

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

О Г Л А В Л Е Н И Е

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. Ж а р и к о в а
Мл. редактор Т.А. С а м с о н о в а
Технический редактор И.В. Б е р и н а
Корректор Л.А. Е г о р о в а
Оператор М.В. К а р а м н о в а
Н/К

Подписано в печать 28.06.89 Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная № 2
Печать офсетная Усл. печл. 1,39 Усл. кр.-отт. 1,77 Уч.-изд. л. 1,46
Тираж 9000 экз. Изд. №ХП-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 крупно-обломочных 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 3204000000 — 224 — Инструкт.-нормат., I вып. — 101 — 88
047 (01) — 89

© 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 обломков и пылевато-глинистого заполнителя.

Методика разработана ДальНИИС Госстроя СССР (д-р техн. наук В.И. Федоров, при участии инж. В.В. Сергеевниной, 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 c и модулей деформации E 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 обломков 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 , c , E крупнообломочных грунтов с

Т а б л и ц а 1

Крупнообломочные грунты

Типы	Описание
Валунный грунт (при преобладании неокатанных частиц – глыбовый) – частиц крупнее 200 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 сохраняться наименование заполнителя. Состав заполнителя устанавливается после удаления из образца крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.
Галечниковый грунт (при преобладании неокатанных частиц – щебенный) – частиц крупнее 10 мм более 50%	
Гравийный грунт (при преобладании неокатанных частиц – дресвяный) – частиц крупнее 2 мм более 50%	
	Для частиц крупнее 2 мм необходимо указывать их петрографический состав.

Подгруппа обломочных пылеватых и глинистых грунтов (элювиальные, пролювиальные, делювиальные, аллювиальные и др.)		
Тип	Вид	Разновидность
По числу пластичности I_p , %: супеси $1 \leq I_p \leq 7$ суглинки $7 < I_p \leq 17$ 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, характеризующейся показателем текучести I_L : супеси: твердые $I_L < 0$ пластичные $0 \leq I_L \leq 1$ текучие $I_L > 1$ суглинки и глины: твердые $I_L < 0$ полутвердые $0 \leq I_L \leq 0,25$ тугопластичные $0,25 < I_L \leq 0,5$ мягкопластичные $0,5 < I_L \leq 0,75$ текучепластичные $0,75 < I_L \leq 1$ 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

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

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

принимается 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 $\gamma_{g(\varphi)} = 1,15$.

Т а б л и ц а 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	$0 \leq I_L \leq 0,25$	20/90	30/90	40/90
		$0,25 < I_L \leq 0,50$	20/90	30/90	50/90
		$0,50 < I_L \leq 0,75$	20/90	30/90	50/90
Удельное сцепление c	Неконсолидированный срез по фиксированной поверхности	$0 \leq I_L \leq 0,25$	20/90	20/90	30/90
		$0,25 < I_L \leq 0,50$	20/90	30/90	40/90
		$0,50 < I_L \leq 0,75$	20/90	30/90	40/90
Модуль деформации E	Штамп $F = 5000 \text{ см}^2$	$0 \leq I_L \leq 0,25$	40/90	40/90	40/90
		$0,25 < I_L \leq 0,50$	40/90	40/90	50/90
		$0,50 < I_L \leq 0,75$	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

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

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

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

где w — влажность пробы (валовая); w_2 — влажность обломков, %; 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

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

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.

Т а б л и ц а 4

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

$$\varphi_n = k_1 k_{\varphi} \varphi_{n1} \quad (5)$$

с использованием кривой I рис. 1

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

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 I рис. 1; m_T – физический эквивалент грунта, определяемый по формуле

$$m_T = p_1/p_2 I_p (1 + I_L), \quad (7)$$

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

Т а б л и ц а 5

Коэффициент истираемости обломков k_e	Коэффициент k_φ при значениях m_T									
	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

П р и м е ч а н и е. Для промежуточных значений коэффициента истираемости обломков k_e и значений эквивалента m_T коэффициент k_φ следует определять линейной интерполяцией.

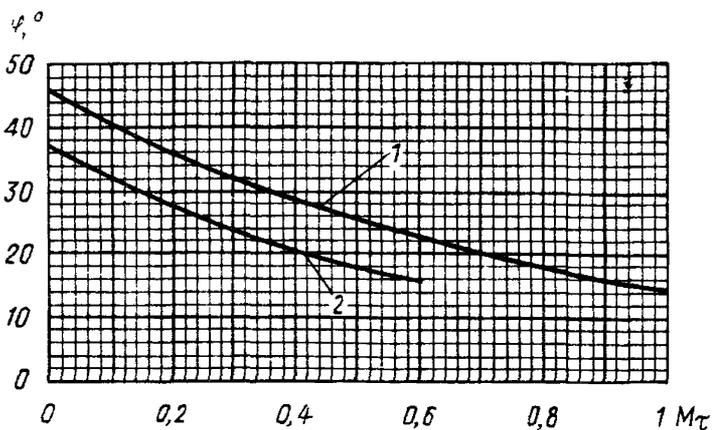


Рис. 1. График зависимости нормативных углов внутреннего трения φ_{n1} и φ_{n2} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта m_T . Грунты с очень прочными ($k_e < 0,05$), остроугольными обломками
 1 – консолидированный срез; 2 – неконсолидированный срез

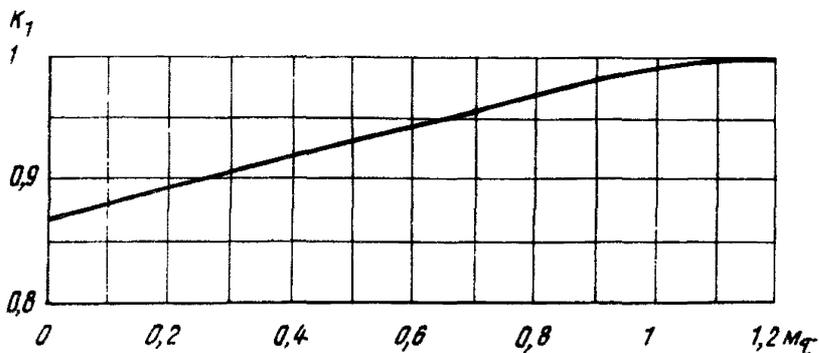


Рис. 2. График коэффициента k_1 на окатанность крупных обломков для угла внутреннего трения в зависимости от физического эквивалента грунта m_T

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

П р и м е ч а н и е. Определение φ_n по формулам (5) и (6) справедливо в интервале значений физического эквивалента $0 < m_T \leq 1$.

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

нообломочными включениями" применительно к схеме консолидированного среза определяется по формуле

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

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/м³, его нормированным значениям, указанным в табл. 7; m_T ; 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.

Т а б л и ц а 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

Т а б л и ц а 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
$0 \leq I_L \leq 0,25$	2,03	2,08	2,13	2,17	2,21	2,27	1,7
$0,25 < I_L \leq 0,5$	2,02	2,07	2,11	2,15	2,19	2,26	1,7
$0,5 < I_L \leq 0,75$	2,00	2,05	2,09	2,13	2,17	2,25	1,7

где k_2 ; k_ρ ; m_T ; 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.

П р и м е ч а н и е. Определение удельного сцепления по формулам (12) и (13) справедливо в интервале значений физического эквивалента грунта $0 < m_T \leq 0,6$ с учетом п. 1.5.

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

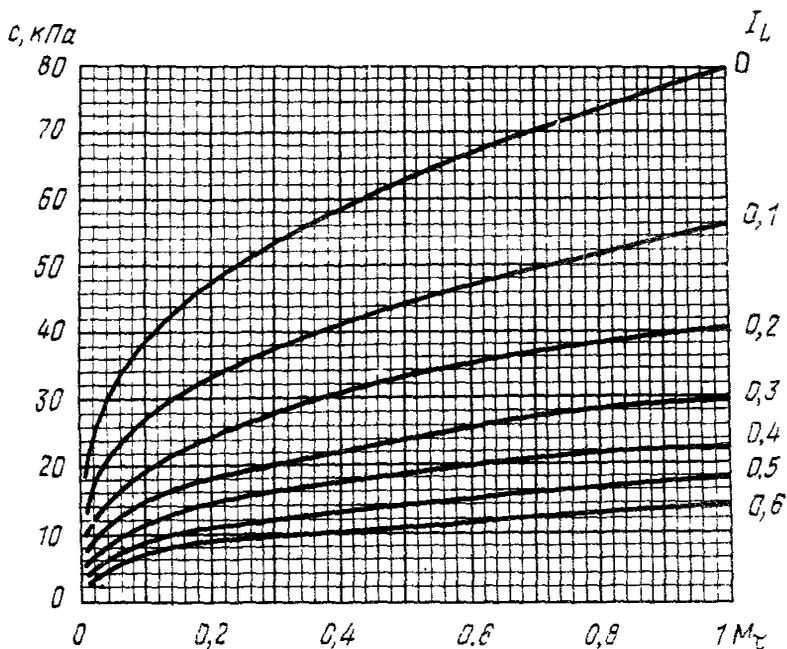


Рис. 3. Номограмма зависимости нормативного удельного сцепления c_{n1} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта m_{τ} и показателя текучести I_L пылеватого или глинистого заполнителя.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

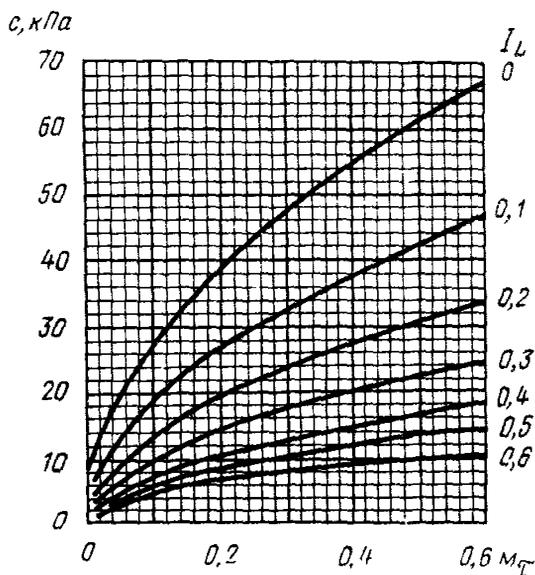


Рис. 4. Номограмма зависимости нормативного удельного сцепления c_{n2} крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями от физического эквивалента грунта m_{τ} и показателя текучести I_L пылеватого или глинистого заполнителя.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

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

$$\varphi'_n = k_n k_{\varphi} 37 (0,234)^{M_T}, \quad (10)$$

с использованием кривой 2 рис. 1

$$\varphi'_n = k_1 k_{\varphi} \varphi_{n2}, \quad (11)$$

где k_1 ; k_{φ} ; M_T – 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.

П р и м е ч а н и е. Определение φ'_n по формулам (10) и (11) справедливо в интервале значений физического эквивалента грунта $0 < M_T \leq 0,6$.

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

$$c'_n = k_2 k_{\rho} 87 M_T^{0,51} / (1 + I_L)^{3,85}, \quad (12)$$

с использованием номограммы рис. 4

$$c'_n = k_2 k_{\rho} c_{n2}, \quad (13)$$

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

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

где M_T – 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 M_T 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/м³ ее нормированным значениям, указанным в табл. 7.

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

Таблица 8

Прочность обломков по коэффициенту истираемости k_e	Коэффициент k_E при значениях эквивалента m_T							
	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 m_T значения k_E следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 9

Показатель текучести заполнителя I_L	Коэффициент k_L при значениях эквивалента m_T							
	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 m_T 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

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

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 $2 \pm 0,3$ кг.

4. Пробы засыпают в полочный барабан и после обработки ее в течение 10 мин (частота вращения барабана $55-65 \text{ мин}^{-1}$) 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.

П р и м е ч а н и е. 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 $\rho = 1,65 - 1,7 \text{ г/см}^3$ и проводят срезы при нормальных давлениях: 0,1; 0,2 и 0,3 МПа, согласно ГОСТ 12248-78* применительно к методике консолидированного среза.

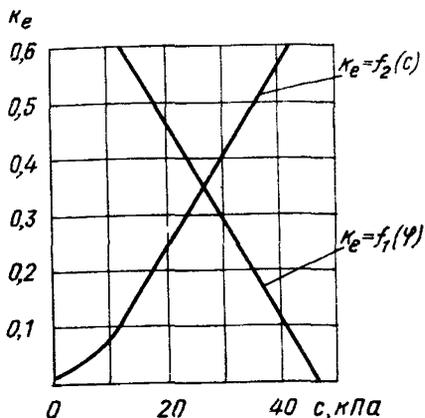


График зависимости коэффициента истираемости k_e крупнообломочных фракций грунта от угла внутреннего трения — $k_e = f_1(\varphi)$ удельного сцепления — $k_e = f_2(c)$ при консолидированном срезе

3. Определяют нормативные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c 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 c .

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

Таблица 1

Заполнитель и пределы нормативных значений его показателя текучести I_L		Обозначения характеристик грунта	Обломки <i>очень</i> прочные ($k_e < 0,03$)							
			Характеристики грунтов при содержании крупных обломков, %							
			20	30	40	50	60	70	80	90
Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_{n1}	28	24	21	18	16	14	12	9
		φ_{n1}	38	41	43	44	44	45	45	46
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c_{n1}	11	9	8	7	6	5	4	3
		φ_{n1}	36	40	42	43	44	45	45	46
Суглинок	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_{n1}	—	36	31	27	24	19	17	14
		φ_{n1}	—	31	36	39	41	43	44	45
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_{n1}	—	18	16	14	12	11	9	7
		φ_{n1}	—	29	34	38	40	42	44	45
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_{n1}	—	11	10	8	7	6	5	4
		φ_{n1}	—	27	32	36	39	42	44	45
Глина	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_{n1}	—	43	38	33	29	25	21	16
		φ_{n1}	—	23	29	34	37	40	43	45
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_{n1}	—	—	19	17	15	13	11	8
		φ_{n1}	—	—	26	31	36	39	42	44
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	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	$0 \leq I_L \leq 0,75$	c_{n2}	11	8	6	5	4	3	3	2
		φ_{n2}	28	31	33	34	35	36	36	37
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_{n2}	40	31	24	20	16	13	10	6
		φ_{n2}	17	23	27	30	32	34	35	36
Суглинок	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_{n2}	21	16	12	10	8	6	5	3
		φ_{n2}	14	21	26	29	31	33	35	36
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_{n2}	—	9	7	6	5	4	3	2
		φ_{n2}	—	19	24	28	30	32	34	36
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_{n2}	—	42	34	27	22	17	13	9
		φ_{n2}	—	16	21	25	29	31	33	35
Глина	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_{n2}	—	—	17	14	11	9	7	4
		φ_{n2}	—	—	19	23	27	30	33	35
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_{n2}	—	—	10	8	6	5	4	3
		φ_{n2}	—	—	16	21	26	29	32	35

Обломки прочные ($k_e \leq 0,1$)

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	$0 \leq I_L \leq 0,75$	E_1	35	40	45	49	53	57
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	E_1	30	36	41	46	50	55
Суглинки	$0,25 < I_L \leq 0,5$	E_1	–	25	31	36	43	51
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	E_1	–	–	18	24	31	45
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	E_1	25	30	36	41	47	53
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	E_1	–	20	25	31	37	47
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	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 $k_e \geq 0,1$, 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 заполнителя: 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 $\rho = 2,13 \text{ т/м}^3$.

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

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

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):

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

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

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

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

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

Нормативное значение модуля деформации определяем по формуле (15):

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

При определении нормативных характеристик по формулам получим следующие значения.

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

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

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

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

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

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

Модуль деформации грунта определяем по формуле (14):

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

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

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 $\rho = 2 \text{ т/м}^3$.

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

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

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 $\rho = 2,15 \text{ т/м}^3$, коэффициент истираемости обломков $k_\phi = 0,1$.

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

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

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

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