

1. Основные требования СП 50-101-2004 к инженерным изысканиям

5.3 Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов

5.3.1 Основными параметрами механических свойств грунтов, определяющими несущую способность оснований и их деформации, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов (угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c и модуль деформации дисперсных грунтов E , предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов R_c). Допускается применять другие параметры, характеризующие взаимодействие фундаментов с грунтом основания и установленные опытным путем (удельные силы пучения при промерзании, коэффициенты жесткости основания и пр.).

Примечание — Далее, за исключением специально оговоренных случаев, под термином «характеристики грунтов» понимают не только механические, но и физические характеристики грунтов, а также упомянутые в настоящем пункте параметры.

5.3.2 Характеристики грунтов природного сложения, а также искусственного происхождения должны определяться, как правило, на основе их непосредственных испытаний в полевых или лабораторных условиях с учетом возможного изменения влажности грунтов в процессе строительства и эксплуатации сооружений, так как для неполностью водонасыщенных ($S_r < 0,8$) глинистых грунтов и пылеватых песков, а также специфических грунтов возможно снижение их прочностных и деформационных характеристик вследствие повышения влажности. Для определения прочностных характеристик φ и c грунтов, для которых прогнозируется повышение влажности, образцы грунтов предварительно насыщают водой до значений влажности, соответствующих прогнозу. При определении модуля деформации в полевых условиях допускается проводить испытания грунта при природной влажности с последующей корректировкой полученного значения модуля деформации на основе компрессионных испытаний.

5.3.3 Достоверными методами определения деформационных характеристик дисперсных грунтов являются полевые испытания статическими нагрузками в шурфах, дудках или котлованах с помощью плоских горизонтальных штампов площадью 2500—5000 см², а также в скважинах или в массиве с помощью винтовой лопасти-штампа площадью 600 см² (ГОСТ 20276).

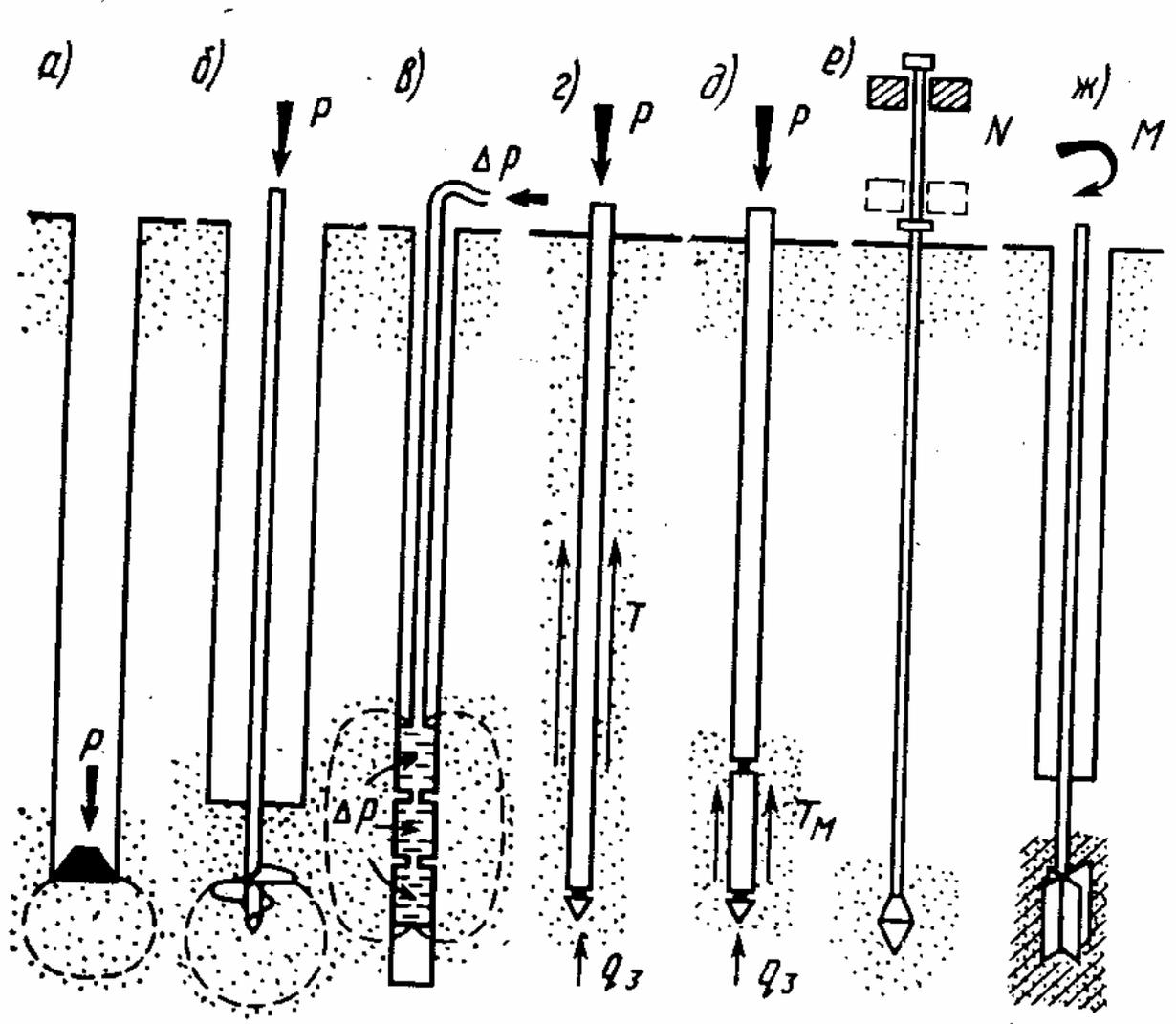


Рис. 1. Основные полевые методы оценки деформируемости и прочности грунтов:
а – испытание плоским штампом; б – испытание винтовым штампом; в - испытание прессиометром; г – статическое зондирование; д – то же, с муфтой трения; е – динамическое зондирование; ж – испытание крыльчаткой

3

5.3.4 Модули деформации E песчаных и глинистых грунтов, не обладающих выраженной анизотропией их свойств в горизонтальном и вертикальном направлениях, могут быть определены по испытаниям радиальными и лопастными прессиометрами в скважинах или массиве (ГОСТ 20276).

Для сооружений I уровня ответственности значения E по данным прессиометрических испытаний должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампами (см. 5.3.3). Для зданий и сооружений II и III уровней ответственности допускается определять значения E только по испытаниям грунтов прессиометрами, используя корректировочные коэффициенты по ГОСТ 20276.

5.3.5 Модули деформации E песков и глинистых грунтов могут быть определены методом статического зондирования, а песков (кроме пылеватых водонасыщенных) — методом динамического зондирования (ГОСТ 19912).

Для сооружений I и II уровней ответственности значения E по данным зондирования должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампами (см. 5.3.3). Для зданий и сооружений III уровня ответственности допускается определять значения E только по результатам зондирования, используя таблицы, приведенные в СП 11-105 (ч. I), или региональные таблицы, приведенные в территориальных строительных нормах.

5.3.6 В лабораторных условиях модули деформации глинистых грунтов могут быть определены в компрессионных приборах и приборах трехосного сжатия (ГОСТ 12248).

Для сооружений I и II уровней ответственности значения E по лабораторным данным должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампами (см. 5.3.3). Для сооружений III уровня ответственности допускается определять значения E только по результатам компрессии, корректируя их с помощью повышающих коэффициентов m_k , приведенных в таблице 5.1. Эти коэффициенты распространяются на четвертичные глинистые грунты с показателем текучести $0 < I_L \leq 1$, при

этом значения модуля деформации по компрессионным испытаниям следует вычислять в интервале давлений 0,1—0,2 МПа.

Т а б л и ц а 5.1

Вид грунта	Значения коэффициента m_k при коэффициенте пористости e , равном					
	0,45—0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	4	3,5	3	2	—	—
Суглинки	5	4,5	4	3	2,5	2
Глины	—	6	6	5,5	5	4,5

П р и м е ч а н и е — Для промежуточных значений e коэффициент m_k определяют интерполяцией.

5.3.7 Прочностные характеристики дисперсных грунтов (угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c) могут быть получены путем испытаний грунтов лабораторными методами на срез или трехосное сжатие (ГОСТ 12248), а в полевых условиях — испытаниями на срез целиков грунта в шурфах или котлованах (ГОСТ 20276).

5.3.8 Для водонасыщенных глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0,5$, органоминеральных и органических грунтов, для которых подготовка целиков для полевых испытаний или отбор образцов для лабораторных испытаний затруднительны, прочностные характеристики для расчета оснований из этих грунтов в нестабилизированном состоянии могут быть определены полевым методом вращательного среза в скважинах или в массиве (ГОСТ 20276).

5.3.9 Значения ϕ и c песков и глинистых грунтов для сооружений II и III уровней ответственности могут быть определены полевыми методами поступательного и кольцевого среза в скважинах (ГОСТ 20276). При этом для сооружений II уровня ответственности полученные значения ϕ и c должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта методами, указанными в 5.3.7.

5.3.10 Значения φ и c песков и глинистых грунтов могут быть определены методом статического зондирования, а песков (кроме пылеватых водонасыщенных) — методом динамического зондирования (ГОСТ 19912).

Для сооружений I и II уровней ответственности полученные зондированием значения φ и c должны уточняться на основе их сопоставления с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта методами, указанными в 5.3.7. В остальных случаях допускается определять значения φ и c только по данным зондирования, используя таблицы, указанные в 5.3.5.

5.3.11 Указанные в 5.3.5, 5.3.6 методы определения модуля деформации и в 5.3.9, 5.3.10 методы определения прочностных характеристик допускается при соответствующем обосновании применять без параллельного проведения испытаний методами, указанными в 5.3.3 и 5.3.7, для сооружений II уровня ответственности (технически несложные сооружения, сооружения, малочувствительные к деформациям основания, и др.).

5.3.12 Предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов определяют в соответствии с ГОСТ 12248.

5.3.16 Число определений характеристик грунтов, необходимое для вычисления их нормативных и расчетных значений, должно устанавливаться в зависимости от степени неоднородности грунтов основания, требуемой точности вычисления характеристики и уровня ответственности сооружения и указываться в программе исследований. Следует учитывать, что увеличение числа определений характеристик грунтов приводит к повышению их расчетных значений и следовательно к более экономичным проектным решениям.

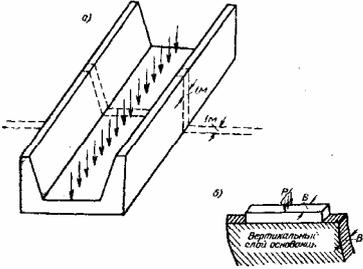
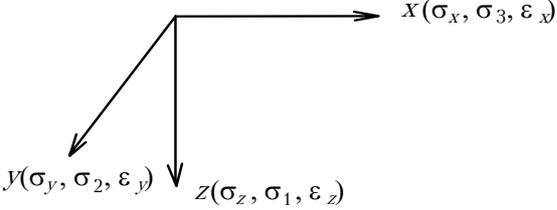
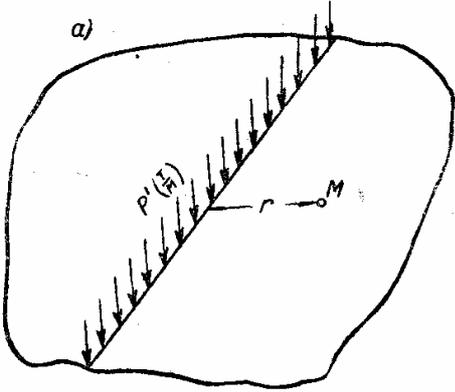
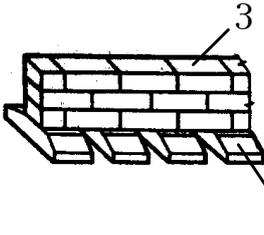
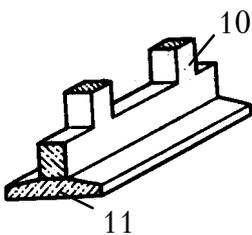
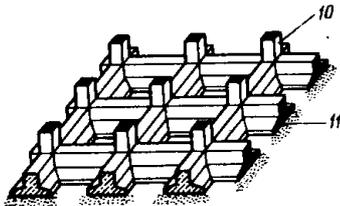
Число одноименных частных определений для каждого выделенного на площадке инженерно-геологического или расчетного грунтового элемента (ГОСТ 20522) должно быть не менее десяти для физических характеристик и не менее шести — для механических характеристик. При определении модуля деформации по результатам испытаний грунтов в полевых условиях штампом допускается ограничиваться результатами трех испытаний (или двух, если они отклоняются от среднего не более чем на 25 %).

СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства

6.23 Техническое задание заказчика на инженерно-геологические изыскания для разработки рабочей документации должно дополнительно к п. 4.13 содержать данные о допустимых осадках проектируемых зданий и сооружений, типах или вариантах фундаментов зданий и сооружений, местоположении и глубинах заложения подвалов, приямков, тоннелей и других подземных сооружений, о необходимости расчетов оснований фундаментов по первой и (или) по второй группам предельных состояний, о техногенном воздействии проектируемого объекта на геологическую среду, а также другие данные, необходимые для установления глубины исследований и состава работ.

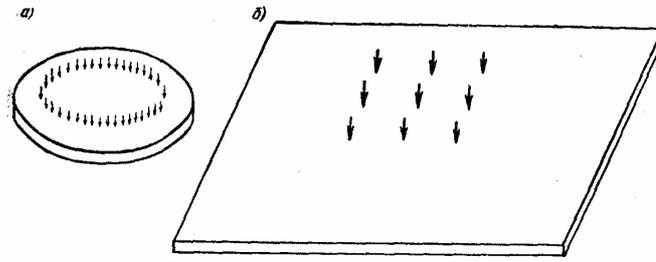
2. Конструкции фундаментов и вид напряженного состояния

Плоская деформация

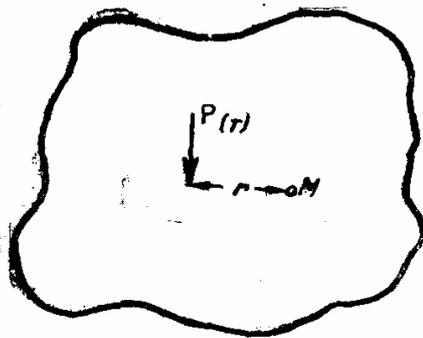
<p>Схема нагружения</p> 	 <p>Система координат</p>
<p>Задача Фламана</p> 	$\omega(r) = -\frac{2}{\pi} P \frac{(1-\nu^2)}{E_0} \ln \frac{r}{d}$
<p>а)  е)  ж) </p> <p>Конструкции фундаментов, грунты основания которых работают в условиях плоской деформации</p>	

Осесимметричная и пространственная деформация

Схема нагружения



б – круглые плиты; б – прямоугольные или квадратные плиты

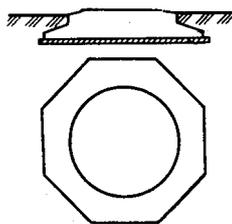


Задача Буссинеска

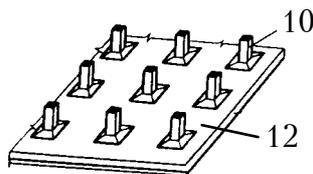
$$w(r) = \frac{P(1 - \nu_0^2)}{\pi E_0 r}$$

Зависимость перемещения поверхности упругого полупространства от действия сосредоточенной силы

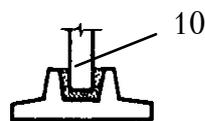
п)



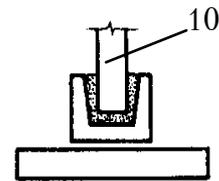
р)



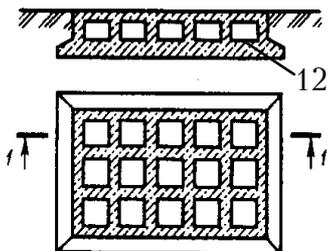
л)



м)



н)



Конструкции фундаментов, грунты основания которых работают в условиях пространственной деформации

3. Характеристики, используемые при определении осадки фундаментов

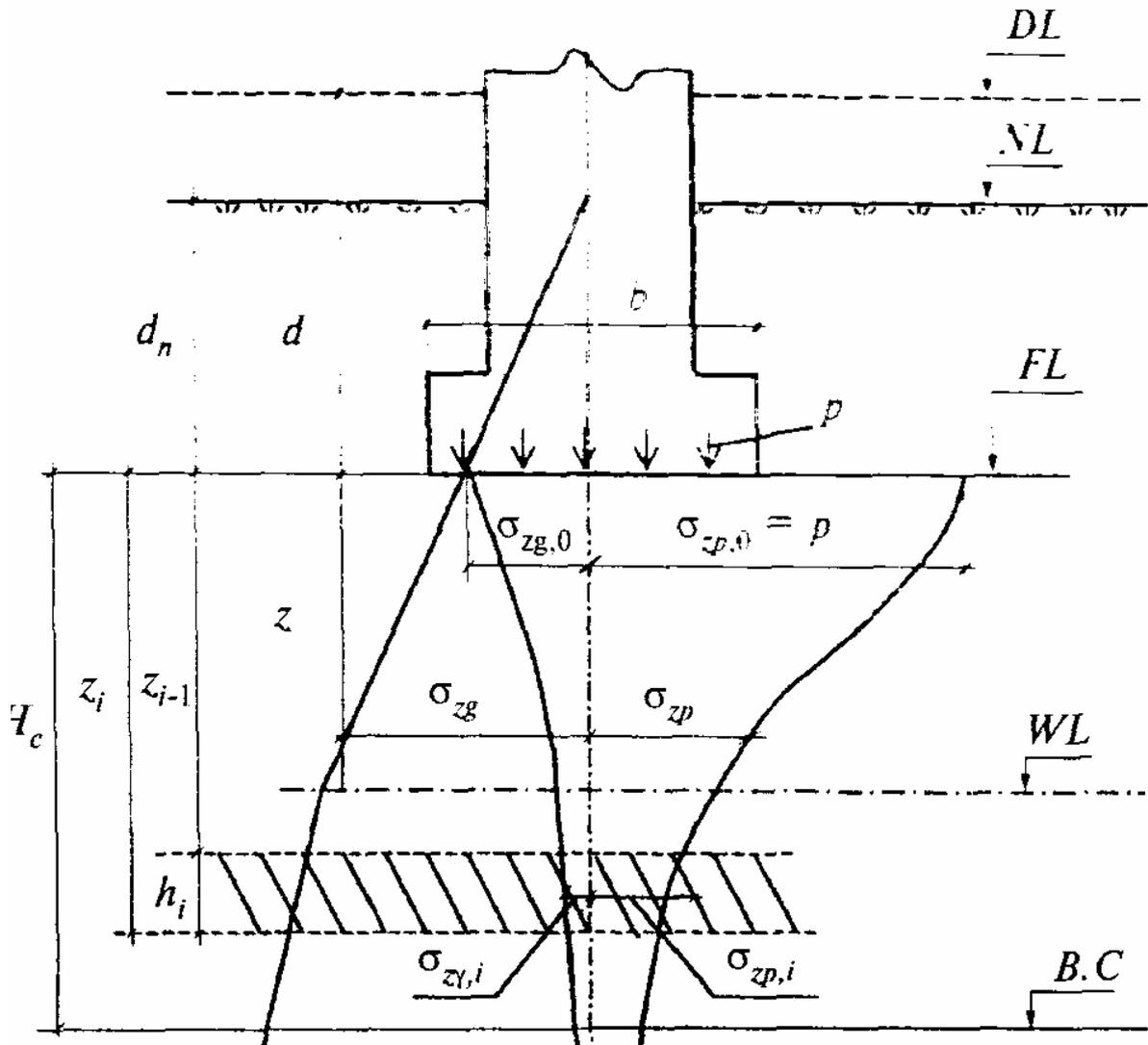


Рис. 2. Расчетная схема метода элементарного послойного суммирования

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} h_i}{E_{e,i}}, \quad (5.14)$$

E_i — модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;

$E_{e,i}$ — модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа;

П р и м е ч а н и я

1. При отсутствии опытных определений модуля деформации $E_{e,i}$ для сооружений II и III уровней ответственности допускается принимать $E_{e,i} = 5E_i$.

Характеристики используемые при расчете оснований по несущей способности

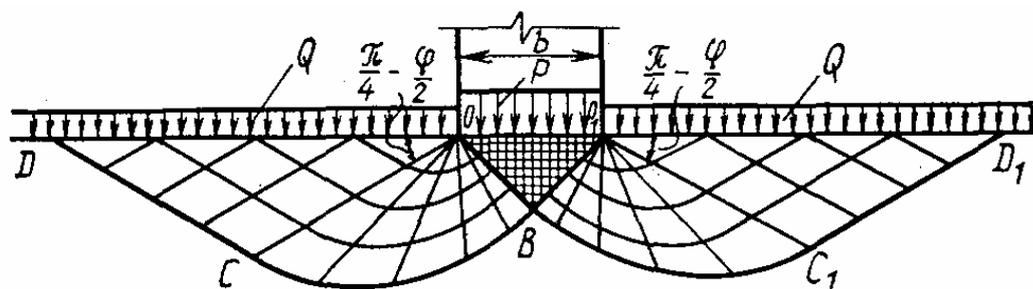


Рис. 3 Расчетная схема определения несущей способности основания центрально нагруженного фундамента

5.6.2 Расчет оснований по несущей способности производят исходя из условия

$$F \leq \frac{\gamma_c F_u}{\gamma_n}, \quad (5.25)$$

где F — расчетная нагрузка на основание, кН, определяемая в соответствии с подразделом 5.2;

F_u — сила предельного сопротивления основания, кН;

γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый:

5.6.11 Вертикальную составляющую силы предельного сопротивления N_u , кН, основания, сложенного дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии, допускается определять по формуле (5.30), если фундамент имеет плоскую подошву и грунты основания ниже подошвы однородны до глубины не менее ее ширины, а в случае различной вертикальной пригрузки с разных сторон фундамента интенсивность большей из них не превышает $0,5R$ (R — расчетное сопротивление грунта основания, определяемое в соответствии с 5.5.8—5.5.25)

$$N_u = b'l'(N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_1 + N_q \xi_q \gamma'_1 d + N_c \xi_c c_1), \quad (5.30)$$

N_γ , N_q , N_c — безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таблице 5.10 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта φ_1 и угла наклона к вертикали δ равнодействующей внешней нагрузки на основание F в уровне подошвы фундамента;

5.6.4 Сила предельного сопротивления основания, сложенного дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии, должна определяться исходя из условия, что соотношение между нормальными σ и касательными τ напряжениями по всем поверхностям скольжения, соответствующее предельному состоянию основания, подчиняется зависимости

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1, \quad (5.28)$$

где φ_1 и c_1 — соответственно расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта (подраздел 5.3).

5.6.5 Сила предельного сопротивления основания, сложенного медленно уплотняющимися водонасыщенными глинистыми, органоминеральными и органическими грунтами (при степени влажности $S_r \geq 0,85$ и коэффициенте консолидации $c_v \leq 10^7$ см²/год), должна определяться с учетом возможного нестабилизированного состояния грунтов основания за счет избыточного давления в поровой воде u . При

этом соотношение между нормальными σ и касательными τ напряжениями принимают по зависимости

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1, \quad (5.29)$$

где φ_1 и c_1 — соответствуют стабилизированному состоянию грунтов основания и определяются по результатам консолидированного среза (ГОСТ 12248 и ГОСТ 20276).

Избыточное давление в поровой воде допускается определять методами фильтрационной консолидации грунтов с учетом скорости приложения нагрузки на основание.

При соответствующем обосновании (высокие темпы возведения сооружения или нагружения его эксплуатационными нагрузками, отсутствие в основании дренирующих слоев грунта или дренирующих устройств) допускается в запас надежности принимать $\varphi_1 = 0$, а c_1 — соответствующим нестабилизированному состоянию грунтов основания и равным прочности грунта по результатам неконсолидированного среза c_u (ГОСТ 12248 и ГОСТ 20276) (см. 5.6.14).

4. Модели, описывающие поведение грунта под нагрузкой

1. Применяемые зависимости между напряжениями и деформациями

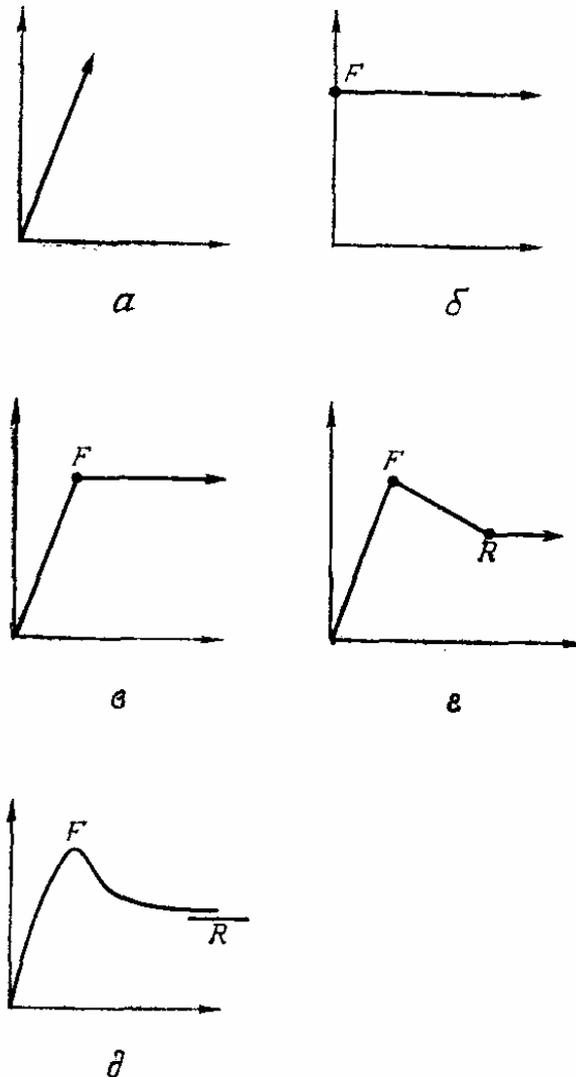


Рис. 4. Соотношение между напряжениями и деформациями для идеальных и реальных грунтов

а – упругая модель; б – жестко-пластическая модель; в – упруго-пластическая модель; г – упруго-пластическая модель с разупрочнением; д – реальный грунт; F – разрушение; R – остаточная прочность

2. Случай одномерной деформации – сплошная равномерно распределенная нагрузка

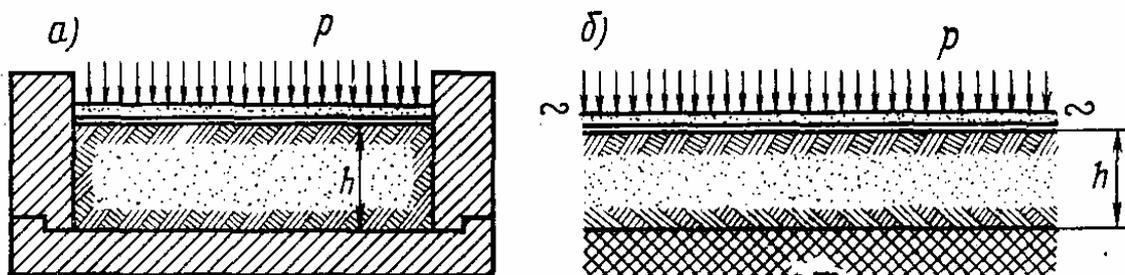


Рис. 5. Схема компрессионного сжатия грунта в жестком кольце (а) и при сплошной нагрузке (б)

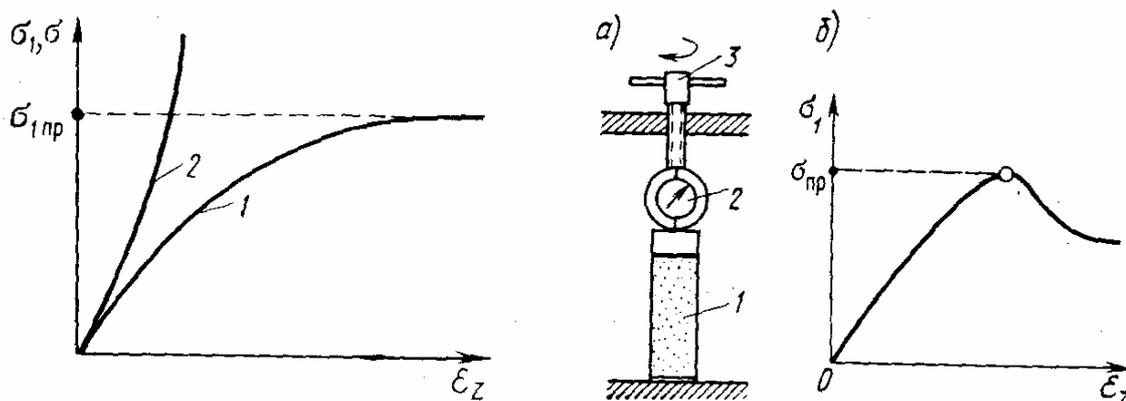


Рис. 6. Зависимость вертикальной деформации от сжимающих напряжений при одноосном сжатии (1) и компрессионном испытании (2)

Параметры, определяемые из испытаний в условиях одномерной деформации

№ П.п.	Наименование	Обозначение	Метод определения	Где используется
1	Первичный модуль деформации	E	ГОСТ 12248-96	/1/ (5.14)
2	Вторичный модуль деформации	E_0	ГОСТ 12248-96	/1/ (5.14)
3	Коэффициенты консолидации	C_v, C	ГОСТ 12248-96	/2/, (191) /3/, глава 11
4	Начальное просадочное давление	P_n	ГОСТ 23161-78	
5	Относительная просадочность	ϵ_{sl}	ГОСТ 23161-78	/1/ (6.1)
6	Коэффициент бокового давления	ξ		

3. Случай пространственной деформации

Нагрузка на основание распределена по площади квадратного или прямоугольного фундамента.

Расчет деформации основания выполняется с использованием модуля деформации определяемого из результатов штамповых, компрессионных и стабилметрических испытаний грунтов

Штамповые испытания. ГОСТ 20276-85

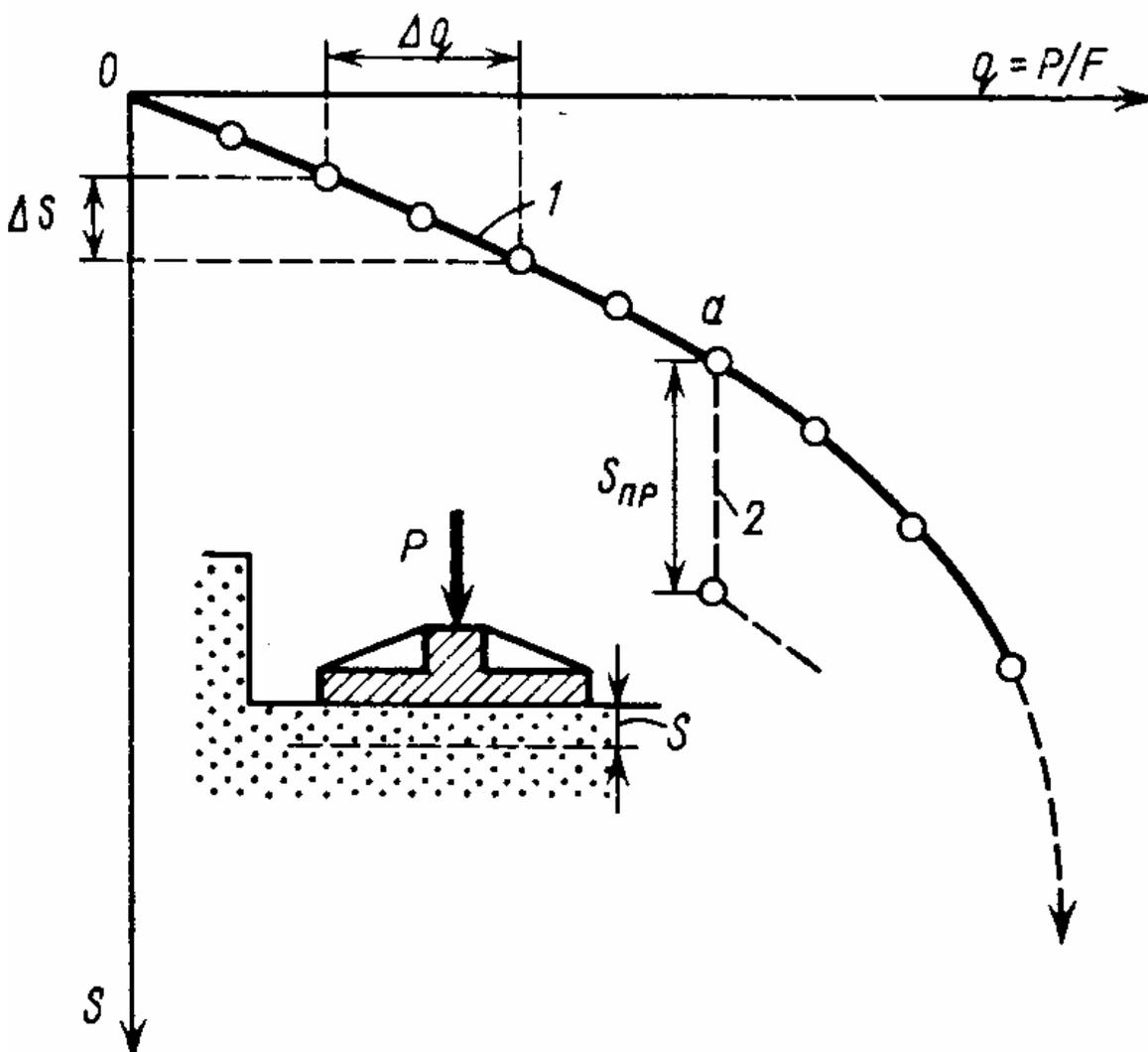
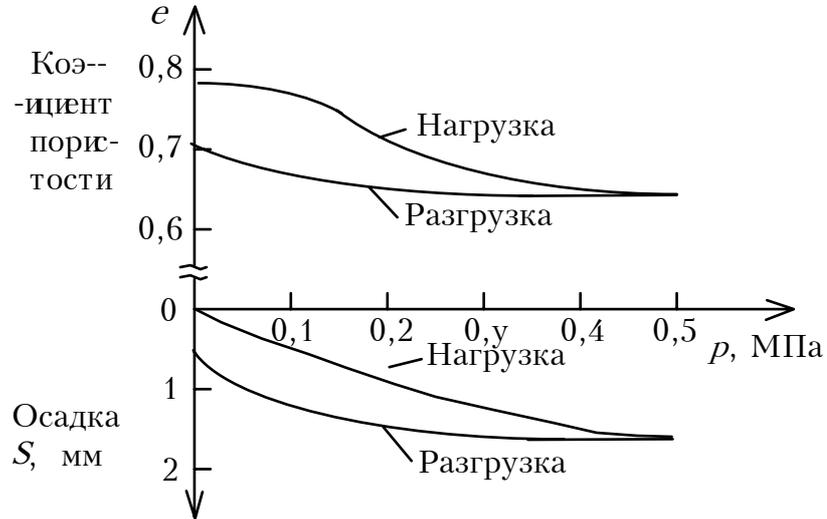


Рис. 7. Зависимость осадки штампа от нагрузки

1 – испытание грунта естественной влажности; 2 – испытание лессового маловлажного грунта с просадкой $S_{пр}$ при его замачивании (Иванов П.Л.)

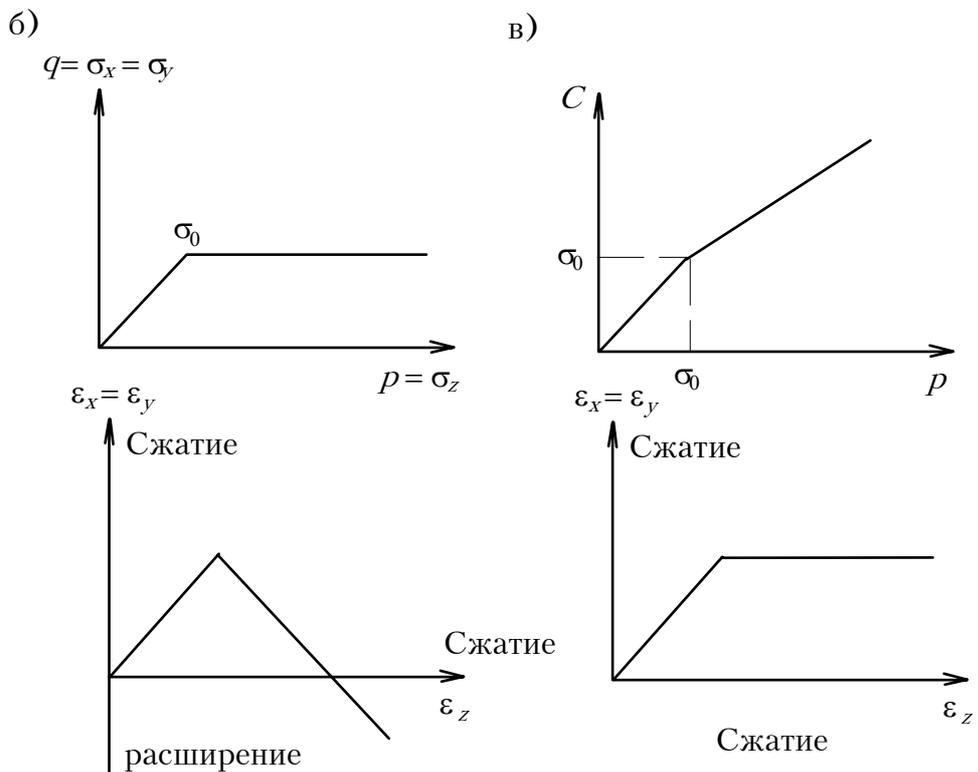
$$E = (1 - \nu^2) K_p K_1 D \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

Компрессионные испытания. ГОСТ 12248-96



$$E = \frac{1 + e_o}{m_o} \beta$$

Трехосные испытания грунтов. ГОСТ 12248-96



$$E = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1}, \nu = \frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}, G = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta e_i}, K = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_v}.$$

Параметры, определяемые из испытаний в условиях трехосного сжатия

№ П.п.	Наименование	Обозначение	Метод определения	Где используется
1	Первичный модуль деформации	E	ГОСТ 12248-96	/1/ (5.14)
2	Вторичный модуль деформации	E ₀	ГОСТ 12248-96	/1/ (5.14)
3	Коэффициент бокового давления	ξ		
4	Коэффициент Пуассона		ГОСТ 12248-96	
5	Модуль сдвига		ГОСТ 12248-96	
6	Модуль объемной деформации		ГОСТ 12248-96	
7	Упругий модуль деформации			

Литература

1. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 2005. – 133 с.
2. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. М., 1986. – 415 с.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.