \qquad (2)$$

где χ_i – частное значение характеристики, n – число определений характеристики.

2.2. Количество определений каждой (см. п. 1.4) физической характеристики n, необходимое для вычисления их нормативных значений, зависит от требуемой точности определения соответствующих параметров механических свойств грунта, класса здания или сооружения и указывается в программе исследований.

Количество одноименных частных определений физических характеристик грунта для каждого выделенного на площадке инженерно-геологического элемента должно быть не менее 6.

Примечание. Количество частных определений физических характеристик грунтов допускается уменьшать при наличии одноименных определений в материалах изысканий, выполненных на той же площадке для того же инженерно-геологического элемента.

2.3. *Гранулометрический состав крупнообломочных грунтов с пылеватым и* глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями определяется в соответствии с ГОСТ 12536–79.

Примечание. Поскольку при определении прочностных и деформационных характеристик грунтов в соответствии с Методикой используется отношение весовых (процентных) содержаний заполнителя (частицы менее 2 мм) и крупных обломков (частицы более 2 мм), определение гранулометрического состава в соответствии с ГОСТ 12536–79 для каждого выделенного инженерно-геологического элемента допускается проводить только по двум пробам. Для остальных четырех проб достаточно выполнить рассев грунта через сито с размерами отверстий 2 мм и выше и определить лишь суммарные процентные содержания частиц более 2 мм и менее 2 мм.

2.4. Для определения природной влажности глинистого заполнителя отбираются пробы из мелкоземной части грунта. После определения влажности отобранных проб каждая проба мелкозема размачивается и пропускается через сито 2 мм. Обломки на сите высушивают до постоянной массы и взвешивают, определяют их влажность и процентное содержание в пробе. Влажность пылеватого и глинистого заполнителя w_1 определяют по формуле

$$w_1 = 100w - p_2W_2/100 - p_2, \qquad (3)$$

где w – влажность пробы (валовая); w_2 – влажность обломоков, %; p_2 – процентное содержание обломков в пробе мелкозема.

При определении влажности пылеватого и глинистого заполнителя следует руководствоваться также ГОСТ 5180–84.

2.5. Предел пластичности (границы текучести и раскатывания) пылевато-глинистого заполнителя определяются в соответствии с ГОСТ 5180–84.

2.6. Подобно скальным грунтам по пределу прочности на одноосное сжатие обломки скальных пород, содержащиеся в крупнообломочных грунтах с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтах с крупнообломочными включениями, по коэффициенту истираемости k_e классифицируются в соответствии с табл. 4. При этом разновидности крупных обломков по коэффициенту истираемости k_e аналогичны разновидностям скальных грунтов по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии R_c.

Коэффициент истираемости k_e определяется испытанием обломков на истирание во вращающемся полочном барабане до точки отказа (см. прил. 1) и вычисляется по формуле

$$k_e = (q_0 - q_1)/q_0, \qquad (4)$$

где q_0 – начальная масса пробы крупнообломочных фракций грунта (до испытания на истирание); q_1 – масса остатка на сите 2 мм после испытания пробы на истирание.

Допускается оценка прочности крупных обломков через коэффициент истираемости k_e^{10}, определяемый по выходу фракций менее 2 мм после обработки

пробы в полочном барабане за один 10-минутный цикл. Для этого предварительно должны быть проведены сопоставительные параллельные испытания проб грунта с определением значений k_e и k_e^{10}.

Испытание крупных обломков на истирание производится в соответствии с правилами, изложенными в прил. 1.

Таблица 4

Разновидность обломков по прочности	Коэффициент истираемости	
	k_e	k_e^{10}
Очень прочные	$k_e < 0,05$	$k_e^{10} < 0,02$
Прочные	$0,05 \leqslant k_e < 0,1$	$0,02 \leqslant k_e^{10} < 0,04$
Средней прочности	$0,1 \leqslant k_e < 0,2$	$0,04 \leqslant k_e^{10} < 0,12$
Малопрочные	$0,2 \leqslant k_e < 0,4$	$0,12 \leqslant k_e^{10} < 0,28$
Пониженной прочности	$k_e > 0,4$	$k_e^{10} > 0,28$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

3.1. Нормативные значения углов внутреннего трения крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями применительно к схеме консолидированного среза φ_n, определяются по формуле

$$\varphi_n = k_1 k_\varphi 46\,(0,3)^{м_т}; \qquad (5)$$

с использованием кривой *1* рис. 1

$$\varphi_n = k_1 k_\varphi \varphi_{n1}, \qquad (6)$$

где k_1 – коэффициент на окатанность крупных обломков для угла внутреннего трения: для грунтов, содержащих окатанные обломки k_1 определяется по графику рис. 2, для грунтов с остроугольными обломками, независимо от их прочности, следует принимать $k_1 = 1$; k_φ – коэффициент, учитывающий прочность крупных обломков, определяется по табл. 5; φ_{n1} – нормативное значение угла внутреннего трения при консолидированном срезе грунта, содержащего остроугольные обломки очень прочных скальных пород ($k_1 = k_\varphi = 1$), определяется по кривой *1* рис. 1; $м_т$ – физический эквивалент грунта, определяемый по формуле

$$м_т = p_1/p_2\, I_p(1 + I_L), \qquad (7)$$

где p_1 – процентное (по массе) содержание пылеватого или глинистого заполнителя в гранулометрическом составе грунта, определяется последовательным суммированием процентных содержаний всех частиц менее 2 мм; p_2 – то же, крупных обломков, определяется последовательным суммированием процентных содержаний всех частиц крупнее 2 мм; I_p – *число пластичности пылеватого или глинистого*

Таблица 5

Коэффициент истираемости обломков k_e	Коэффициент k_φ при значениях $м_т$									
	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,05	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	1	1
0,1	0,87	0,88	0,89	0,9	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	1
0,2	0,77	0,77	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	0,9	0,94	0,98
0,3	0,63	0,64	0,66	0,69	0,72	0,75	0,77	0,81	0,86	0,93
0,4 и более	0,52	0,53	0,54	0,57	0,61	0,65	0,67	0,72	0,78	0,88

Примечание. Для промежуточных значений коэффициента истираемости обломков k_e и значений эквивалента $м_т$ коэффициент k_φ следует определять линейной интерполяцией.

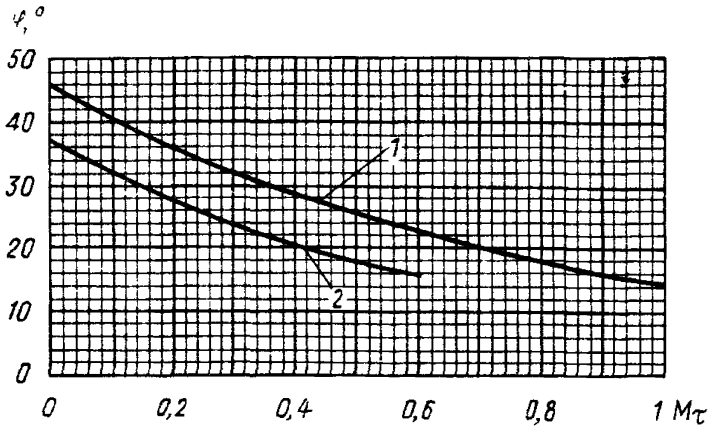

Рис. 1. График зависимости нормативных углов внутреннего трения φ_{n1} и φ_{n2} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта $м_т$. Грунты с очень прочными ($k_e < 0,05$), остроугольными обломками

1 – консолидированный срез; 2 – неконсолидированный срез

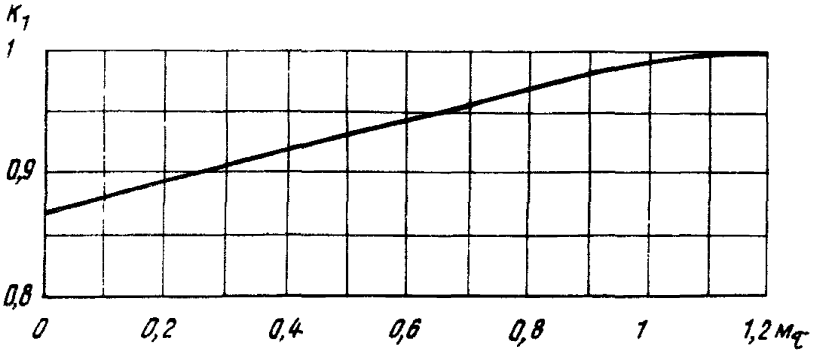

Рис. 2. График коэффициента k_1 на окатанность крупных обломков для угла внутреннего трения в зависимости от физического эквивалента грунта $м_т$

заполнителя, в долях единицы; I_L – показатель текучести пылеватого или глинистого заполнителя.

Примечание. Определение φ_n по формулам (5) и (6) справедливо в интервале значений физического эквивалента $0 < м_т \leqslant 1$.

3.2. Нормативные значения удельных сцеплений крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с круп-

необломочными включениями применительно к схеме консолидированного среза определяется по формуле

$$c_n = k_2 k_\rho 79 м_\tau^{0,32} / (1 + I_L)^{3,62}; \quad (8)$$

с использованием номограммы рис. 3

$$c_n = k_2 k_\rho c_{n1}, \quad (9)$$

где k_2 – коэффициент на окатанность крупных обломков для удельного сцепления: для грунтов, содержащих окатанные обломки, следует принимать $k_2 = 0,9$; для грунтов с остроугольными обломками, независимо от их прочности, $k_2 = 1$; k_ρ – коэффициент, учитывающий плотность грунта, принимается по табл. 6 в зависимости от степени соответствия фактической плотности грунта ρ, т/м^3, его нормированным значениям, указанным в табл. 7; $м_\tau$; I_L – имеют те же значения, что и в формуле (7); c_{n1} – нормативное значение удельного сцепления при консолидированном срезе грунта нормированной плотности, содержащего очень прочные остроугольные обломки ($k_2 = k_\rho = 1$), определяется по номограмме рис. 3.

Таблица 6

Плотность грунта ρ, т/м^3	Коэффициент k_ρ
Соответствует значениям, указанным в табл. 7	1
Превышает эти значения на 0,1	1,1
Менее этих значений на 0,1	0,9
То же, на 0,2	0,8

Таблица 7

Показатель текучести заполнителя I_L	Нормированные значения плотности грунта ρ_n, т/м^3, при содержании крупных обломков (частицы больше 2 мм), %						
	20	30	40	50	60	73	100
$0 \leqslant I_L \leqslant 0,25$	2,03	2,08	2,13	2,17	2,21	2,27	1,7
$0,25 < I_L \leqslant 0,5$	2,02	2,07	2,11	2,15	2,19	2,26	1,7
$0,5 < I_L \leqslant 0,75$	2,00	2,05	2,09	2,13	2,17	2,25	1,7

где k_2; k_ρ; $м_\tau$; I_L – имеют те же значения, что и в формуле (8); c_{n2} – нормативное значение удельного сцепления при неконсолидированном срезе грунта нормированной плотности, содержащего остроугольные обломки очень прочных скальных пород ($k_2 = k_\rho = 1$), определяется по номограмме рис. 4.

Примечание. Определение удельного сцепления по формулам (12) и (13) справедливо в интервале значений физического эквивалента грунта $0 < м_\tau \leqslant 0,6$ с учетом п. 1.5.

3.3. Нормативные значения углов внутреннего трения крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем пылеватых и глинистых грунтов с

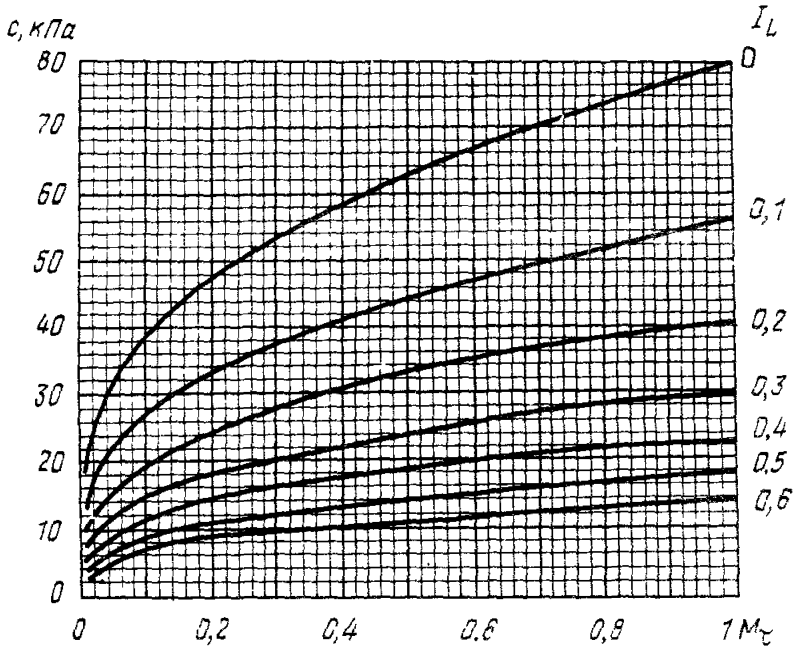

Рис. 3. Номограмма зависимости нормативного удельного сцепления c_{n1} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта $м_т$ и показателя текучести I_L пылеватого или глинистого заполнителя. Грунты с очень прочными (k_e < < 0,05), остроугольными обломками. Консолидированный срез

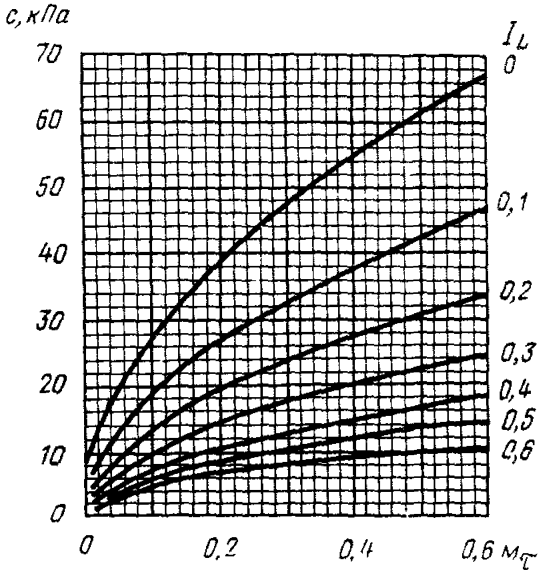

Рис. 4. Номограмма зависимости нормативного удельного сцепления c_{n2} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта $м_т$ и показателя текучести I_L пылеватого или глинистого заполнителя. Грунты с очень прочными ($k_{ио}$ < 0,03), остроугольными обломками. Неконсолидированный срез

крупнообломочными включениями применительно к схеме неконсолидированного среза φ_n', град, определяется по формулам

$$\varphi_n' = k_n k_\varphi 37\,(0{,}234)^{м_\tau}, \tag{10}$$

с использованием кривой *2* рис. 1

$$\varphi_n' = k_1 k_\varphi \varphi_{n2}, \tag{11}$$

где k_1; k_φ; $м_\tau$ – имеют те же значения, что и в формуле (6); φ_{n2} – нормативное значение угла внутреннего трения при неконсолидированном срезе грунта, содержащего остроугольные обломки очень прочных скальных пород; ($k_1 = k_\varphi = 1$), определяется по кривой *2* рис. 1.

Примечание. Определение φ_n' по формулам (10) и (11) справедливо в интервале значений физического эквивалента грунта $0 < м_\tau \leqslant 0{,}6$.

3.4. Нормативные значения удельных сцеплений крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями применительно к схеме неконсолидированного среза c_n', кПа, определяется по формулам

$$c_n' = k_2 k_\rho 87 м_\tau^{0,51}/(1 + I_L)^{3,85}, \tag{12}$$

с использованием номограммы рис. 4

$$c_n' = k_2 k_\rho c_{n2}, \tag{13}$$

3.5. Для предварительной оценки и ориентировочных расчетов нормативные значения углов внутреннего трения и удельных сцеплений крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями допускается принимать по формулам (6), (9), (11), (13) с определением φ_{n1}; c_{n1}; φ_{n2}; c_{n2} по таблицам 1 и 2 прил. 2.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ

4.1. Нормативные значения модулей деформации E, МПа, крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями определяются по формуле

$$E = k_E k_\rho k_L 1/(0{,}088 м_\tau - 0{,}15 м_\tau I_p + 0{,}017), \tag{14}$$

где $м_\tau$ – физический эквивалент грунта по формуле (7); I_p – число пластичности пылеватого или глинистого заполнителя, в долях единицы; k_E – коэффициент, учитывающий прочность крупных обломков, определяется по табл. 8; k_L – коэффициент, зависящий от физического эквивалента грунта $м_\tau$ и показателя текучести пылеватого или глинистого заполнителя I_L, определяется по табл. 9; k_ρ – коэффициент, учитывающий плотность грунта, принимается по табл. 6 в зависимости от степени соответствия фактической плотности грунта ρ, т/м^3 ее нормированным значениям, указанным в табл. 7.

Примечание. Определение модулей деформации грунтов по формуле (14) справедливо при значениях физического эквивалента грунта в интервале $0 < м_\tau \leqslant 0{,}6$ с учетом рекомендаций п. 1.5.

Таблица 8

Прочность обломков по коэффициенту истираемости k_e	Коэффициент k_E при значениях эквивалента $м_\tau$							
	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
< 0,1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,2	0,88	0,89	0,90	0,93	0,95	0,98	1	1
0,3	0,76	0,78	0,81	0,86	0,91	0,96	0,98	1
0,4	0,64	0,67	0,71	0,79	0,86	0,94	0,96	1

Примечание. Для промежуточных значений коэффициента истираемости обломков k_e и физического эквивалента грунта $м_\tau$ значения k_E следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 9

Показатель текучести заполнителя I_L	Коэффициент k_L при значениях эквивалента $м_\tau$							
	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	1	0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
0,2	1	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86
0,3	1	0,88	0,84	0,80	0,78	0,76	0,75	0,74
0,4	1	0,81	0,74	0,68	0,65	0,62	0,61	0,60
0,5	1	0,72	0,63	0,54	0,49	0,45	0,43	0,42
0,6	1	0,65	0,53	0,42	0,36	0,31	0,29	0,28

Примечание. Для промежуточных значений показателя текучести I_L и физического эквивалента грунта $м_\tau$ значения k_L следует определять линейной интерполяцией.

4.2. Для предварительных и ориентировочных расчетов нормативные значения модулей деформации крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями допускается определять по формуле (15) с использованием табл. 3 прил. 2

$$E = k_E k_\rho E_1, \qquad (15)$$

где k_E; k_ρ – имеют те же значения, что и в формуле 14; E_1 – нормативное значение модуля деформации для грунтов, содержащих очень прочные обломки, определяется по табл. 3 прил. 2.

Оценка механической прочности крупнообломочных фракций грунта

По испытаниям на истирание в полочном барабане

1. Отобранные в шурфах или в скважинах образцы грунта нарушенной структуры, достаточные для получения из них крупнообломочных фракций (частицы более 2 мм) не менее 5 кг из каждой геологической выработки (для каждого выделенного инженерно-геологического элемента), помещают в жесткую тару и доставляют в лабораторию.

2. Образец грунта нарушенной структуры промывают водой на сите 2 мм. Остаток на сите подсушивают до воздушно-сухого состояния.

3. Квартованием остатка на сите 2 мм отбирают две пробы крупнообломочных фракций для испытаний на истирание массой 2±0,3 кг.

4. Пробы засыпают в полочный барабан и после обработки ее в течение 10 мин (частота вращения барабана 55–65 мин$^{-1}$) просеивают через сито 2 мм и определяют массу частиц более и менее 2 мм. Дальнейшую обработку пробы в барабане ведут циклами по 2 минуты. После каждого 2-минутного цикла выполняют рассеивание и взвешивание фракций пробы более и менее 2 мм. Истирание пробы обработкой в барабане продолжают до тех пор, пока прирост массы фракций менее 2 мм после очередного 2-минутного цикла станет равным 0,5% начальной массы пробы (точка отказа). Установленное для этого момента значение массы фракций менее 2 мм используют для вычисления коэффициента истираемости обломков.

Примечание. При определении коэффициента истираемости обломков по сокращенному циклу испытаний k_e^0 проба обрабатывается в барабане однократно в течение 10 минут.

5. Определяют коэффициент истираемости обломков k_e и оценивают их механическую прочность в соответствии с п. 2.6.

Нормативное значение коэффициента истираемости обломков для каждого выделенного инженерно-геологического элемента определяют по результатам испытаний не менее чем шести проб в соответствии с п. 2.1.

По испытаниям на срез в стандартном сдвиговом приборе

1. После выполнения операций по пп. 1 и 2, предусмотренных подразделом настоящего Приложения, остаток на сите 2 мм просеивают через сито 10 мм. Прошедшие через это сито обломки квартуют на 6 частей.

2. Загружают по три кольца сдвигового прибора обломками каждой отквартованной части с уплотнением до $\rho = 1{,}65 - 1{,}7$ г/см^3 и проводят срезы при нормальных давлениях: 0,1; 0,2 и 0,3 МПа, согласно ГОСТ 12248–78* применительно к методике консолидированного среза.

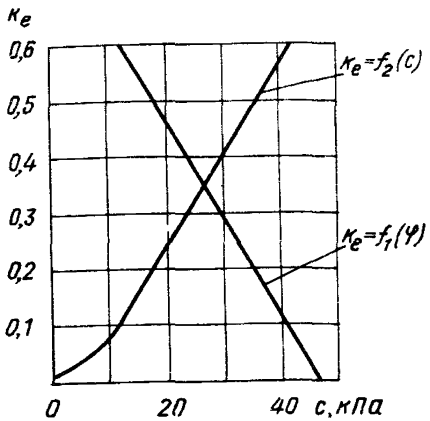

График зависимости коэффициента истираемости k_e крупнообломочных фракций грунта от угла внутреннего трения – $k_e = f_1(\varphi)$ удельного сцепления – $k_e = f_2(c)$ при консолидированном срезе

3. Определяют нормативные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления с в соответствии с ГОСТ 20522–75.

4. Определяют значения коэффициентов истираемости обломков по углу внутреннего трения $k_e = f_1(\varphi)$ и удельному сцеплению $k_e = f_2(c)$ по рис. прил. 1. За нормативное значение принимают среднее арифметическое величин k_e по φ и с.

Нормативные характеристики c, φ и E крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями

Таблица 1

Обломки очень прочные ($k_e < 0{,}03$)

Заполнитель и пределы нормативных значений его показателя текучести I_L		Обозначения характеристик грунта	Характеристики грунтов при содержании крупных обломков, %							
			20	30	40	50	60	70	80	90
Супесь	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	c_{n1}	28	24	21	18	16	14	12	9
		φ_{n1}	38	41	43	44	44	45	45	46
	$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}75$	c_{n1}	11	9	8	7	6	5	4	3
		φ_{n1}	36	40	42	43	44	45	45	46
Суглинок	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	c_{n1}	–	36	31	27	24	19	17	14
		φ_{n1}	–	31	36	39	41	43	44	45
	$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}5$	c_{n1}	–	18	16	14	12	11	9	7
		φ_{n1}	–	29	34	38	40	42	44	45
	$0{,}5 < I_L \leqslant 0{,}75$	c_{n1}	–	11	10	8	7	6	5	4
		φ_{n1}	–	27	32	36	39	42	44	45
Глина	$0 \leqslant I_L \leqslant 0{,}25$	c_{n1}	–	43	38	33	29	25	21	16
		φ_{n1}	–	23	29	34	37	40	43	45
	$0{,}25 < I_L \leqslant 0{,}5$	c_{n1}	–	–	19	17	15	13	11	8
		φ_{n1}	–	–	26	31	36	39	42	44
	$0{,}5 < I_L \leqslant 0{,}75$	c_{n1}	–	–	–	10	9	8	6	5
		φ_{n1}	–	–	–	30	34	38	41	44

Таблица 2

Обломки очень прочные ($k_e < 0,03$)

Заполнитель и пределы нормативных значений его показателя текучести I_L		Обозначения характеристик грунта	Характеристики грунтов при содержании крупных обломков, %							
			20	30	40	50	60	70	80	90
Супесь	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,75$	c_{n2}	11	8	6	5	4	3	3	2
		φ_{n2}	28	31	33	34	35	36	36	37
Суглинок	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,25$	c_{n2}	40	31	24	20	16	13	10	6
		φ_{n2}	17	23	27	30	32	34	35	36
	$0,25 < I_L \leqslant 0,5$	c_{n2}	21	16	12	10	8	6	5	3
		φ_{n2}	14	21	26	29	31	33	35	36
	$0,5 < I_L \leqslant 0,75$	c_{n2}	–	9	7	6	5	4	3	2
		φ_{n2}	–	19	24	28	30	32	34	36
Глина	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,25$	c_{n2}	–	42	34	27	22	17	13	9
		φ_{n2}	–	16	21	25	29	31	33	35
	$0,25 < I_L \leqslant 0,5$	c_{n2}	–	–	17	14	11	9	7	4
		φ_{n2}	–	–	19	23	27	30	33	35
	$0,5 < I_L \leqslant 0,75$	c_{n2}	–	–	10	8	6	5	4	3
		φ_{n2}	–	–	16	21	26	29	32	35

Таблица 3

Обломки прочные ($k_e \leqslant 0,1$)

Заполнитель и пределы нормативных значений его показателя текучести I_L		Обозначения характеристик грунта	Модуль деформации E_1, МПа, при содержании в грунте крупных обломков, %					
			40	50	60	70	80	90
Супеси	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,75$	E_1	35	40	45	49	53	57
Суглинки	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,25$	E_1	30	36	41	46	50	55
	$0,25 < I_L \leqslant 0,5$	E_1	–	25	31	36	43	51
	$0,5 < I_L \leqslant 0,75$	E_1	–	–	18	24	31	45
Глины	$0 \leqslant I_L \leqslant 0,25$	E_1	25	30	36	41	47	53
	$0,25 < I_L \leqslant 0,5$	E_1	–	20	25	31	37	47
	$0,5 < I_L \leqslant 0,75$	E_1	–	–	12	18	24	37

1. Нормативные значения характеристик φ_{n1}; c_{n1} в табл. 1 соответствуют схеме консолидированного среза, а φ_{n2}; c_{n2} в табл. 2 – схеме неконсолидированного среза и относятся к грунтам нормированной плотности (табл. 7), в которых крупные обломки имеют остроугольную форму и представлены очень прочными скальными породами ($k_e < 0,05$):

для грунтов, имеющих окатанные обломки (гравий, галька), табличные значения угла внутреннего трения следует принимать с коэффициентом на окатанность k_1, определяемым по графику рис. 2 Методики, удельного сцепления – с коэффициентом $k_2 = 0,9$;

для грунтов, имеющих обломки с прочностью $k_e > 0,05$, табличные значения углов внутреннего трения следует умножать на коэффициент k_φ учитывающий прочность обломков, определяемый по табл. 5;

при фактической природной плотности грунтов, отличающейся от нормированной табл. 7, значения удельного сцепления следует принимать с коэффициентом k_ρ, определяемым по табл. 6.

2. Характеристики грунтов даны для средних значений чисел пластичности заполнителя (супеси $I_p = 3,5$; суглинки $I_p = 12$; глины $I_p = 22,5$) и средних значений показателя текучести I_L, указанных в интервалах. Для промежуточных значений чисел пластичности и показателей текучести глинистого заполнителя, а также процентного содержания крупных обломков значения φ_{n1} и c_{n1} φ_{n2} и c_{n2} следует определять линейной интерполяцией.

3. При значениях показателя текучести заполнителя $I_L < 0$ характеристики φ_{n1} и c_{n1}; φ_{n2} и c_{n2} следует принимать по соответствующему нижнему пределу ($I_L = 0$).

4. При значениях показателя текучести заполнителя $I_L > 0,95$ характеристики φ_n; c_n; φ_n'; c_n' следует определять по данным непосредственных испытаний этих грунтов.

5. Нормативные значения модуля деформации E_1, приведенные в табл. 3, относятся к грунтам нормированной плотности (табл. 7) как с остроугольными, так и с окатанными обломками, представленными прочными скальными породами ($k_e < 0,1$):

для грунтов, имеющих обломки с прочностью $k_e \geqslant 0,1$, табличные значения модулей деформации следует умножать на коэффициент k_E, учитывающий прочность обломков, определяемый по табл. 8;

при фактической природной плотности грунтов, отличающейся от нормированной табл. 7, значения модуля деформации следует принимать с коэффициентом k_ρ, определяемым по табл. 6.

6. Модули деформации даны для средних значений чисел пластичности заполнителя (супеси – $I_p = 3,5$; суглинки – $I_p = 12$; глины $I_p = 22,5$). Для промежуточных значений чисел пластичности и показателей текучести глинистого заполнителя, а также процентного содержания в грунте крупных обломков значения E_1 следует определять линейной интерполяцией.

7. При значениях показателя текучести заполнителя $I_L > 0,75$ модули деформации грунтов следует определять по результатам полевых испытаний.

Примеры определения нормативных характеристик крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями

Пример 1

Наименование грунта: щебенистая делювиальная глина. Коэффициент истираемости крупнообломочных фракций грунта $k_e = 0,02$.

Физические характеристики заполнитея: естественная влажность в долях единицы $w_1 = 0,320$; влажность на границе текучести $w_L = 0,536$; влажность на границе раскатывания $w_p = 0,313$. Плотность грунта $\rho = 2,13$ т/м^3.

Зерновой состав грунта

Крупность частиц, мм	при содержании частиц, %
40–20	34,2
20–10	4
10–5	2
5–2	1,6
2–1	0,7
1,05	0,1
0,5–0,05	11,1
0,05–0,005	15,1
Менее 0,005	31,2

Число пластичности заполнителя (в долях единицы) составляет

$$I_p = 0,536 - 0,313 = 0,223.$$

Показатель текучести заполнителя

$$I_L = (0,320 - 0,313) / 0,223 = 0,03.$$

Физический эквивалент грунта

$$м_\tau = 58,2/41,8/0,223\,(I_L + 0,03) = 0,32.$$

Нормированная плотность грунта по табл. 7, при содержании обломков $p_2 = 42\%$ и показателе текучести заполнителя $I_L = 0,03$,

$$\rho_n = 2,14 \text{ т/м}^3.$$

Для условий консолидированного среза определяем по формулам (6) и (9):

$$\varphi_n = k_1 k_\varphi \varphi_{n1} = 1 \cdot 1 \cdot 31,5 = 31^\circ;$$

$c_n = k_2 k_\rho c_{n2} = 1 \cdot 1 \cdot 50 = 50$ кПа.

Для условий неконсолидированного среза определяем по формулам (11) и (13):

$\varphi'_n = k_1 k_\varphi \varphi_{n2} = 1 \cdot 1 \cdot 23 = 23^o$;

$c'_n = k_2 k_\rho c_{n2} = 1 \cdot 1 \cdot 43 = 43$ кПа.

Нормативное значение модуля деформации определяем по формуле (15):

$E = k_E k_\rho E_1 = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27$ МПа.

При определении нормативных характеристик по формулам получим следующие значения.

Для условий консолидированного среза – по формулам (5) и (8):

$\varphi_n = k_1 k_\varphi 46 (0,3)^{м_\tau} = 1 \cdot 1 \cdot 46 (0,3)^{0,32} = 31^o$;

$c_n = k_2 k_\rho 79 м_\tau^{0,32} / (I + I_L)^{3,62} = 1 \cdot 1 \cdot 79 \cdot 0,32^{0,32} / (I + 0,03)^{3,62} = 49$ кПа.

Для условий неконсолидированного среза – по формулам (10) и (12):

$\varphi'_n = k_1 k_\varphi 37 (0,234)^{м_\tau} = 1 \cdot 1 \cdot 37 \cdot (0,234)^{0,32} = 23^o$;

$c'_n = k_2 k_\rho 87 м_\tau^{0,51} / (1 + 1_L)^{3,85} = 87 \cdot 0,32^{0,51} / (1 + 0,03)^{3,85} = 43$ кПа.

Модуль деформации грунта определяем по формуле (14):

$E = k_E k_L k_\rho 1 / (0,088 м_\tau - 0,15 м_\tau I_p + 0,017) = 1 \cdot 0,933 \cdot 1 \cdot 1 /$

$/ (0,088 \cdot 0,32 - 0,15 \cdot 0,32 \cdot 0,223 + 0,017) = 27$ МПа.

Пример 2

Наименование грунта: элювиальный щебень с суглинком. По результатам испытаний коэффициент истираемости крупнообломочных фракций грунта $k_e = 0,17$.

Физические характеристики заполнителя: естественная влажность в долях единицы $w_1 = 0,245$, влажность на границе текучести $w_L = 0,37$, влажность на границе раскатывания $w_p = 0,228$, плотность грунта $\rho = 2$ т/м^3.

Зерновой состав природного грунта

Крупность частиц, мм	при содержании частиц, %:
40	5
40–20	28,5

20–10	19,2
10–5	4,1
5–2	3,2
2–1	1,2
1–0,5	0,8
0,5 – 0,05	1,2
0,05–0,005	26,6
менее 0,005	10,2

Число пластичности заполнителя (в долях единицы) составит

$$I_p = 0{,}37 - 0{,}228 = 0{,}142.$$

Показатель текучести заполнителя

$$I_L = (0{,}245 - 0{,}228)/0{,}142 = 0{,}12.$$

Физический эквивалент грунта при $p_1 = 40\%$, $p_2 = 60\%$ и установленных выше значениях числа пластичности и показателя текучести

$$м_т = 40/60 \cdot 0{,}142\,(1 + 0{,}12) = 0{,}106.$$

Определяем следующие значения нормативных характеристик грунта:

для условий консолидированного среза по формулам (6) и (9) с использованием кривой *1* рис. 1 и рис. 3:

$$\varphi_n = k_1 k_\varphi \varphi_{n1} = 1 \cdot 0{,}813 \cdot 40 = 32^\circ;$$

$$c_n = k_2 k_\rho c_{n1} = 1 \cdot 0{,}89 \cdot 26 = 23 \text{ кПа};$$

для условий неконсолидированного среза по формулам (11) и (13) с использованием кривой *2* рис. 1 и рис. 4:

$$\varphi_n' = k_1 k_\varphi \varphi_{n2} = 1 \cdot 0{,}813 \cdot 31{,}5 = 26^\circ;$$

$$c_n' = k_2 k_\rho c_{n2} = 1 \cdot 0{,}89 \cdot 18 = 16 \text{ кПа};$$

модуль деформации грунта по формуле (15) с использованием табл. 3 прил. 2

$$E = k_E k_\rho E_1 = 0{,}932 \cdot 0{,}89 \cdot 30 = 25 \text{ МПа}.$$

Пример 3

Наименование грунта: аллювиальный гравий с супесью.

Физические характеристики заполнителя: естественная влажность в долях единицы $w_1 = 0{,}272$, влажность на границе текучести $w_L = 0{,}3$, влажность на границе раскатывания $w_p = 0{,}24$, плотность грунта $\rho = 2{,}15$ т/м^3, коэффициент истираемости обломков $k_e = 0{,}1$.

Зерновой состав грунта

Крупность частиц, мм	при содержании частиц, %
40–20	5
20–10	4
10–5	35,5
5–2	15,3
2–1	11,8
1–0,5	6,1
0,5–0,05	7,8
0,05–0,005	9,2
менее 0,05	5,3

Число пластичности заполнителя (в долях единицы) составит

$$I_p = 0,3 - 0,24 = 0,06.$$

Показатель текучести

$$I_L = (0,272 - 0,240)/0,06 = 0,53.$$

Физический эквивалент грунта

$$м_т = 40,2/59,8 \cdot 0,06\,(1 + 0,53) = 0,062.$$

Определяем следующие нормативные характеристики грунта:
для условий консолидированного среза – по формулам (6) и (9):

$$\varphi_n = 0,88 \cdot 0,88 \cdot 42,5 = 33^{\circ};\quad c_n = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 65 = 56\ \text{кПа};$$

для условий неконсолидированного среза – по формулам (11) и (13):

$$\varphi_n' = 0,88 \cdot 0,88 \cdot 33,5 = 26^{\circ};\quad c_n' = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 4 = 3\ \text{кПа};$$

модуль деформации грунта – по формуле (15) с использованием табл. 3 прил. 2

$$E = k_E k_\rho E_1 = 1 \cdot 0,97 \cdot 37 = 36\ \text{МПа}.$$

gost.e-ecolog.ru