

Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков

Основания, фундаменты и подземные сооружения

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Е11

Е11 **Е.А. Сорочан**
Основания, фундаменты и подземные сооружения / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков – М.: Книга по Требованию, 2023. – 480 с.

ISBN 978-5-458-37706-5

Приведены сведения по расчету и проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений различного назначения, а также подземных сооружений. Рассмотрены свойства грунтов, конструкции фундаментов, особенности их проектирования в различных грунтовых условиях. Большое внимание уделено проектированию сложных оснований и фундаментов. Даны рекомендации по выбору оборудования и производству работ. Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

ISBN 978-5-458-37706-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Стр.	Стр.
Глава 11. Проектирование оснований на сильносжимаемых и насыпных грунтах (п. 11.1.1—11.1.6 — П. А. Коновалов; п. 11.1.7—11.1.8 — В. М. Казинцев; п. 11.2 — В. Н. Кругов)	251
11.1. Проектирование оснований на сильносжимаемых грунтах	251
11.1.1. Общие положения	251
11.1.2. Проектирование предпостроечного уплотнения оснований, сложенных водонасыщенными сильносжимаемыми грунтами	251
11.1.3. Методы расчета осадок и сроков консолидации оснований	254
11.1.4. Особенности расчета оснований	256
11.1.5. Методика определения коэффициента консолидации	256
11.1.6. Конструктивные мероприятия	257
11.1.7. Особенности расчета и конструирования оснований и фундаментов стальных вертикальных резервуаров	258
11.2. Проектирование оснований на насыпных грунтах	260
11.2.1. Общие положения	260
11.2.2. Расчет оснований на насыпных грунтах	261
11.2.3. Проектирование оснований на насыпных грунтах	263
Список литературы	266
Глава 12. Проектирование фундаментов в особых условиях (п. 12.1 — А. И. Юшин; п. 12.2 — В. А. Ильичев; п. 12.3 — Е. А. Сорочан)	267
12.1. Особенности проектирования оснований и фундаментов на подрабатываемых территориях	267
12.1.1. Деформации земной поверхности, вызываемые горными выработками, и их воздействие на конструкции зданий	267
12.1.2. Принципы проектирования оснований и фундаментов на подрабатываемых территориях	267
12.1.3. Расчет фундаментов на естественном основании на воздействие горизонтальных деформаций	269
12.1.4. Проектирование и расчет свайных фундаментов на подрабатываемых территориях	273
12.2. Сейсмостойкость оснований и фундаментов	277
12.2.1. Общие положения	277
12.2.2. Оценка интенсивности сейсмических колебаний в зависимости от грунтовых условий	277
12.2.3. Влияние упругой податливости основания на периоды свободных колебаний зданий и сооружений	278
12.2.4. Принципы расчета и требования по конструированию сейсмостойких оснований и фундаментов	281
12.2.5. Сейсмостойкость фундаментов на естественных основаниях	282
12.2.6. Сейсмостойкость свайных фундаментов	285
12.3. Проектирование фундаментов на закарстованных территориях	293
Список литературы	297
Глава 13. Проектирование искусственных оснований (п. 13.1 — В. И. Кругов, Б. С. Смолин; п. 13.2 — А. Н. Токин; п. 13.3 — Б. С. Смолин)	298
13.1. Поверхностное и глубинное уплотнение грунтов	298
13.1.1. Общие положения	298
13.1.2. Исходные данные для проектирования	300
13.1.3. Уплотнение грунтов укаткой	301
13.1.4. Уплотнение трамбующими машинами	303
13.1.5. Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками	303
13.1.6. Вытрамбовывание котлованов	305
13.1.7. Глубинное уплотнение пробивкой скважин	307
13.1.8. Уплотнение подводными и глубинными взрывами	309
13.2. Инъекционное закрепление грунтов способами силикатизации и смоллизации	310
13.2.1. Общие положения	310
13.2.2. Расчет основных параметров	314
13.2.3. Оборудование для производства работ	315
13.2.4. Технологическая схема закрепления	317
13.2.5. Проектирование оснований и фундаментов из химически закрепленных инъекций грунтов	319
13.2.6. Проектирование закрепленных силикатизацией массивов в просадочных лессовых грунтах	320
13.3. Глубинное вибрационное уплотнение рыхлых песчаных грунтов	324
13.3.1. Общие положения	324
13.3.2. Исходные данные для проектирования и расчета	325
13.3.3. Методы расчета	325
13.3.4. Оборудование для производства работ	326
13.3.5. Данные для проектирования производства работ	327
Список литературы	328
Глава 14. Устойчивость откосов (М. Л. Моргулис)	329
14.1. Конструктивные решения и мероприятия	329
14.2. Исходные данные для проектирования	330
14.3. Методы и примеры расчетов	332
14.3.1. Общие сведения	332
14.3.2. Построение предельных откосов	332
14.3.3. Определение угла плоских откосов при горизонтальной поверхности грунта	333
14.3.4. Определение ширины призмы обрушения откоса	335
14.3.5. Основные принципы определения требуемого контура откоса в сложных условиях	337
14.3.6. Расчет устойчивости отсека грунтового массива против сдвига по выбранной поверхности	339
14.3.7. Определение давления грунта на удерживающие сооружения на откосе	347
Список литературы	350
Глава 15. Проектирование опускных колодцев и оболочек (В. К. Демидов)	351
15.1. Общие сведения	351
15.2. Конструктивные решения	352
15.3. Исходные данные для разработки проектной документации	356
15.4. Методы расчетов	358
15.5. Проект производства работ	366
15.6. Основные машины и механизмы, применяемые при сооружении и опускании колодцев	373
15.7. Примеры расчета	373
Список литературы	376
Глава 16. Проектирование подземных сооружений, устраиваемых способом «стена в грунте» (Н. К. Коньков, М. И. Смородинов, Б. С. Федоров)	377
16.1. Общие положения	377
16.2. Исходные данные для разработки проектной документации	377
16.3. Конструктивные решения	378
16.4. Оборудование, применяемое при строительстве способом «стена в грунте»	382
16.4.1. Оборудование для приготовления и очистки глинистой суспензии	382
16.4.2. Оборудование для разработки траншей	383

	Стр.		Стр.
16.5. Проект производства работ	385	19.2.2. Дренаж	417
16.5.1. Общие положения	385	19.2.3. Открытые водопонижительные скважины	422
16.5.2. Приготовление глинистой суспензии (раствора)	383	19.2.4. Вакуумные скважины	424
16.5.3. Разработка траншей	386	19.2.5. Водоприемная часть водопонижительных скважин	425
16.5.4. Заполнение траншей монолитным или сборным железобетоном	387	19.2.6. Песчано-гравийная обсыпка трубчатых дренажей и водопонижительных скважин	425
16.5.5. Контроль качества и приемка работ	389	19.2.7. Игольчатые фильтры	429
16.6. Расчет конструкций	390	19.2.8. Наблюдательные скважины	430
Список литературы	392	19.2.9. Водопонижительные системы	430
Глава 17. Анкеры в грунте (Ю. В. Лабзов, М. И. Смородинцев)	393	19.2.10. Отвод воды от водопонижительных систем	433
17.1. Общие положения	393	19.3. Исходные данные для проектирования	433
17.2. Конструктивные решения	393	19.4. Методы расчетов	434
17.3. Методы расчета	397	19.4.1. Основные положения по расчетам водопонижительных систем	434
17.4. Технология работ	401	19.4.2. Определение притока подземных вод	435
Список литературы	405	19.4.3. Расчет скважинных водопонижительных систем	444
Глава 18. Укрепление оснований и усиление фундаментов существующих зданий и сооружений (Е. Ф. Лаш)	406	19.4.4. Расчет иглофильтровых водопонижительных систем	449
18.1. Общие положения	406	19.4.5. Расчет дренажей	452
18.2. Исходные данные	406	19.5. Оборудование и производство работ	454
18.3. Укрепление оснований существующих зданий	407	19.5.1. Водоотлив	454
18.3.1. Цементация	407	19.5.2. Дренаж	454
18.3.2. Дренаж и противопыляционные завесы	408	19.5.3. Водопонижительные скважины	455
18.3.3. Повышение несущей способности (устойчивости) оснований	410	19.5.4. Устройство иглофильтровых установок	457
18.3.4. Защита оснований от влияния строящихся рядом зданий и сооружений	411	Список литературы	457
18.4. Усиление (укрепление) фундаментов	411	Глава 20. Проектирование котлованов (Л. И. Иванов)	458
18.4.1. Защита фундаментов от выветривания	411	20.1. Общие сведения	458
18.4.2. Повышение прочности и уширение фундамента	412	20.2. Расчет креплений котлованов	459
18.4.3. Подведение свай	413	20.2.1. Расчет тонких (гибких) свободно стоящих стенок	459
Список литературы	415	20.2.2. Расчет тонких (гибких) заанкеренных стенок	463
Глава 19. Водопонижение (М. Л. Моргулис, Б. Н. Фомин)	416	20.2.3. Расчет анкерных опор	467
19.1. Общие положения	416	20.2.4. Расчет основных конструктивных элементов тонких стенок	469
19.2. Конструктивные решения	416	Список литературы	470
19.2.1. Водоотлив	416	Предметный указатель	471

ПРЕДИСЛОВИЕ

Апрельский (1985 г.) Пленум ЦК КПСС и июньское совещание (1985 г.) в ЦК КПСС поставили задачу всемерной интенсификации народного хозяйства на основе широкого внедрения достижений научно-технического прогресса. Важную роль в осуществлении этой задачи призвано сыграть капитальное строительство, составной частью которого является фундаментостроение.

Использование последних достижений науки и техники для совершенствования конструкций и технологии возведения фундаментов и подземных сооружений позволит повысить их надежность и снизить стоимость строительства в целом.

Со времени выхода в свет справочников проектировщика «Основания и фундаменты» (1964 г.) и «Сложные основания и фундаменты» (1969 г.) прошло более 15 лет. За этот период появилось много новых конструктивных решений в области фундаментостроения, во многом пересмотрены и уточнены методы расчета, разработаны новые методы строительства, такие, например, как способ «стена в грунте», разработаны методы расчета фундаментов для сейсмических районов.

С появлением новых методов строительства, а также строительных конструкций и механизмов требуется более тщательное технико-экономическое сравнение возможных вариантов решений оснований и фундаментов, что является особенно важным в связи с резко возросшим объемом капитального строительства. Следует также отметить, что в последние годы под строительство отводятся все чаще площадки со сложными для строительства инженерно-

геологическими условиями. В то же время вследствие увеличения пролетов в промышленном строительстве и числа этажей в гражданском строительстве резко возрастают нагрузки на фундаменты. Эти обстоятельства повышают ответственность проектировщиков при выборе и расчете фундаментов.

В настоящее время имеются ГОСТы и СНиП, Руководства и Инструкции практически по всем конструкциям и видам работ, встречающимся в фундаментостроении. Объем этих документов составляет десятки печатных листов. Составители Справочника, в котором объединены все основные вопросы фундаментостроения, стремились дать проектировщикам необходимые данные для выбора технико-экономически обоснованного решения, проектирования оснований и фундаментов и осуществления авторского надзора в период строительства. Коллектив авторов Справочника, состоящий из научных работников и проектировщиков, составлявших нормативные документы и использующих их при проектировании, ставил перед собой задачу облегчить пользование нормативными документами, способствовать внедрению наиболее прогрессивных конструкций и методов работ, нашедших применение в последние годы.

Все замечания и пожелания относительно содержания Справочника, которые будут с благодарностью приняты авторами, просьба направлять по адресам: 109389, Москва, Ж-389, 2-я Институтская, д. 6, НИИ оснований или 125843, ГСП, Москва, 4-80, Волоколамское шоссе, д. 1, ГПИ Фундаментпроект.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A — площадь;
 a — расстояние (длина);
 B — ширина подвала (сооружения);
 B_w — ширина замачиваемой площади;
 $B.C$ — нижняя граница сжимаемой толщи;
 $B.SL$ — нижняя граница просадочной толщи;
 $B.SW$ — нижняя граница зоны набухания;
 $B.SH$ — нижняя граница зоны усадки;
 b — ширина подошвы фундамента;
 c — удельное сцепление грунта;
 c_v — коэффициент консолидации;
 D_{pd} — степень разложения органического вещества;
 DL — отметка планировки;
 d — диаметр фундамента; глубина заложения фундамента от уровня планировки;
 d_b — глубина подвала от уровня планировки;
 d_f — расчетная глубина сезонного промерзания грунта;
 d_{fn} — нормативная глубина промерзания;
 d_n — глубина заложения фундамента от поверхности природного рельефа;

d_w — глубина расположения уровня подземных вод;
 d_1 — приведенная глубина заложения фундамента от пола подвала;
 E — модуль деформации грунта;
 e — коэффициент пористости грунта; эксцентриситет равнодействующей внешней нагрузки по отношению к центру подошвы фундамента;
 F — расчетное значение силы;
 F_u — сила предельного сопротивления основания, соответствующая исчерпанию его несущей способности;
 F_v — вертикальная составляющая силы;
 F_h — горизонтальная составляющая силы;
 F_{sa}, F_{sr} — силы, действующие по плоскости скольжения, соответственно сдвигающие и удерживающие (активные и реактивные);
 $F.L$ — отметка подошвы фундамента;
 f — сила на единицу длины элемента (фундамента); стрела прогиба;

- G — собственный вес фундамента; модуль сдвига;
 g — ускорение свободного падения;
 H — толщина линейно-деформируемого слоя;
 H_c — глубина сжимаемой толщи;
 H_{sl} — толщина слоя просадочных грунтов (просадочная толщина);
 H_{sh} — толщина зоны усадки;
 H_{sw} — толщина зоны набухания;
 h — высота; толщина слоя грунта;
 h_{sl} — толщина зоны просадки ($h_{sl,q}$ — от собственного веса; $h_{sl,p}$ — от внешней нагрузки);
 h_{sw} — подъем основания при набухании грунта;
 I — момент инерции сечения;
 I_L — показатель текучести грунта;
 I_{om} — относительное содержание в грунте органических веществ;
 i — крен фундамента; (сооружения); уклон поверхности, кровли пласта свободной поверхности потока и т. д.; радиус инерции сечения;
 k — коэффициент жесткости; коэффициент фильтрации;
 k_s — коэффициент постели;
 L — длина здания (сооружения);
 l — длина подошвы фундамента;
 M — момент;
 m — масса;
 m_p — коэффициент изменения объема;
 N — продольная сила; сила, нормальная к подошве фундамента;
 n — то же, на единицу длины; число слоев грунта; пористость грунта;
 p — среднее давление под подошвой фундамента;
 p_{sl} — начальное просадочное давление;
 p_{sw} — давление набухания;
 Q — поперечная сила;
 q — равномерно распределенная вертикальная нагрузка;
 R — расчетное сопротивление грунта основания;
 R_c — расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие;
 r — радиус;
 S — статический момент сечения;
 S_r — степень влажности грунта;
 s — осадка основания;
 $\bar{s}$ — средняя осадка основания;
 s_{sh} — осадка основания при высыхании набухшего грунта;
 s_{sf} — суффозионная осадка;
 s_l — просадка;
 s_u — предельное значение деформации основания (s_{us} — по технологическим требованиям; s_{uf} — по условиям прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций сооружения);
 T — термодинамическая температура;
 t — температура; время;
 u — периметр; избыточное давление в поровой воде;
 V — объем;
 v — скорость (линейная);
 W — момент сопротивления сечения; работа;
 w — влажность грунта природная;
 w_p — влажность на границе пластичности (раскатывания);
 w_L — влажность на границе текучести;
 w_{eq} — конечная (установившаяся) влажность;
 w_{sat} — влажность, соответствующая полному водонасыщению;
 w_{sl} — начальная просадочная влажность;
 w_{sh} — влажность на пределе усадки;
 $\bar{X}$ — среднее значение характеристики грунта;
 X_n — нормативное значение характеристики;
 $\bar{X}$ — расчетное значение характеристики;
 z — глубина (расстояние) от подошвы фундамента; плечо пары внутренних сил;
 α — доверительная вероятность (обеспеченность) расчетных значений характеристик; коэффициент линейного расширения;
 α_E — степень изменчивости сжимаемости основания;
 β — плоский угол;
 γ — удельный вес грунта; угол сдвига;
 γ_d — удельный вес грунта в сухом состоянии;
 γ_s — удельный вес частиц грунта;
 γ_{sat} — удельный вес грунта при полном водонасыщении;
 γ_{sb} — удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды;
 γ_c — коэффициент условий работы;
 γ_f — коэффициент надежности по нагрузке;
 γ_m — коэффициент надежности по материалу;
 γ_g — коэффициент надежности по грунту;
 γ_n — коэффициент надежности по назначению сооружения;
 $\xi=2z/b$ — относительная глубина положения рассматриваемой точки от подошвы фундамента;
 $\eta=l/b$ — соотношение сторон прямоугольного фундамента;
 ϑ — угол поворота;
 λ — длина волны; относительное заглубление фундамента ($\lambda=d/l$);
 μ — коэффициент трения;
 ν — коэффициент Пуассона;
 ρ — плотность грунта; кривизна;
 ρ_d — плотность грунта в сухом состоянии;
 ρ_s — плотность частиц грунта;
 ρ_{bf} — плотность грунта обратной засыпки;
 σ — нормальное напряжение;
 τ — касательное напряжение;
 φ — угол внутреннего трения грунта.

Глава 1. СВОЙСТВА ГРУНТОВ

1.1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СОСТАВ ГРУНТОВ

Грунты — горные породы, являющиеся объектом инженерно-строительной деятельности человека и используемые как основание, среда или материал для возведения сооружений.

По происхождению (генезису) горные породы делятся на магматические, осадочные и метаморфические [2]. Магматические (изверженные) породы, образовавшиеся в результате застывания магмы, имеют кристаллическую структуру и классифицируются как скальные грунты. Осадочные породы, образовавшиеся в результате разрушения (выветривания) горных пород и осадения продуктов выветривания из воды или воздуха, могут быть скальными и нескальными. Метаморфические породы — это претерпевшие изменения под влиянием высоких температур и больших давлений магматические и осадочные породы; характеризуются они наличием жестких, преимущественно кристаллизационных связей и классифицируются как скальные грунты.

Осадочные грунты по своему происхождению делятся на континентальные и морские отложения. При этом к морским относятся отложения современных и древних морей. Древние морские отложения — это мелы, песчаники, известняки, доломиты, мергели, юрские и девонские глины и др.

В зависимости от возраста грунты относят к различным геологическим системам. Самыми молодыми осадочными грунтами являются отложения четвертичной системы (Q). Более древние грунты относятся к следующим системам: неоген (N), палеоген (P), меловая (K), юрская (J), триасовая (T), пермская (P), каменноугольная (C), девонская (D), силурийская (S), ордовикская (O), кембрийская (C).

В инженерной деятельности чаще используются четвертичные осадочные грунты, которые подразделяются на генетические типы, приведенные в табл. 1.1.

Грунты, как правило, являются трехфазными системами и состоят из твердых частиц, поры между которыми заполнены водой и газом. Строительные свойства грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составом, структурой, текстурой и состоянием в природном залегании.

При изучении состава грунтов выделяют

ТАБЛИЦА 1.1. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ГРУНТОВ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВОЗРАСТА

Типы грунтов	Обозначение
Аллювиальные (речные отложения) . . .	a
Озерные	l
Озерно-аллювиальные	la
Делювиальные (отложения дождевых и талых вод на склонах и у подножия возвышенностей)	d
Аллювиально-делювиальные	ad
Эоловые (осадения из воздуха): эоловые пески, лёссовые грунты	L
Гляциальные (ледниковые отложения)	g
Флювиогляциальные (отложения ледниковых потоков)	f
Озёрно-ледниковые	lg
Элювиальные (продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте образования)	e
Элювиально-делювиальные	ed
Проллювиальные (отложения бурных дождевых потоков в горных областях)	p
Аллювиально-проллювиальные	ap
Морские	m

четыре основные группы образований: первичные минералы — кварц, полевые шпаты, слюды и др.; глинистые (вторичные) минералы, образовавшиеся в процессе выветривания магматических и метаморфических пород; соли — сульфаты (гипс, ангидрит и др.), карбонаты (кальцит, доломит и др.), галонды; органические вещества.

Под структурой грунта понимают размер, форму и количественное соотношение слагающих его частиц, а также характер связи между ними. Размер частиц и их количественное соотношение в грунте определяют на основе гранулометрического (зернового) анализа. Содержание каждой фракции выражается в процентах от массы высушенной пробы грунта. По характеру структурных связей выделяют грунты с жесткими (кристаллизационными) связями и грунты с водно-коллоидными связями [2]. Кристаллизационные связи развиты в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных породах, т. е. в скальных грунтах. Водно-коллоидные связи характерны для глинистых грунтов.

Под текстурой грунтов понимают пространственное расположение элементов грунта с разным составом и свойствами. Текстура характеризует неоднородность строения грунта в пласте (например, слоистые текстуры песчано-глинистых грунтов). Текстуры особенно грунтов определяют пути фильтрации воды, интенсивность и направление деформаций сдвига массива грунта.

1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

1.2.1. Характеристики плотности грунтов и плотности их сложения

Одной из основных характеристик грунта является плотность. Для грунтов различают: плотность частиц грунта ρ_s — отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта; плотность грунта ρ — отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к занимаемому этим грунтом объему; плотность сухого грунта ρ_d — отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры). Плотность частиц песчаных и пылевато-глинистых грунтов приведена в табл. 1.2.

ТАБЛИЦА 1.2. ПЛОТНОСТЬ ЧАСТИЦ ρ_s
ПЕСЧАНЫХ И ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Грунт	ρ_s , г/см ³	
	диапазон	средняя
Песок	2,65—2,67	2,66
Супесь	2,68—2,72	2,70
Суглинок	2,69—2,73	2,71
Глина	2,71—2,76	2,74

Плотность грунта определяется путем отбора проб грунта ненарушенного сложения и последующего анализа в лабораторных условиях. В полевых условиях плотность грунта определяется зондированием и радионизотопным методом, а для крупнообломочных грунтов — методом «шурфа-лунки».

Плотность сложения грунта (степень уплотненности) характеризуется пористостью n или коэффициентом пористости e и плотностью сухого грунта (табл. 1.3). Плотность сло-

ТАБЛИЦА 1.3. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ
ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГРУНТОВ

Характеристики	Формула
Плотность сухого грунта, г/см ³ (т/м ³)	$\rho_d = \rho / (1 + w)$
Пористость, %	$n = (1 - \rho_d / \rho_s) 100$
Коэффициент пористости	$e = n / (100 - n)$ или $e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$
Полная влагоемкость	$w_o = e \rho_w / \rho_s$, где $\rho_w = 1$
Степень влажности	$S_r = \frac{w \rho_s}{e \rho_w}$
Число пластичности	$I_p = w_L - w_P$
Показатель текучести	$I_L = (w - w_P) / (w_L - w_P)$

жения песчаных грунтов определяется также в полевых условиях с помощью статического и динамического зондирования.

1.2.2. Влажность грунтов и характеристики пластичности пылевато-глинистых грунтов

Влажность грунтов определяют высушиванием пробы грунта при температуре 105 °С до постоянной массы. Отношение разности масс пробы до и после высушивания к массе абсолютно сухого грунта дает значение влажности, выражаемое в процентах или долях единицы. Долю заполнения пор грунта водой — степень влажности S_r рассчитывают по формуле (см. табл. 1.3). Влажность песчаных грунтов (за исключением пылеватых) изменяется в небольших пределах и практически не влияет на прочностные и деформационные свойства этих грунтов.

Характеристики пластичности пылевато-глинистых грунтов — это влажности на границах текучести w_L и раскатывания w_P , определяемые в лабораторных условиях, а также число пластичности I_p и показатель текучести I_L , вычисляемые по формулам (см. табл. 1.3). Характеристики w_L , w_P и I_p являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Высокие значения этих характеристик свойственны грунтам с большим содержанием глинистых частиц, а также грунтам, в минералогический состав которых входит монтмориллонит.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Грунты оснований зданий и сооружений подразделяются на два класса [1]: скальные (грунты с жесткими связями) и нескальные (грунты без жестких связей).

В классе скальных грунтов выделяют магматические, метаморфические и осадочные породы, которые подразделяются по прочности, размягчаемости и растворимости в соответствии с табл. 1.4. К скальным грунтам, прочность которых в водонасыщенном состоянии менее 5 МПа (полускальные), относятся глинистые сланцы, песчаники с глинистым цементом, алевролиты, аргиллиты, мергели, мелы. При водонасыщении прочность этих грунтов может снижаться в 2—3 раза. Кроме того, в классе скальных грунтов выделяются также искусственные — закрепленные в естественном залегании трещиноватые скальные и нескальные грунты. Эти грунты подразделяются по способу закрепления (цементация, силикатизация,

ТАБЛИЦА 1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Грунт	Показатель
<i>По пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа</i>	
Очень прочный	$R_c > 120$
Прочный	$120 \geq R_c > 50$
Средней прочности	$50 \geq R_c > 15$
Малопрочный	$15 \geq R_c > 5$
Пониженной прочности	$5 \geq R_c > 3$
Низкой прочности	$3 \geq R_c > 1$
Весьма низкой прочности	$R_c < 1$
<i>По коэффициенту размягчаемости в воде</i>	
Неразмягчаемый	$K_{saf} \geq 0,75$
Размягчаемый	$K_{saf} < 0,75$
<i>По степени растворимости в воде (осадочные цементованные), г/г</i>	
Нерастворимый	Растворимость менее 0,01
Труднорастворимый	Растворимость 0,01—1
Среднерастворимый	» 1—10
Легкорастворимый	» более 10

битумизация, смолизация, обжиг и др.) и по пределу прочности на одноосное сжатие после закрепления так же, как и скальные грунты (см. табл. 1.4).

Нескальные грунты подразделяют на крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые, биогенные и почвы.

К крупнообломочным относятся несцементированные грунты, в которых масса обломков крупнее 2 мм составляет 50 % и более. Песчаные — это грунты, содержащие менее 50 % частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности (число пластичности $I_p <$

ТАБЛИЦА 1.5. КЛАССИФИКАЦИЯ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ СОСТАВУ

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта
Крупнообломочный:		
валунный (глыбовый)	> 200	> 50
галечниковый (щебенистый)	> 10	
гравийный (дресвяный)	> 2	
Песок:		
гравелистый	≤ 2	> 25
крупный	$> 0,5$	> 50
средней крупности	$> 0,25$	> 50
мелкий	$> 0,1$	> 75
пылеватый	$\leq 0,1$	≤ 75

< 1 %). Крупнообломочные и песчаные грунты классифицируются по гранулометрическому составу (табл. 1.5) и по степени влажности (табл. 1.6).

ТАБЛИЦА 1.6. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПО СТЕПЕНИ ВЛАЖНОСТИ S_r

Грунт	Степень влажности
Маловлажный	$0 < S_r \leq 0,5$
Влажный	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Насыщенный водой	$0,8 < S_r \leq 1$

Свойства крупнообломочного грунта при содержании песчаного заполнителя более 40 % и пылевато-глинистого более 30 % определяются свойствами заполнителя и могут устанавливаться по испытанию заполнителя. При меньшем содержании заполнителя свойства крупнообломочного грунта устанавливают испытанием грунта в целом. При определении свойств песчаного заполнителя учитывают следующие его характеристики — влажность, плотность, коэффициент пористости, а пылевато-глинистого заполнителя — дополнительно число пластичности и консистенцию.

Основным показателем песчаных грунтов, определяющим их прочностные и деформационные свойства, является плотность сложения. По плотности сложения пески подразделяются по коэффициенту пористости e , удельному сопротивлению грунта при статическом зондировании q_c и условному сопротивлению грунта при динамическом зондировании q_d (табл. 1.7).

При относительном содержании органического вещества $0,03 < I_{om} \leq 0,1$ песчаные грунты называют грунтами с примесью органических веществ. По степени засоленности крупнообломочные и песчаные грунты подразделяют на незасоленные и засоленные. Крупнообломочные грунты относятся к засоленным, если суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей (% от массы абсолютно сухого грунта) равно или более:

2 % — при содержании песчаного заполнителя менее 40 % или пылевато-глинистого заполнителя менее 30 %;

0,5 % — при содержании песчаного заполнителя 40 % и более;

5 % — при содержании пылевато-глинистого заполнителя 30 % и более.

Песчаные грунты относятся к засоленным, если суммарное содержание указанных солей составляет 0,5 % и более.

Пылевато-глинистые грунты подразделяют по числу пластичности I_p (табл. 1.8) и по кон-

ТАБЛИЦА 1.7. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПО ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ

Песок	Подразделение по плотности сложения		
	плотный	средней плотности	рыхлый
<i>По коэффициенту пористости</i>			
Гравелистый, крупный и средней крупности . . .	$e < 0,55$	$0,55 < e < 0,7$	$e > 0,7$
Мелкий . . .	$e < 0,6$	$0,6 < e < 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватый . . .	$e < 0,6$	$0,6 < e < 0,8$	$e > 0,8$

По удельному сопротивлению грунта, МПа, под наконечником (конусом) зонда при статическом зондировании

Крупный и средней крупности независимо от влажности . . .	$q_c > 15$	$15 > q_c > 5$	$q_c < 5$
Мелкий независимо от влажности	$q_c > 12$	$12 > q_c > 4$	$q_c < 4$
Пылеватый: маловлажный и влажный . . .	$q_c > 10$	$10 > q_c > 3$	$q_c < 3$
водонасыщенный . . .	$q_c > 7$	$7 > q_c > 2$	$q_c < 2$

По условному динамическому сопротивлению грунта, МПа, погружению зонда при динамическом зондировании

Крупный и средней крупности независимо от влажности . . .	$q_d > 12,5$	$12,5 > q_d > 3,5$	$q_d < 3,5$
Мелкий: маловлажный и влажный . . .	$q_d > 11$	$11 > q_d > 3$	$q_d < 3$
водонасыщенный . . .	$q_d > 8,5$	$8,5 > q_d > 2$	$q_d < 2$
Пылеватый маловлажный и влажный	$q_d > 8,5$	$8,5 > q_d > 2$	$q_d < 2$

ТАБЛИЦА 1.8. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО ЧИСЛУ ПЛАСТИЧНОСТИ

Грунт	Число пластичности, %
Супесь	$1 < I_p < 7$
Суглинок	$7 < I_p < 17$
Глина	$I_p > 17$

систенции, характеризуемой показателем текучести I_L (табл. 1.9). Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять лёссовые грунты и илы. Лёссовые грунты — это макропористые грунты, содержащие карбонаты кальция и способные при замачивании водой давать под нагрузкой просадку, легко размокать и размываться. Ил — водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся в результате протекания микробиологических процессов, имеющий влажность, превышающую влажность на границе текучести, и коэффициент пористости, значения которого приведены в табл. 1.10.

ТАБЛИЦА 1.9. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ТЕКУЧЕСТИ

Грунт	Показатель текучести
Супесь: твердая	$I_L < 0$
пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
текучая	$I_L > 1$
Суглинок и глина: 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	$0,75 < I_L \leq 1$
текущие	$I_L > 1$

ТАБЛИЦА 1.10. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ИЛОВ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ПОРИСТОСТИ

Ил	Коэффициент пористости
Супесчаный	$e \geq 0,9$
Суглинистый	$e \geq 1$
Глинистый	$e \geq 1,5$

Пылевато-глинистые грунты (супеси, суглинки и глины) называют грунтами с примесью органических веществ при относительном содержании этих веществ $0,05 < I_{от} \leq 0,1$. По степени засоленности супеси, суглинки и глины подразделяют на незасоленные и засоленные. К засоленным относятся грунты, в которых суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей составляет 5 % и более.

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании: просадочные и набухающие. К просадочным относятся грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают осадку (просадку), и при этом относительная просадочность $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$. К набухающим относятся грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом относительное набухание без нагрузки $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$.

В особую группу в нескальных грунтах выделяют грунты, характеризующиеся значительным содержанием органического вещества: биогенные (озерные, болотные, аллювиально-болотные). В состав этих грунтов входят заторфованные грунты, торфы и сапропели. К заторфованным относятся песчаные и пылевато-глинистые грунты, содержащие в своем составе 10—50 % (по массе) органических веществ. При содержании органических веществ 50 % и

более грунт называется торфом. Сапропели (табл. 1.11) — пресноводные илы, содержащие более 10 % органических веществ и имеющие коэффициент пористости, как правило, более 3, а показатель текучести более 1.

ТАБЛИЦА 1.11. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ САПРОПЕЛЕЙ ПО ОТНОСИТЕЛЬНОМУ СОДЕРЖАНИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Сапропель	Относительное содержание вещества
Минеральный	$0,1 < I_{om} \leq 0,3$
Среднеминеральный .	$0,3 < I_{om} \leq 0,5$
Слабоминеральный . .	$I_{om} > 0,5$

Почвы — это природные образования, слагающие поверхностный слой земной коры и обладающие плодородием. Подразделяют почвы по гранулометрическому составу так же, как крупнообломочные и песчаные грунты, а по числу пластичности, как пылевато-глинистые грунты.

К нескальным искусственным грунтам относятся грунты, уплотненные в природном залегании различными методами (трамбованием, укаткой, виброуплотнением, взрывами, осушением и др.), насыпные и намывные. Эти грунты подразделяются в зависимости от состава и характеристик состояния так же, как и природные нескальные грунты.

ТАБЛИЦА 1.13. НОРМАТИВНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ E ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Возраст и происхождение грунтов	Грунт	Показатель текучести	Значения E , МПа, при коэффициенте пористости e										
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6
Четвертичные отложения:	Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,75$	—	32	24	16	10	7	—	—	—	—	—
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	34	27	22	17	14	11	—	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	32	25	19	14	11	8	—	—	—	—
	Глина	$0,5 < I_L \leq 0,75$	—	—	—	17	12	8	6	5	—	—	—
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	28	24	21	18	15	12	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	—	21	18	15	12	9	—	—	—
Флювиогляциальные	Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,75$	—	33	24	17	11	7	—	—	—	—	—
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	40	33	27	21	—	—	—	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	35	28	22	17	14	—	—	—	—	—
	Суглинок	$0,5 < I_L \leq 0,75$	—	—	—	17	13	10	7	—	—	—	—
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
моренные	Супесь и суглинок	$I_L \leq 0,5$	75	55	45	—	—	—	—	—	—	—	—
		$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	—	—	—	—	27	25	22	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	—	—	—	—	24	22	19	15	—
Юрские отложения оксфордского яруса	Глина	$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	—	—	—	—	—	—	16	12	10
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		$0,5 < I_L \leq 0,75$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Значения E не распространяются на лёссовые грунты.

Скальные и нескальные грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед, относятся к мерзлым грунтам, а если они находятся в мерзлом состоянии от 3 лет и более, то к вечномерзлым.

1.4. ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ СЖАТИИ

Характеристикой деформируемости грунтов при сжатии является модуль деформации, который определяют в полевых и лабораторных условиях. Для предварительных расчетов, а также и окончательных расчетов оснований зданий и сооружений II и III класса допускается принимать модуль деформации по табл. 1.12 и 1.13.

ТАБЛИЦА 1.12. НОРМАТИВНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ E ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Песок	Значения E , МПа, при коэффициенте пористости e			
	0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистый, крупный и средней крупности	50	40	30	—
Мелкий	48	38	28	18
Пылеватый	39	28	18	11

Примечание. Значения E приведены для кварцевых песков, содержащих не более 20 % полевого шпата и не более 5 % в сумме различных примесей (слюды, глауконита и пр.).

1.4.1. Определение модуля деформации в полевых условиях

Модуль деформации определяют испытанием грунта статической нагрузкой, передаваемой на штамп [3]. Испытания проводят в шурфах жестким круглым штампом площадью

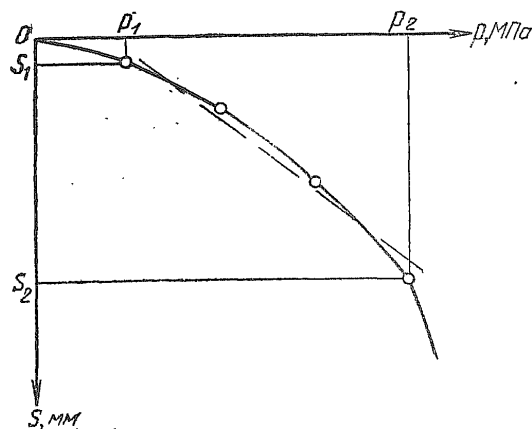


Рис. 1.1. Зависимость осадки штампа s от давления p

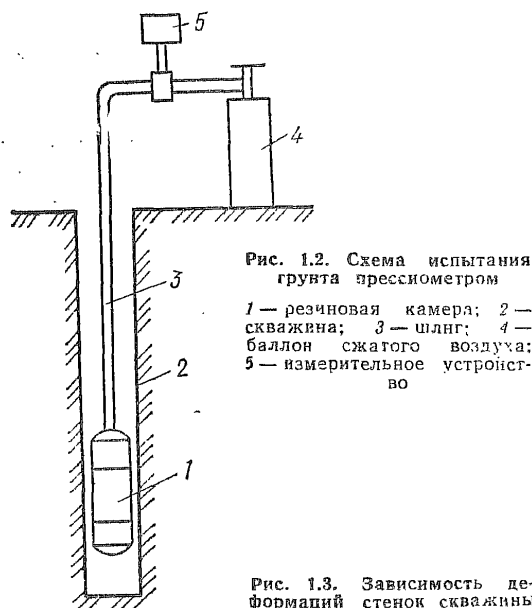
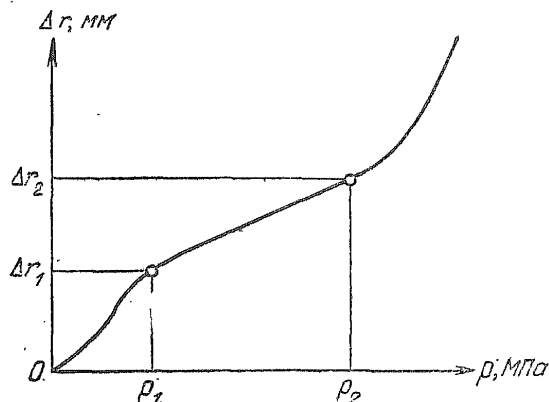


Рис. 1.2. Схема испытания грунта pressiометром

Рис. 1.3. Зависимость деформаций стенок скважины Δr от давления p



5000 см², а ниже уровня грунтовых вод и на больших глубинах — в скважинах штампом площадью 600 см². Для определения модуля деформации используют график зависимости осадки от давления (рис. 1.1), на котором выделяют линейный участок, проводят через него осредняющую прямую и вычисляют модуль деформации E в соответствии с теорией линейно-деформируемой среды по формуле

$$E = (1 - \nu^2) \omega d \Delta p / \Delta s, \quad (1.1)$$

где ν — коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации), равный 0,27 для крупнообломочных грунтов, 0,30 для песков и супесей, 0,35 для суглинков и 0,42 для глин; ω — безразмерный коэффициент, равный 0,79; d — диаметр штампа; Δp — приращение давления на штамп; Δs — приращение осадки штампа, соответствующее Δp .

При испытании грунтов необходимо, чтобы толщина слоя однородного грунта под штампом была не менее двух диаметров штампа.

Модули деформации изотропных грунтов можно определять в скважинах с помощью pressiометра (рис. 1.2) [3]. В результате испытаний получают график зависимости приращения радиуса скважины от давления на ее стенки (рис. 1.3). Модуль деформации определяют на участке линейной зависимости деформации от давления между точкой p_1 , соответствующей обжатости неровностей стенок скважины, и точкой p_2 , после которой начинается интенсивное развитие пластических деформаций в грунте. Модуль деформации вычисляют по формуле

$$E = k r_0 \Delta p / \Delta r, \quad (1.2)$$

где k — коэффициент; r_0 — начальный радиус скважины; Δp — приращение давления; Δr — приращение радиуса, соответствующее Δp .

Коэффициент k определяется, как правило, путем сопоставления данных pressiометрии с результатами параллельно проводимых испытаний того же грунта штампом. Для сооружений II и III класса допускается принимать в зависимости от глубины испытания h следующие значения коэффициентов k в формуле (1.2): при $h < 5$ м $k = 3$; при $5 \text{ м} < h < 10$ м $k = 2$; при $10 \text{ м} < h < 20$ м $k = 1,5$.

Для песчаных и пылевато-глинистых грунтов допускается определять модуль деформации на основе результатов статического и динамического зондирования грунтов. В качестве показателей зондирования принимают: при статическом зондировании — сопротивление грунта погружению конуса зонда q_c , а при динамическом зондировании — условное динамическое сопротивление грунта погружению конуса q_d . Для суглинков и глин $E = 7q_c$ и $E = 6q_d$; для песчаных грунтов $E = 3q_c$, а значения E по данным динамического зондирования приведены в табл. 1.14. Для сооружений I и II класса