

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
аграрный университет»

А. И. Полищук, Д. А. Чернявский

ОБОСНОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА В КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

Учебное пособие

Рекомендовано
учебно-методической комиссией инженерно-строительного
факультета КубГАУ в качестве учебного пособия для
обучающихся по направлению «Строительство»

Краснодар
КубГАУ
2016

УДК 378.2:624.131.2(075.8)

ББК 26.3

П50

Рецензенты:

кафедра промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения Южно-Российского государственного политехнического университета (зав. кафедрой – д-р техн. наук, профессор **Скибин Г. М.**)

Нуждин Л. В. – канд. техн. наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета

Полищук А. И.

П50 Обоснование грунтовых условий строительства в курсовом и дипломном проектировании фундаментов зданий: учеб. пособие / А. И. Полищук, Д. А. Чернявский. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 118 с.

ISBN

Учебное пособие содержит материалы по оценке грунтовых условий площадок строительства, которые рекомендуется использовать при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Предназначено для студентов-бакалавров, студентов-магистрантов, обучающихся по направлению «Строительство», студентов, обучающихся по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений», а также аспирантов, обучающихся по направлению «Техника и технологии строительства». Может быть полезно работникам проектных и строительных организаций.

УДК 378.2:624.131.2(075.8)

ББК 26.3

ISBN

- © Полищук А. И., Чернявский Д. А., 2016
- © ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1 ГРУНТЫ, ИХ ПРИСХОЖДЕНИЕ И СОСТАВ	8
1.1 Краткие сведения о грунтах	8
1.2 Происхождение грунтов	11
1.3 Составные части грунтов	12
1.4 Структурные связи в грунтах	15
1.5 Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями	16
Контрольные вопросы	17
2 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТОВ	18
2.1 Физические характеристики грунтов	18
2.2 Классификационные показатели грунтов	21
2.3 Механические характеристики грунтов	24
2.4 Связь физических и механических характеристик грунтов	27
2.5 Нормативные и расчетные характеристики грунтов	32
Контрольные вопросы	35
3 СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ ..	37
3.1 Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов	37
3.2 Классификация глинистых грунтов	39
3.3 Систематизация особых видов грунтов	41
3.3.1 <i>Лессовые просадочные грунты</i>	42
3.3.2 <i>Набухающие глинистые грунты</i>	50

3.4 Классификация сейсмичности строительных площадок с учетом категории грунтов	56
Контрольные вопросы	60

4 АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ ... 62

4.1 Оценка грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий на песчаных и глинистых грунтах	62
4.1.1 <i>Общие положения</i>	62
4.1.2 <i>Примеры оценки грунтовых условий площадок строительства, сложенных песчаными и глинистыми грунтами</i>	68
4.2 Обоснование типа грунтовых условий по просадочности при проектировании фундаментов зданий на лессовых просадочных грунтах	96
4.2.1 <i>Общие положения</i>	96
4.2.2 <i>Пример оценки ожидаемой просадки от собственного веса грунта</i>	98
4.2.3 <i>Пример оценки типа грунтовых условий по просадочности</i>	100
4.3 Оценка набухания и усадки глинистых грунтов площадок строительства при проектировании фундаментов зданий	105
4.4 Оценка сейсмичности строительных площадок с учетом категории грунтов	110
Контрольные вопросы	116
Список литературы	118

ВВЕДЕНИЕ

Инженер-строитель должен хорошо понимать, что представляют собой грунты основания и как определяются их свойства. Для этого производится оценка грунтовых условий площадок строительства. Под оценкой грунтовых условий площадок строительства понимается обобщение результатов исследований свойств грунтов, выполняемых на стадии инженерно-геологических изысканий, и выявление возможности их использования в качестве основания фундаментов зданий или сооружений.

Стоимость работ по устройству фундаментов обычно составляет 10–20 % от стоимости всего здания, а при сложных грунтовых условиях (например, при строительстве на структурно-неустойчивых грунтах, либо в сейсмоопасных районах) она может достигать 15–25 %. Таким образом, правильная оценка грунтовых условий площадок строительства и грамотное проектирование фундаментов позволяет снизить стоимость возводимого здания (сооружения) [1, 6, 7 и др.].

Для оценки грунтовых условий необходимо иметь материалы инженерно-геологических, инженерно-геодезических и других изысканий (например, инженерно-экологических, инженерно-геотехнических). В общем случае, результаты изысканий должны содержать сведения о местоположении района строительства, его климатических и геоморфологических условиях, инженерно-геологическом строении и литологическом составе толщи грунтов, а также о наблюдаемых неблагоприятных явлениях (наличие просадочности или набухания грунтов, оползневых склонов на строительной площадке и др.). На топографическом плане указываются места геологических выработок (скважины, шурфы). В материалах изысканий даются геолого-литологические разрезы и профили с указанием абсолютных отметок, сведения о мощности отдельных пластов грунта. Результаты изысканий обычно представляют-

ся в виде отчетов (заключений), которые содержат данные о физико-механических свойствах грунтов основания. Особое внимание при составлении отчетов следует обращать на гидрологические условия строительства, на установившийся уровень подземных вод и на причины, которые могут вызвать его колебание. В отчете или заключении по инженерно-геологическим изысканиям приводятся также данные о сезонном промерзании грунтов, сейсмичности строительных площадок и другие сведения.

В настоящем учебном пособии рассматриваются вопросы оценки грунтовых условий для нового строительства зданий (сооружений). Для условий реконструкции и восстановления зданий (сооружений) с этими вопросами можно познакомиться в работах [5, 6, 11, 14].

В соответствующих разделах учебного пособия приводятся справочные данные, которые необходимы для проектирования фундаментов зданий, а также указаны источники, где их можно найти. Обозначения и термины приводятся в соответствии с действующими стандартами на грунты [8] и нормативными документами на проектирование фундаментов [4, 20, 21].

Введение, разделы 1, 2, 3 и 4 (кроме параграфов 2.5, 3.4, 4.1.2 и 4.4) написаны д-ром техн. наук, профессором А. И. Полищуком; параграфы 2.5, 3.4, 4.1.2 и 4.4 написаны д-ром техн. наук, профессором А. И. Полищуком и инженером Д. А. Чернявским совместно.

Авторы благодарят рецензентов: зав. кафедрой промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова, д-ра техн. наук, профессора **Г. М. Скибина** и профессора кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин), канд. техн. наук **Л. В. Нуждина** за ценные

замечания, которые были учтены при доработке учебного пособия. Авторы также выражают свою признательность инженеру **И. В. Семенову** за подготовку материалов к печати.

Замечания и отзывы на учебное пособие просьба направлять по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, кафедра «Основания и фундаменты».

1 ГРУНТЫ, ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СОСТАВ

1.1 Краткие сведения о грунтах

Грунты – любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы и как часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека [8].

Термин «грунт» обычно широко применяется в строительстве. В других отраслях инженерно-хозяйственной деятельности человека (например, горной, геолого-разведочной, инженерно-геологической и др.) широко используется термин «горная порода». При описании результатов инженерно-геологических изысканиях и грунтовых условий площадок строительства применяются одновременно оба термина «горная порода» и «грунт».

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 (Грунты. Классификация) грунты подразделяются на **три основных класса**: 1 – *скальные (полускальные)* грунты; 2 – *дисперсные (рыхлые или нескальные)* грунты; 3 – *мерзлые* грунты.

Скальные (полускальные) – это грунты, имеющие жесткие структурные связи кристаллизационного и/или цементационного типа. Такие грунты обладают значительной прочностью на одноосное сжатие (R_c) в водонасыщенном состоянии ($R_c \approx 5 \dots 120$ МПа – скальные грунты, $R_c \approx 1 \dots 5$ МПа – полускальные грунты).

Скальные грунты подразделяются на очень прочные ($R_c \geq 120$ МПа), прочные ($120 > R_c \geq 50$ МПа), средней прочности ($50 > R_c \geq 15$ МПа), малопрочные ($15 > R_c \geq 5$ МПа); *полускальные* подразделяются на пониженной прочности ($5 > R_c \geq 3$ МПа), низкой прочности ($3 > R_c \geq 1$ МПа), весьма низкой прочности ($R_c < 1$ МПа) [8].

Дисперсные (нескальные или рыхлые) – это грунты, состоящие из совокупности твердых частиц, зерен, обломков и других элементов, между которыми есть физические, физико-химические или механические структурные связи.

Дисперсные грунты подразделяются на *связные* и *несвязные* (сыпучие). К *связным* грунтам относятся глинистые грунты (супеси, суглинки, глины), илы, сапропели, заторфованные глинистые грунты, торфы и др. К *несвязным* – крупнообломочные грунты, пески, пески с ракушкой, заторфованные пески и др.

Глинистые грунты – связные грунты, состоящие в основном из пылеватых и глинистых (не менее 3 %) частиц, обладающих свойствами пластичности ($I_p \geq 1$ %) [8].

Крупнообломочные грунты – несвязные минеральные грунты, в которых масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50 % [8].

Песчаные грунты (пески) – несвязные минеральные грунты с массой частиц размером 0,05...2 мм более 50 % и числом пластичности $I_p < 1$ % [8].

Мерзлые грунты – это грунты, имеющие отрицательную или нулевую температуру, содержащие в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующиеся криогенными структурными связями. Мерзлые грунты бывают многолетнемерзлые и сезонномерзлые. *Многолетнемерзлые* грунты – грунты, находящиеся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет. *Сезонномерзлые* грунты – грунты, находящиеся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

Совокупность рассмотренных выше грунтов (скальных, дисперсных, мерзлых) можно представить в виде обобщенной блок-схемы по признаку их разновидностей (рисунок 1.1).

В настоящем учебном пособии рассматриваются в основном глинистые, крупнообломочные и песчаные грунты, как

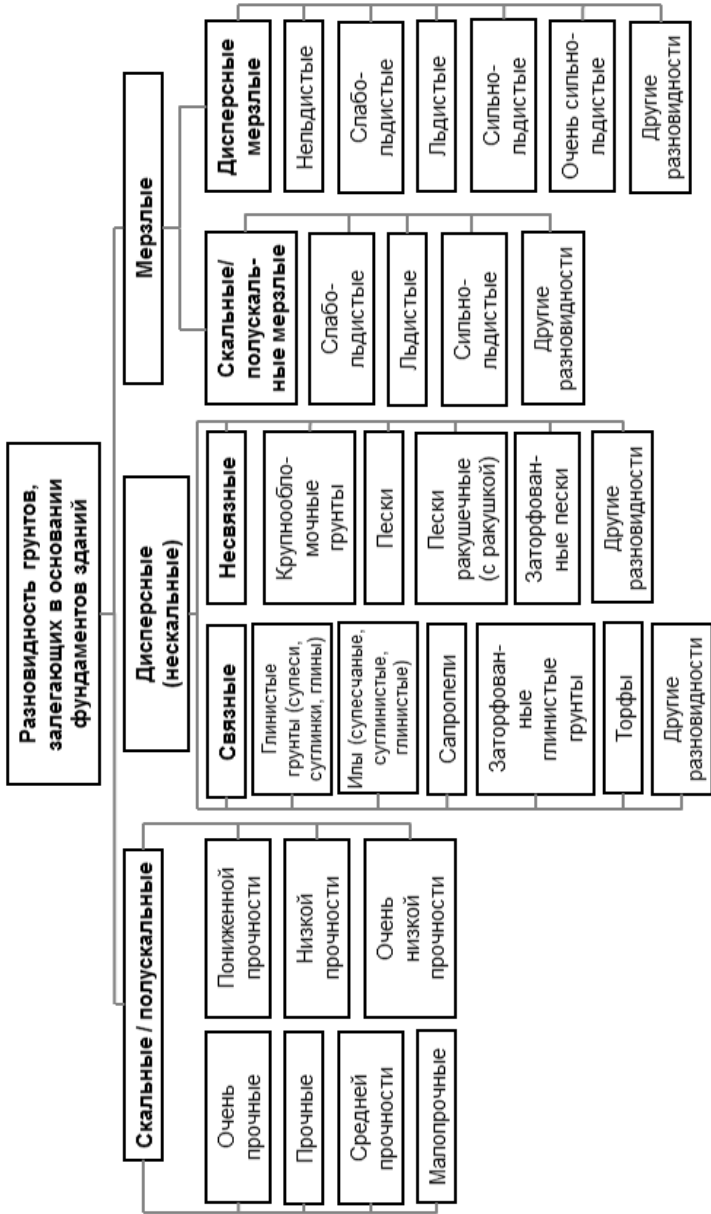


Рисунок 1.1 – Обобщенная блок-схема по признаку разновидностей скальных, дисперсных и мерзлых грунтов

наиболее распространенные (часто используемые) в курсовом и дипломном проектировании.

Скальные грунты изучаются в дисциплине «Механика скальных грунтов», а мерзлые грунты в дисциплине «Механика мерзлых грунтов» и в настоящем учебном пособии не рассматриваются.

1.2 Происхождение грунтов

Основной объем дисперсных грунтов образовался в результате накопления отложений физического и химического выветривания. Некоторые грунты образовались вследствие отложения органических веществ (торфы, илы, сапропели). Грунты также образуются в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека. Например, при создании отвалов строительного мусора, горных пород как отходов добычи полезных ископаемых, отходов золы и шлака (техногенные отложения) [1]. Кроме того, грунты могут создаваться в результате искусственной отсыпки или намыва различных отложений.

Грунты в зависимости от **условий своего происхождения** подразделяются на *континентальные осадочные и морские осадочные образования* [1, 2]. К **континентальным** грунтам относятся:

- аллювиальные – отложения постоянно действующих водотоков (рек, крупных ручьев);
- делювиальные – отложения, перенесенные к основанию склона дождевыми и тальными водами (песчаные и глинистые грунты с включениями дресвы и щебня);
- элювиальные – продукты выветривания скальных горных пород (супеси, пылеватые пески, суглинки с примесями дресвы и щебня);
- золовые – продукты осаждения частиц, переносимых ветром;

- ледниковые и водно-ледниковые отложения, образованные в период оледенения и таяния ледников (пески, суглинки с прослойками и включениями гравия, гальки и валунов).

К **морским** грунтам (отложениям) относятся все накопления из материала, приносимого в море поверхностными водными потоками образующиеся при переработке морских берегов водным прибоем [1, 2]:

- озерные – отложения на дне озер (сапропели, илы);
- флювиогляциальные – отложения, сформированные потоками воды, образующимися при таянии ледников (пески, реже супеси, суглинки, гравий, галька);
- лимногляциальные (озерно-ледниковые) – отложения, образовавшиеся на дне ледниковых озер (ленточные глины и суглинки, илы).

Из-за различий в условиях происхождения и последующих процессов преобразования свойства грунтов практически всегда разные. Довольно часто наблюдается разнообразие свойств даже у грунтов одного и того же происхождения. Поэтому грунты являются телами неоднородными как по глубине, так и по ширине залегания слоя.

1.3 Составные части грунтов

Грунт является многокомпонентной (многофазной) системой и состоит обычно из трех компонент: *твердой, жидкой и газообразной*, которые находятся в постоянном взаимодействии между собой [5, 6]. Иногда рассматривают четырехкомпонентный (четырефазный) грунт, у которого четвертой компонентой является лед. Такие грунты находятся в мерзлом, неводонасыщенном состоянии. Мерзлые грунты изучаются в дисциплине «Механика мерзлых грунтов».

Твердая компонента представляет собой **твердые частицы грунтов** минерального и органического происхождения. Они состоят из минералов с различными формами и раз-

мерами разной окатанности. В совокупности эти минералы образуют пространственную структуру грунта, способную сопротивляться объемным изменениям (формоизменениям), как твердые тела. Часто минералы представлены кварцем, полевым шпатом, слюдой, кремнем и др. Структуры из таких минералов обычно *гидрофобны* (минералы не меняют своих свойств в водной среде). Следует также заметить, что связь между твердыми частицами минерального происхождения практически отсутствует, поэтому грунты с такими минералами называют *несвязными*. К ним относятся песчаные и крупнообломочные грунты. Если минералы представлены каолинитом, монтмориллонитом, иллитом, аттапульгитом (глинистые минералы), то образованные из них структуры *гидрофильны*. Это обусловлено поверхностной активностью минералов по отношению к воде. Глинистые минералы имеют пластинчатую или игольчатую форму. При этом размеры кристаллов очень малы (1–2 мкм), а соотношения длины к толщине превышает десятки раз. Поэтому они имеют огромную удельную поверхность ($\text{м}^2/\text{г}$). Так, например, 1 г монтмориллонита имеет суммарную поверхность 800 м^2 , а 1 г каолинита 10 м^2 [2]. Содержание глинистых минералов оказывает существенное влияние на свойства грунтов, особенно на их связность. Поэтому грунты, содержащие глинистые минералы (фракции), называются *связными*. К ним относятся грунты супеси, суглинки и глины.

Жидкая компонента представляет собой *воду, находящуюся в порах грунта* [1, 2]. Вода в грунте играет огромную роль при формировании их физических, прочностных и деформационных свойств, которые зависят от ее содержания. Особенно это проявляется в глинистых грунтах, так как вследствие наличия электромолекулярных сил диполи (молекулы) воды интенсивно взаимодействуют с поверхностями коллоидных частиц. Чем больше в грунте коллоидных (глинистых) частиц, тем больше связной воды в этих грунтах. Вода в грунте может быть в различных видах и состояниях.

Принято считать, что вода в грунте находится в *кристаллизационном (химически связанном), связанном и свободном состояниях*.

Кристаллизационная вода находится внутри частиц грунта и на их контактах. Ее можно удалить путем длительного нагревания, что нередко приводит к разложению самих минералов и к изменению свойств грунта.

Связанная вода адсорбируется (оседает) на поверхности твердых минеральных частиц в результате взаимодействия электромолекулярных сил между молекулами (диполями) воды и поверхностью минералов. Связанная вода бывает прочносвязанная и рыхлосвязанная.

Свободная вода находится вне пределов действия электромолекулярных сил и обладает действиями, присущими для открытых сосудов. Эта вода подчиняется законам фильтрации. Свободную воду подразделяют на *гравитационную и капиллярную*. В песчаных грунтах (крупнообломочных, крупнозернистых) преобладает гравитационная вода. Капиллярная вода находится выше уровня подземных вод и содержится в мелкозернистых песчаных и глинистых грунтах. Высота столба капиллярной воды существенно зависит от гранулометрического состава грунта и изменяется от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Газообразная компонента (газообразная составляющая) грунта представляет собой *газ и воздух, находящиеся в порах*. Газ, в зависимости от его количества и состояния, может влиять на деформируемость и фильтрационную способность грунтов. Газы в грунтах могут находиться в *свободном состоянии или растворены в воде*. Свободный газ (воздух) подразделяется на незащемленный, сообщающийся с атмосферой (сухие пески, грунты выше уровня подземных вод), и защемленный, находящийся в контакте с частицами грунта и пленками воды в виде мельчайших пузырьков воздуха. В поровой воде обычно содержится определенное количество растворенного газа.

1.4 Структурные связи в грунтах

Структурными связями называются такие связи, которые действуют между минеральными частицами и агрегатами частиц в грунте. По своей природе и по прочности они весьма различны. Прочность структурных связей в сотни (иногда тысячи) раз меньше прочности самих минеральных частиц. Поэтому прочность и деформируемость грунтов в целом зависит от *вида структурных связей*, которые подразделяются на *связные и несвязные*. В пылевато-глинистых грунтах (супеси, суглинки и глины) структурные связи связные и такие грунты называют связными; в крупнообломочных и песчаных грунтах структурные связи несвязные и такие грунты называют сыпучими (несвязными). Связные (глинистые) грунты могут воспринимать растягивающие напряжения; несвязные (сыпучие) – нет. При частичном увлажнении в песчаных грунтах могут появляться силы сцепления за счет поверхностного натяжения водных пленок вокруг частиц. При полном насыщении пор песчаного грунта водой эти силы исчезают.

В песчаных грунтах, где обычно нет структурных связей, взаимное смещение минеральных частиц, происходит, как правило, при незначительной нагрузке. Поэтому в несвязных (сыпучих) грунтах практически отсутствует структурная прочность. *Структурные связи* в глинистых грунтах имеют сложную природу образования и разделяются на первичные и вторичные. *Первичные связи* определяются электромолекулярными силами взаимного притяжения и отталкивания между частицами (их принято называть водно-коллоидными) [2]. *Вторичные связи* возникают в результате старения коллоидов и их кристаллизации (их принято называть кристаллизационными или жесткими). Эти связи после их нарушения не восстанавливаются.

1.5 Особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями

Среди дисперсных (нескальных) грунтов выделяют особые грунты, которые обычно называются *структурно-неустойчивыми*. **Структурно-неустойчивыми** называют грунты, обладающие способностью к резкому снижению прочности структурных связей между частицами при некоторых воздействиях (нагревании, увлажнении, оттаивании, быстром нагружении или вибрационном воздействии и др.) [3, 5, 6, 10]. К таким грунтам относятся:

- лёссовые просадочные грунты (преимущественно глинистые: супеси и суглинки в твердом / полутвердом состоянии);
- набухающие грунты (глинистые с большим содержанием гидрофильных глинистых минералов, малой влажностью в природном состоянии);
- слабые водонасыщенные глинистые грунты (морские и пресноводные илы, ленточные глины, водонасыщенные лессы и др.; для таких грунтов характерна высокая пористость в природном состоянии, насыщенность водой, малая прочность, значительная сжимаемость);
- засоленные грунты (крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые, содержащие определенное количество легко- и среднерастворимых солей);
- торфяные и заторфованные грунты (органоминеральные отложения, состоящие не менее чем на 50% из остатков болотной растительности);
- насыпные грунты (отложения природного происхождения с нарушенной естественной структурой, а также минеральные отходы промышленных производств, твердые бытовые отходы, образовавшиеся при их отсыпке или гидронамыве) и др. [6, 9].

Структурно-неустойчивые грунты имеют широкое распространение на территории России. Они группируются пре-

имущественно в определенных климатических зонах (регионах). Поэтому такие грунты иногда называют *региональными*, а условия строительства на таких грунтах относят к региональным или *особым* [5].

Контрольные вопросы

- 1. Что называется грунтами и на какие основные классы они подразделяются?*
- 2. Какие грунты называются скальными?*
- 3. Какие грунты называются дисперсными?*
- 4. Какие грунты называются мерзлыми?*
- 5. Какие грунты относятся к глинистым?*
- 6. Какие грунты относятся к крупнообломочным и песчаным?*
- 7. Каким образом образовался основной объем дисперсных грунтов?*
- 8. Могут ли создаваться грунты в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека?*
- 9. Какие грунты относятся к континентальным?*
- 10. Назовите основные составные части (компоненты) грунтов.*
- 11. Из каких минералов состоят твердые частицы грунта?*
- 12. В каком состоянии может находиться вода в грунте?*
- 13. В каком состоянии может находиться газ в грунте?*
- 14. Назовите виды основных структурных связей в грунте; оказывают ли они влияние на физико-механические свойства грунта?*
- 15. Какие грунты называются структурно-неустойчивыми?*
- 16. Какие грунты называются связными, какие виды и подвиды к ним относятся?*
- 17. Какие грунты называются несвязными и какие виды, подвиды к ним относятся?*
- 18. Что понимается под оценкой грунтовых условий площадок строительства?*

2 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТОВ

2.1 Физические характеристики грунтов

Физические характеристики – это совокупность характеристик, с помощью которых грунт оценивается как физическое тело. Разнообразие состава, строения и состояния грунтов делает неизбежным введение значительного числа таких характеристик. Некоторые из них непосредственно применяются в расчетах оснований и грунтовых сооружений. Физические характеристики подразделяют на *основные* и *дополнительные*.

К *основным* физическим характеристикам, которые устанавливаются экспериментально, относятся:

1. Плотность грунта ρ (г/см^3 , т/м^3) – отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к занимаемому этим грунтом объему [1, 11]. Наиболее вероятные пределы изменения ρ для проектирования фундаментов зданий: $\rho = 1,65 \dots 2,1 \text{ г/см}^3$ (т/м^3).

2. Плотность частиц грунта ρ_s (г/см^3 , т/м^3) – отношение массы твердых частиц грунта (абсолютно сухого грунта) к их объему. Эта характеристика зависит только от минерального состава. Для одного и того же грунта характеристика ρ_s практически постоянная величина [5]. Наиболее вероятные пределы изменения ρ_s составляют $\rho_s = 2,65 \dots 2,75 \text{ г/см}^3$ (т/м^3).

3. Влажность грунта W (% , д. ед.) – отношение массы воды к массе твердых частиц грунта. Влажность определяется с помощью взвешивания массы грунта до и после высушивания в термостате при температуре 105°C [5]. Наиболее вероятные пределы изменения W для проектирования фундаментов зданий составляют: пески, супеси, суглинки, глины $W = 4 \dots 40\%$ ($0,04 \dots 0,4$); илы, торфы $W = 4 \dots 100\%$ ($0,04 \dots 1,0$).

К *дополнительным* физическим характеристикам грунтов, определяемых расчетом, относятся:

4. Плотность сухого грунта ρ_d (*плотность скелета грунта*) (г/см^3 , т/м^3) – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры) (г/см^3 , т/м^3) [1].

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \quad (2.1)$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3 ;
 W – влажность грунта, д. ед.

Этот показатель используется для косвенной оценки плотности сложения песчаных и плотности глинистых грунтов и изменяется чаще в пределах $\rho_d = 1,15 \dots 1,8 \text{ г/см}^3$ (т/м^3).

5. Коэффициент пористости e – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта [1, 5].

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1, \quad (2.2)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3 ;
 ρ_d – то же, что и в формуле (2.1).

Параметр e характеризует плотность сложения песчаных грунтов и изменяется обычно в пределах $e = 0,5 \dots 1,0$.

6. Коэффициент водонасыщения S_r (*степень влажности*) – характеризует степень заполнения объема пор грунта водой [8].

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e}, \quad (2.3)$$

где ρ_s , W , e – обозначения те же, что и в формулах (2.1), (2.2);
 ρ_w – плотность воды, принимаемая равной $1,0 \text{ г/см}^3$
(г/м^3).

Этот показатель используется для классификации *крупнообломочных и песчаных грунтов* и изменяется в пределах $S_r = 0 \dots 1,0$.

7. Плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды ρ_{sb} . Для грунтов, в порах которых имеется свободная и гидравлически непрерывная вода, его частицы испытывают взвешивающее действие воды в соответствии с законом Архимеда [1]. Обычно такое явление проявляется в случае, когда грунты залегают ниже уровня подземных вод. Плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды ρ_{sb} вычисляется по формуле:

$$\rho_{sb} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e}, \quad (2.4)$$

где ρ_w – плотность воды, принимаемая $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$.

Характеристика ρ_{sb} используется для определения напряжений в грунте под действием его собственного веса на отметках ниже уровня подземных вод. Показатель ρ_{sb} обычно определяется для крупнообломочных и песчаных грунтов, реже для глинистых (супесей, суглинков легких). В плотных суглинках и глинах взвешивающее действие воды проявляется сложным образом и в расчетах не учитывается. Обычно считается, что при коэффициенте фильтрации грунта менее 10^{-8} см/с ($K_f < 10^{-8} \text{ см/с}$), грунт является водоупором и взвешивающее действие поровой воды на его частицы отсутствует [1]. Водоупор – слой грунта, не пропускающий воду.

Кроме рассмотренных выше физических характеристик (*основных и дополнительных*), для оценки грунтов использу-

ется целый ряд показателей, которые называют *классификационными показателями грунтов*.

2.2 Классификационные показатели грунтов

Классификационные показатели – это совокупность характеристик, с помощью которых осуществляется классификация дисперсных (нескальных) грунтов. К ним относятся следующие показатели:

1. Число пластичности I_p (% , д. ед.) – разность влажностей, соответствующая двум состояниям грунта: на границе текучести W_L и на границе раскатывания (пластичности) W_p [8].

$$I_p = W_L - W_p, \quad (2.5)$$

где W_L – **влажность на границе текучести** – влажность, при увеличении которой глинистый грунт переходит из пластичного состояния в текучее, %, д. ед.;

W_p – **влажность на границе раскатывания** – это влажность, при уменьшении которой глинистый грунт переходит из пластичного состояния в твердое, %, д. ед.

Значения W_L , W_p определяются экспериментально. Влажность на границе текучести W_L соответствует такой влажности грунта, при которой стандартный конус массой 76 г с углом при вершине 30° погружается в образец на глубину 10 мм за 5 с. Влажность на границе раскатывания (пластичности) W_p называется влажность грунта, при которой он теряет способность раскатываться в жгут диаметром 2...3 мм и распадается на фрагменты длиной до 10 мм [1, 6, 10].

Показатель I_p определяется только для *глинистых грунтов* и служит для установления их наименования.

В общем случае под **пластичностью** понимают способность глинистых грунтов изменять свою форму (деформироваться) без разрыва сплошности.

2. Показатель текучести I_L (д. ед.) – показатель состояния (консистенции) глинистого грунта, определяемый по формуле:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{W - W_p}{I_p}, \quad (2.6)$$

где W , W_L , W_p – обозначения те же, что и в формулах (2.1), (2.5).

Показатель I_L определяется только для *глинистых грунтов*. Он характеризует состояние (консистенцию) глинистого грунта.

3. Гранулометрический (зерновой) состав – относительное содержание по массе отдельных фракций (частиц различной крупности) по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта. Гранулометрический (зерновой) состав определяется экспериментально.

4. Степень плотности песков I_d (*плотность сложения*) определяется по формуле

$$I_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}, \quad (2.7)$$

где e – обозначение то же, что и в формуле (2.2);

e_{max} – коэффициент пористости в предельно-рыхлом сложении;

e_{min} – коэффициент пористости в предельно-плотном сложении.

По показателю I_d подразделяют *пески искусственного сложения* на слабоуплотненные, среднеуплотненные и сильноуплотненные [8].

При проектировании фундаментов для промышленного и гражданского строительства плотность сложения песка I_d часто определяется в зависимости от коэффициента пористости e . При таком подходе пески классифицируются на плотные, средней плотности и рыхлые [1, 5, 8].

Для практических расчетов оснований и земляных сооружений используют характеристику *удельного веса грунта* γ , которая выражается в ньютонах (килоньютонах) на кубический метр (Н/м^3 , кН/м^3) [12].

Расчетное значение *удельного веса грунта* γ определяется путем умножения плотности грунта ρ на ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$:

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (2.8)$$

Соответственно, расчетом устанавливаются *удельный вес частиц грунта* γ_s (кН/м^3) и *удельный вес сухого грунта* γ_d (кН/м^3):

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g, \quad (2.9)$$

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g. \quad (2.10)$$

Если грунт находится ниже уровня подземных вод, то определяется *удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды* γ_{sw} .

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (2.11)$$

где γ_s , e – обозначения те же, что и в формулах (2.2)–(2.9);
 γ_w – удельный вес воды, принимаемый равным 10 кН/м^3 .

Характеристика γ_{sb} также определяется для крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов (например, супесей, иногда лёгких суглинков), которые не являются *водоупором*.

Основные физические характеристики (ρ , ρ_s , W) и классификационные показатели (I_L , I_p , *гранулометрический состав и др.*) обычно задаются в задании на выполнение курсового или дипломного проекта (дипломной работы). В отдельных случаях характеристики физического состояния грунтов, необходимые для оценки грунтовых условий площадки строительства, могут устанавливаться расчётом либо косвенно с использованием специальных таблиц и рекомендаций.

2.3. Механические характеристики грунтов

Для оценки сжимаемости, прочности, устойчивости и водопроницаемости оснований фундаментов необходимо иметь механические характеристики грунтов. Различают *деформационные, прочностные и фильтрационные* характеристики, которые составляют группу механических характеристик грунтов [1, 2, 6, 8].

Деформационные характеристики – это характеристики грунтов, которые определяют их способность сопротивляться развитию осадок, горизонтальных смещений и др. К основным деформационным характеристикам грунтов относят: ***E*** – *модуль деформации, МПа*, ***m_o*** – *коэффициент сжимаемости, МПа⁻¹*, ***m_v*** – *коэффициент относительной сжимаемости, МПа⁻¹*.

Эти характеристики (***E***, ***m_o***, ***m_v***) используются при расчете осадок оснований фундаментов зданий и сооружений. Модуль деформации грунта ***E*** довольно часто определяют по результатам испытаний грунтов в компрессионных приборах. В этом случае характеристику ***E*** принято обозначать ***E_k***. Между характеристиками ***m_o*** и ***E_k*** существует функциональная зависи-

мость, которую можно записать в виде формулы:

$$E_k = \beta \cdot \frac{1 + e}{m_o}, \quad (2.12)$$

где e – то же, что и в формуле (2.2);

β – безразмерный коэффициент, зависящий от деформируемости грунта в поперечном направлении ($\beta = 0,74$ – для песков и супесей, $\beta = 0,62$ – для суглинков, $\beta = 0,4$ – для глин).

Формула (2.12) позволяет установить значения модуля деформации грунтов E_k по результатам проведения компрессионных испытаний. Однако следует отметить, что при расчете осадок оснований фундаментов значения модуля деформации E_k , полученные по результатам компрессионных испытаний, практически для всех разновидностей грунтов (за исключением сильносжимаемых) получаются заниженными. Поэтому они могут использоваться для сравнительной оценки сжимаемости грунтов строительной площадки или для оценки их неоднородности по сжимаемости.

В расчетах осадок оснований фундаментов данные по характеристикам E_k следует корректировать на основе сопоставительных испытаний тех же грунтов в полевых условиях жесткими штампами. Значения модуля деформации грунта E с учетом корректирующих коэффициентов m_k , определяются выражением

$$E = m_k E_k, \quad (2.12a)$$

Для четвертичных супесей, суглинков и глин можно принимать значения корректирующих коэффициентов m_k по таблице 2.1. При этом значения модуля деформации грунта E необходимо определять в интервале давлений 0,1–0,2 МПа [9, 11]. Следует также отметить, что в последние годы появился

целый ряд работ, которые свидетельствуют о существенном отличии коэффициентов m_k от рекомендованных нормативными документами и ведущими специалистами (таблица 2.1). Следовательно, исследования по уточнению значений коэффициента m_k должны продолжаться с учетом региональных особенностей грунтов и методики проведения экспериментов [3, 9, 20].

Таблица 2.1 – Корректирующие коэффициенты m_k для аллювиальных, делювиальных, озерных и озерно-аллювиальных четвертичных грунтов при показателе текучести $I_L \leq 0,75$

Грунт	Значения m_k при коэффициенте пористости грунта e , равном						
	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супесь	4	4	3,5	3	2	–	–
Суглинок	5	5	4,5	4	3	2,5	2
Глина	–	–	6	6	5,5	5	4,5

Примечание – Для промежуточных значений e допускается определять коэффициент m_k по интерполяции.

Прочностные характеристики – это характеристики грунтов, которые определяют способность грунта сопротивляться разрушению. Различают следующие прочностные характеристики: φ – *угол внутреннего трения, град*, c – *удельное сцепление грунта, кПа*. Эти характеристики устанавливаются экспериментально.

Фильтрационные характеристики – это характеристики, которые определяют процессы движения воды в грунтах и существенно влияют на их деформирование, разрушение. Фильтрационные характеристики зависят от скорости отжатия воды из пор грунта [5]. Основной фильтрационной характери-

стикию грунта является K_f – коэффициент фильтрации, см/с.

Движение воды в грунтах может привести к развитию процессов, осложняющих строительство. Коэффициент фильтрации позволяет оценить скорость движения воды в грунте, ее расход (например, приток воды в котлован) и необходимость устройства мероприятий по водопонижению.

Значения коэффициента фильтрации K_f определяются экспериментально и находятся в пределах, указанных в таблице 2.1а [5].

Таблица 2.1а – Значения коэффициента фильтрации K_f для грунтов

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации K_f , см/с
Пески	$a \cdot 10^{-1} \dots a \cdot 10^{-4}$
Супеси	$a \cdot 10^{-3} \dots a \cdot 10^{-6}$
Суглинки	$a \cdot 10^{-5} \dots a \cdot 10^{-8}$
Глины	$a \cdot 10^{-7} \dots a \cdot 10^{-10}$
<i>Примечание</i> – a – любое число от 1 до 9,9.	

В целом, механические характеристики грунтов зависят от их состава (минералогического и гранулометрического), физического состояния (плотности, влажности, температуры) и структурных особенностей.

2.4 Связь физических и механических характеристик грунтов

Физические характеристики грунтов (см. параграфы 2.1, 2.2.) определяются экспериментально (основные характеристики) и расчетом (дополнительные характеристики). Механические характеристики грунтов (см. параграф 2.3) устанавливаются экспериментально. В простейших случаях

допускается определять значения механических характеристик грунтов (прочностных и деформационных) по данным их физических свойств [5].

Таблица 2.2 – Нормативные значения удельного сцепления c_n , угла внутреннего трения φ_n и модуля деформации E песков четвертичных отложений (данные СП 22.13330.2011)

Виды песчаного грунта	Характеристики	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c , кПа	2	1	–	–
	φ , град	43	40	38	–
	E , МПа	50	40	30	–
Средней крупности	c , кПа	3	2	1	–
	φ , град	40	38	35	–
	E , МПа	50	40	30	–
Мелкие	c , кПа	6	4	2	
	φ , град	38	36	32	28
	E , МПа	48	38	28	18
Пылеватые	c , кПа	8	6	4	2
	φ , град	36	34	30	26
	E , МПа	39	28	18	11

Таблица 2.3 – Нормативные значения удельного сцепления c_n , угла внутреннего трения φ_n , глинистых нелёссовых грунтов четвертичных отложений (данные СП 22.13330.2011)

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести	Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном								
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05		
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c , кПа φ , град	21 30	17 29	15 27	13 24	–	–	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c , кПа φ , град	19 28	15 26	13 24	11 21	9 18	–	–	–
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c , кПа	47	37	31	25	22	19	–	–
		φ , град	26	25	24	23	22	20	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c , кПа	39	34	28	23	18	15	–	–
		φ , град	24	23	22	21	19	17	–	–
$0,5 < I_L \leq 0,75$	c , кПа	–	–	25	20	16	14	12	–	
	φ , град	–	–	19	18	16	14	12	–	
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c , кПа	–	81	68	54	47	41	36	
		φ , град	–	21	20	19	18	16	14	
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c , кПа	–	–	57	50	43	37	32	
		φ , град	–	–	18	17	16	14	11	
$0,5 < I_L \leq 0,75$	c , кПа	–	–	45	41	36	33	29		
	φ , град	–	–	15	14	12	10	7		

Таблица 2.4 – Нормативные значения модуля деформации E , МПа, глинистых нелёссовых грунтов

Происхождение и возраст грунтов	Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_L	Модуль деформации грунтов E , МПа, при коэффициенте пористости e , равном														
		0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6				
Четвер- вер- тичные отло- жения	Аллюви- альные, делюви- альные, озерные, озерно- аллюви- альные	–	32	24	16	10	7	–	–	–	–	–	–	–	–	
	Супеси Суг- линки	$0 < I_L \leq 0,75$	–	34	27	22	17	14	11	–	–	–	–	–	–	–
		$0,25 < I_L \leq 0,5$ $0,5 < I_L \leq 0,75$	–	32	25	19	14	11	8	6	5	–	–	–	–	–
	Глины	–	–	28	24	21	18	15	12	9	7	–	–	–	–	
		–	–	–	21	18	15	12	9	7	–	–	–	–	–	
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	

Продолжение таблицы 2.4

Происхождение и возраст грунтов	Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_L		Модуль деформации грунтов E , МПа, при коэффициенте пористости e , равном													
			0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6			
Четве- тичные отло- жения	Флю- виогля- циаль- ные	Супеси	–	33	24	17	11	7	–	–	–	–	–	–	–	–
		Суг- линки	–	40	33	27	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Море- ные		Супеси Су- глинки	60	50	40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Юрские отложения оксфордского яруса		Глины	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Основываясь на обобщении огромного количества испытаний, документ СП 22.13330.2011 [4] допускает (при отсутствии необходимых данных) **для предварительных расчетов оснований**, а также для расчетов оснований сооружений II и III классов ответственности определять нормативные значения модуля деформации E (МПа), угла внутреннего трения φ_n (град) и удельного сцепления c_n (МПа) по физическим характеристикам. В таблицах 2.2, 2.3, 2.4 приводятся нормативные значения прочностных и деформационных характеристик некоторых разновидностей (СП 22.13330.2011 [4]) грунтов, данные которых рекомендуется использовать при оценке грунтовых условий строительства.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно в отдельных случаях определить значения механических характеристик грунтов по их физическим характеристикам.

2.5 Нормативные и расчетные характеристики грунтов

Основные характеристики грунтов устанавливаются экспериментально в полевых или лабораторных условиях, либо расчетом в соответствии с требованиями государственных стандартов и нормативных документов [4, 6, 8 и др.]. Если определяется какая-либо характеристика экспериментально по одному образцу (одной пробе), то в результате получается частное ее значение. Для определения **нормативных и расчетных значений** характеристик грунтов требуется многократные повторные испытания одной и той же характеристики и статистическая обработка результатов экспериментов. Обработка экспериментальных данных по характеристикам грунтов производится методами математической статистики для каждого инженерно-геологического элемента (слоя грунта), выделенного на инженерно-геологическом разрезе. Коли-

чество определений характеристик грунтов должно быть достаточным для статистического анализа (по ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний). В соответствующих ГОСТах приведены рекомендации по определению количества проб грунта в зависимости от его неоднородности и способа статистической обработки данных [1, б].

По результатам частных определений какой-либо характеристики физического состояния устанавливаются ее **нормативное значение** X_n как среднеарифметическую величину:

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.13)$$

где n – количество экспериментов по определению рассматриваемой характеристики;

X_i – частное значение характеристики.

Нормативные значения любой характеристики всегда содержат некоторые погрешности, связанные с неоднородностью грунта и ограниченным количеством испытаний. Поэтому в расчетах оснований и фундаментов используются **расчетные характеристики грунтов**. Расчетное значение характеристики X устанавливается делением нормативного значения характеристики X_n на коэффициент надежности по грунту γ_g :

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}. \quad (2.14)$$

В расчетах оснований фундаментов (сооружений) расчетные значения характеристик грунта X определяют как для расчета по первой группе предельных состояний (X_I), так и

для расчета по второй группе предельных состояний (X_{II}). При этом, расчетные значения физических характеристик грунта (кроме плотности ρ и удельного веса γ) устанавливаются при $\gamma_g = 1$. Расчетные значения плотности и удельного веса грунта находят с учетом показателя точности оценки ее среднего значения аналогично прочностным и деформационным характеристикам грунта [1].

Деформационные характеристики грунта вычисляются также по формулам (2.13) и (2.14). Но в этом случае могут использоваться как компрессионные испытания грунтов в лабораторных условиях, так и штамповые испытания грунтов в полевых условиях. Для зданий и сооружений II и III уровней ответственности значения модуля общей деформации глинистых грунтов оснований допускается определять с помощью компрессионных испытаний с последующей их корректировкой на штамповые испытания, которые рассматриваются как эталонные и наиболее достоверные. Для этого составлены специальные таблицы, которые приведены в работах [20, 21 и др.]. Вследствие трудоемкости полевых штамповых испытаний грунтов (статической вдавливающей нагрузкой) часто ограничиваются двухкратной или трехкратной их повторяемостью. Общие правила назначения коэффициента надежности по грунту γ_g и расчетных значений физических, прочностных и деформационных характеристик грунтов X изложены в соответствующих стандартах и нормативных документах [4, 6, 8, 9 и др.].

Выявлено, что характеристики механических свойств грунтов имеют корреляционную связь с некоторыми показателями их физического состояния. Поэтому при проведении изысканий для строительства сооружений II и III уровней ответственности иногда ограничиваются определением соответствующих показателей физического состояния грунтов, а затем по таблицам приложения СП 22.13330.2011 [4] (или СП 50-101-2004 [21]) находят необходимые значения для каждого инженерно-геологического элемента согласно инженерно-геологических разрезов строительной площадки.

Таким образом, для оценки грунтовых условий строительных площадок необходимы данные о нормативных и расчетных характеристиках грунтов, которые устанавливаются в соответствии с разработанными стандартами и нормативными документами.

Контрольные вопросы

- 1. Дайте определение физическим характеристикам грунта.*
- 2. Какие физические характеристики грунта относятся к основным?*
- 3. Какие физические характеристики грунта относятся к дополнительным?*
- 4. Назовите классификационные показатели дисперсных (нескальных) грунтов.*
- 5. Как определить число пластичности и показатель текучести грунта?*
- 6. Как определяют коэффициент водонасыщения песчаного грунта?*
- 7. В каком случае необходимо определить плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды?*
- 8. Что такое гранулометрический (зерновой) состав грунта и как он определяется?*
- 9. Как подразделяются песчаные грунты по плотности сложения?*
- 10. Как определить показатель текучести глинистого грунта?*
- 11. Дайте наименование глинистому грунту, если: $W_L = 0,40$, $W_p = 0,27$.*
- 12. Установите показатель текучести глинистого грунта, если: $W = 0,32$, $W_L = 0,38$, $W_p = 0,26$.*
- 13. Как установить характеристики естественной влажности грунта?*

14. *Что такое коэффициент пористости грунта и как он определяется?*
15. *Как установить характеристики плотности грунта в лабораторных условиях?*
16. *Дать определение деформационным и прочностным характеристикам грунта.*
17. *Какие характеристик грунта называются фильтрационными и в каких расчетах они используются?*
18. *Для каких расчетов используются деформационные характеристики грунта?*
19. *Какая существует функциональная зависимость между модулем деформации и коэффициентом относительной сжимаемости?*
20. *Как устанавливаются значения коэффициента фильтрации грунта?*
21. *Как устанавливаются значения модуля деформации грунта?*
22. *Как устанавливаются значения угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистого грунта?*
23. *Для решения каких задач используются прочностные характеристики грунта?*
24. *Что называется модулем деформации грунта и как он определяется?*
25. *Как определяется характеристика модуля деформации грунта в полевых и лабораторных условиях?*
26. *Что понимают под водопроницаемостью грунтов и скоростью фильтрации воды?*
27. *Назовите физические характеристики грунтов, которые устанавливаются экспериментально.*
28. *Назовите механические характеристики грунтов, которые устанавливаются экспериментально.*

3 СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Полная классификация грунтов для инженерно-геологических изысканий, проектирования, строительства зданий и сооружений приведена в ГОСТ 25100–2011 [8]. Ниже дается упрощенная классификация грунтов крупнообломочных, песчаных и глинистых по признаку их разновидностей, которую рекомендуется использовать студентам при оценке грунтовых условий строительных площадок в курсовом и дипломном проектировании.

3.1 Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов

Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов проводится для выделения их *разновидностей*:

1. Наименование крупнообломочных и песчаных грунтов устанавливается по гранулометрическому составу согласно таблице 3.1 [8, 11].

Таблица 3.1 – Разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Размер частиц d , мм, более	Содержание частиц, % по массе, более
<i>Крупнообломочные:</i> валунные (<i>с преобладанием неокатанных частиц – глыбовые</i>)	200	50
галечниковые (<i>с неокатанными гранями – щебенистые</i>)	10	То же
гравийные (<i>с неокатанными гранями – дресвяные</i>)	2	»

Продолжение таблицы 3.1

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Размер частиц d , мм, более	Содержание частиц, % по массе, более
Пески: гравелистые крупные средней крупности мелкие пылеватые	2 0,50 0,25 0,10 0,10	Более 25 Более 50 То же Не менее 75 Менее 75
<i>Примечание</i> – Для установления наименования грунта последовательно суммируются проценты частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 200 мм, затем крупнее 10 мм, далее крупнее 2 мм и т. д. Наименования грунта принимаются по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.		

2. По коэффициенту пористости e пески подразделяют согласно таблицы 3.2 [8, 11].

Таблица 3.2 – Классификация песчаных грунтов по коэффициенту пористости e

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д. ед.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотные	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,6$	$e \leq 0,6$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,7$	$0,6 < e \leq 0,75$	$0,6 < e \leq 0,8$
Рыхлые	$e > 0,7$	$e > 0,75$	$e > 0,8$

3. По коэффициенту водонасыщения S_r крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблицы 3.3 [5, 8].

Таблица 3.3 – Классификация крупнообломочных грунтов и песков по коэффициенту водонасыщения S_r

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Коэффициент водонасыщения S_r , д.ед.
Малой степени водонасыщения (маловлажные)	$0 < S_r \leq 0,5$
Средней степени водонасыщения (влажные)	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1,0$

Песчаные грунты, как и крупнообломочные, в большинстве случаев являются надежными основаниями. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, имеющие плотную или среднюю плотность сложения, хорошо сопротивляются действию внешней нагрузки, претерпевая при этом незначительные деформации. Рыхлые пески слабо сопротивляются внешним нагрузкам, дают большие деформации (осадки). Обводнение гравелистых, крупных и мелких песков мало сказывается на их прочности, а пылеватые пески могут снижать свою прочность при увеличении влажности.

3.2 Классификация глинистых грунтов

Классификация глинистых грунтов проводится также для выделения их разновидностей:

1. Наименование глинистых грунтов устанавливается в зависимости от числа пластичности I_p . Различают следующие разновидности глинистых грунтов: *супеси*, *суглинки* и *глины* (таблица 3.4) [8, 11].

Таблица 3.4 – Разновидности глинистых грунтов (по числу пластичности)

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p , %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Таблица 3.5 – Разновидности глинистых грунтов (по числу пластичности и содержанию песчаных частиц)

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p , %	Содержание песчаных частиц (2–0,05 мм), % по массе
Супесь:		
песчаная	1–7	Не менее 50
пылеватая	1–7	Менее 50
Суглинок:		
легкий песчанистый	7–12	Не менее 40
легкий пылеватый	7–12	Менее 40
тяжелый песчанистый	12–17	Не менее 40
тяжелый пылеватый	12–17	Менее 40
Глина:		
легкая песчанистая	17–27	Не менее 40
легкая пылеватая	17–27	Менее 40
тяжелая	Более 27	Не регламентируется
<i>Примечание</i> – Данные о гранулометрическом (зерновом) составе глинистых грунтов для их классификации используются чаще в дорожном строительстве [13].		

2. По гранулометрическому (зерновому) составу и числу пластичности I_p глинистые грунты подразделяют согласно таблице 3.5 [8, 11].

3. По показателю текучести I_L глинистые грунты подразделяют согласно таблице 3.6 [8, 11].

Таблица 3.6 – Классификация глинистых грунтов по показателю текучести

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести I_L , д. ед.
Супесь: твердая пластичная текучая	$I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 1$ $I_L > 1$
Суглинки, глины: твердые полутвердые тугопластичные мягкопластичные текучепластичные текучие	$I_L < 0$ $0 \leq I_L \leq 0,25$ $0,25 < I_L \leq 0,5$ $0,5 < I_L \leq 0,75$ $0,75 < I_L \leq 1,0$ $I_L > 1$

3.3 Систематизация особых видов грунтов

На территории России довольно часто встречаются особые грунты, обладающие специфическими неблагоприятными свойствами. Строительство на таких грунтах сопряжено с целым рядом дополнительных мероприятий, невыполнение которых часто приводит к значительным деформациям зданий, а иногда и к авариям. К особым грунтам (структурно-неустойчивым) относятся лёссовые просадочные, набухающие, засоленные, торфяные, мерзлые, вечномёрзлые, насыпные и другие. Причины появления неблагоприятных свойств в этих грунтах связаны со снижением прочности структурных связей при определенных условиях. Такими условиями могут быть: дополнительное увлажнение грунтов при давлении, быстрое нагружение или вибрационные воздействия, повышение температуры грунтов и др. Именно поэтому такие грунты часто называют структурно-неустойчивыми.

3.3.1 Лессовые просадочные грунты

Лёссовыми просадочными называются грунты, которые, находясь в напряженном состоянии от действия внешней нагрузки (сооружения) или собственного веса вышележащих слоев, при замачивании испытывают дополнительную осадку. Деформация грунта, обусловленная замачиванием под нагрузкой, при которой происходит коренное, быстро протекающее нарушение структуры грунта называется *просадкой* [6, 14, 15].

Для расчета просадки грунта необходимо знать характеристики просадочности:

1. Относительна деформация просадочности (относительная просадочность) грунта ε_{sl} – это относительное его сжатие при замачивании (рисунок 3.1). Характеристика ε_{sl} определяется по формуле:

$$\varepsilon_{sl} = \frac{h_1 - h_2}{h_0}, \quad (3.1)$$

где h_1 – высота образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением p , равным 0,2–0,3 МПа;

h_2 – высота того же образца после замачивания при сохранении давления p ;

h_0 – высота того же образца грунта природной влажности, обжатого давлением, равным напряжению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине.

Просадочные грунты в зависимости от величины относительной просадочности ε_{sl} подразделяются согласно таблице 3.7 [8, 9].

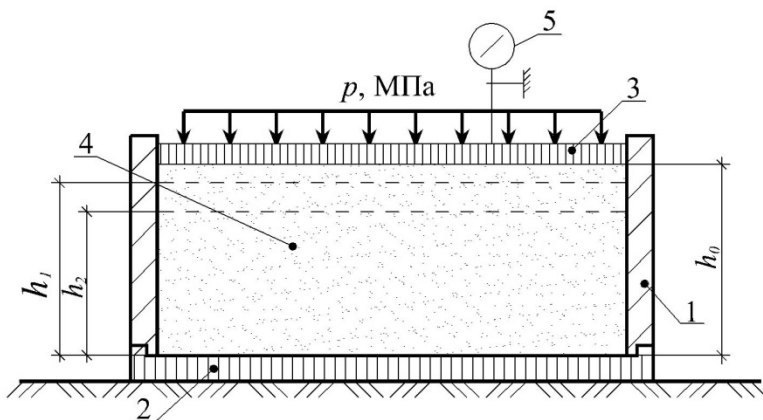


Рисунок 3.1 – Схема испытания грунта при определении относительной просадочности ε_{sl} :

- 1 – рабочее металлическое кольцо (внутренний диаметр более 71 мм, высотой более 20 мм);
- 2 – перфорированный штамп, нижний;
- 3 – то же, верхний;
- 4 – лёссовый просадочный грунт;
- 5 – индикатор для измерения вертикальных перемещений грунта

Величину относительной просадочности – ε_{sl} лёссовых грунтов определяют обычно по схеме «одной кривой» или по схеме «двух кривых» в лабораторных или полевых условиях. Для этого используют компрессионные приборы или опытные штампы (фундаменты) [5, 6].

Таблица 3.7 – Классификация просадочных грунтов

Разновидность глинистых грунтов	Относительная просадочность ε_{sl} , д. ед.
Непросадочные	$\varepsilon_{sl} \leq 0,01$
Слабопросадочный	$0,01 < \varepsilon_{sl} \leq 0,03$
Среднепросадочный	$0,03 < \varepsilon_{sl} \leq 0,07$
Сильнопросадочный	$0,07 < \varepsilon_{sl} \leq 0,12$
Чрезвычайно просадочный	$\varepsilon_{sl} > 0,12$

При испытании в компрессионных приборах по схеме «одной кривой» образец лёссового грунта нагружается до заданного давления (обычно до 0,05–0,3 МПа). После стабилизации осадки от данной ступени нагружения образец замачивается, и одновременно измеряются вертикальные деформации образца. Замачивание производится до тех пор, пока не прекращается просадка. Затем осуществляется дальнейшее нагружение образца. На основании проведенного опыта строится график относительного сжатия ε от прикладываемого давления p (рисунок 3.2, а) и определяется относительная просадочность ε_{sl} образца при заданном давлении.

При определении относительной просадочности ε_{sl} по схеме «двух кривых» испытывается одновременно в компрессионных приборах два образца-близнеца. Один образец – природной влажности, а другой – предварительно водонасыщенный. Нагружение производится ступенями, обычно по 0,025–0,05 МПа до условной стабилизации осадок. По результатам этих опытов строятся два графика изменения относительного сжатия ε от прикладываемого давления p для испытываемых образцов (рисунок 3.2, б) и определяется относительная просадочность грунта ε_{sl} при различном давлении.

Для расчета просадочных деформаций лёссовых оснований необходимо знать относительную просадочность ε_{sl} при различных давлениях (напряжениях), вызванных нагрузкой от фундамента и веса грунта. С этой целью по результатам исследований грунтов строится график $\varepsilon_{sl} = f(p)$, позволяющий определять величину относительной просадочности при любом заданном давлении (рисунок 3.3).

2. Начальное просадочное давление p_{sl} – это минимальное давление на грунт, при котором проявляются просадочные свойства в условиях его полного водонасыщения.

Начальное просадочное давление для большинства лёссовых грунтов изменяется обычно от 40 до 80 кПа. Величина p_{sl} также как и относительная просадочность ε_{sl} , определяется

экспериментально при лабораторных испытаниях в компрессионных приборах или при полевых испытаниях штампами.

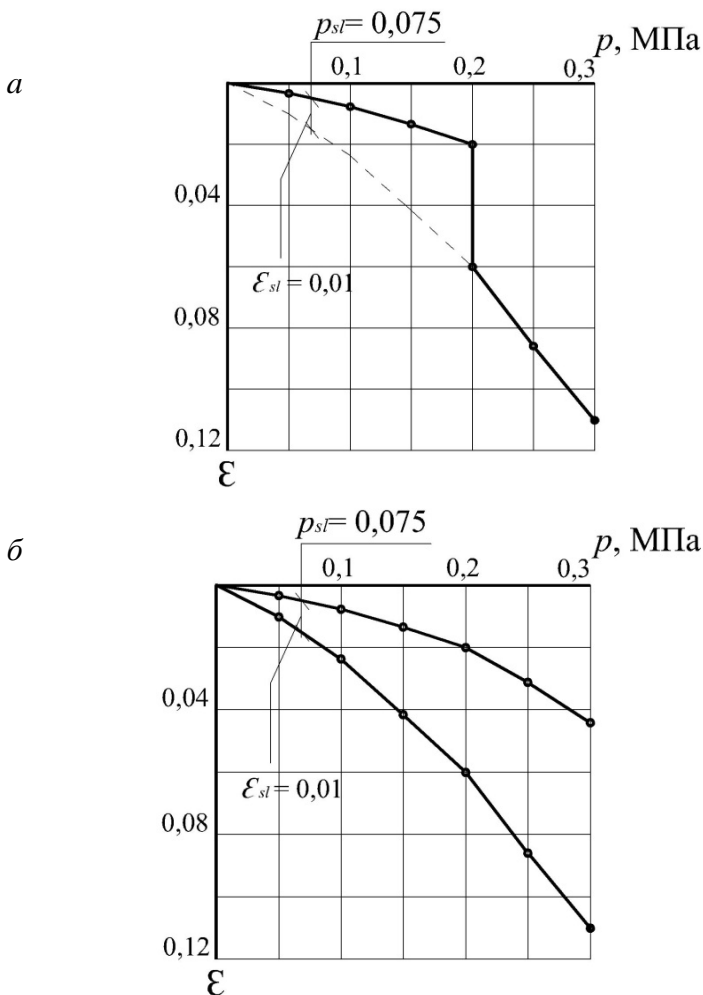


Рисунок 3.2 – Графики зависимостей относительного сжатия ϵ от давления p для лёссовых просадочных грунтов: a – при испытании по схеме «одной кривой»; b – то же, по схеме «двух кривых»

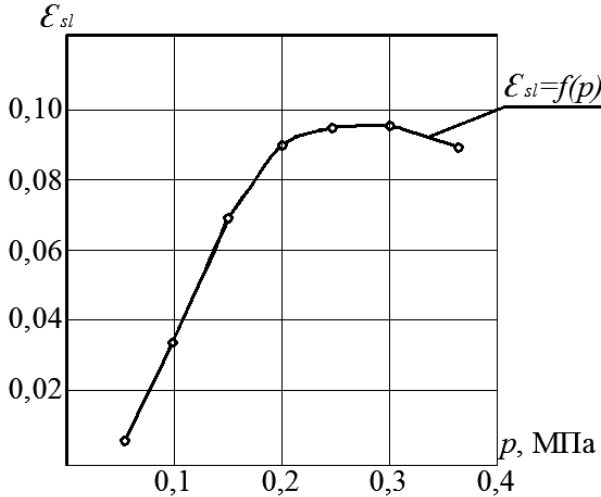


Рисунок 3.3 – График зависимости относительной просадочности ε_{sl} от давления p для лёссовых просадочных грунтов

При испытании лёссовых грунтов в компрессионных приборах за величину начального просадочного давления p_{sl} принимается такое давление на образец грунта, при котором относительная просадочность равна 0,01 ($\varepsilon_{sl} = 0,01$, см. рисунок 3.2). При полевых испытаниях штампами (фундаментами) предварительно замоченных лёссовых грунтов за начальное просадочное давление p_{sl} принимается давление, равное пределу пропорциональной зависимости на графике осадка штампа – нагрузка [5].

Величина ожидаемой просадки S_{sl} всей просадочной толщи лёссовых грунтов основания от действия собственного веса или от давления, передаваемого фундаментом, определяется по формуле:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} h_i K_{sl,i}, \quad (3.2)$$

где n – число слоев, на которые разбивается просадочная толща;
 $\varepsilon_{sl,i}$ – относительная просадочность, определяемая для каждого i -го слоя просадочной толщи при действующем в этом слое давлении p_i ;
 h_i – толщина рассматриваемого i -го слоя грунта;
 $K_{sl,i}$ – коэффициент условий работы основания.

Коэффициент условий работы основания $K_{sl,i}$ представляет собой отношение фактически замеренной просадки к расчетной [5, 14 и др.]. Для большинства районов Северного Кавказа при расчете просадки от собственного веса грунта коэффициент $K_{sl,i} = 0,8-1,3$.

При расчете просадки грунта от нагрузки (давления) фундамента коэффициент условий работы основания K_{sl} принимается: для фундаментов шириной от 12 м и более $K_{sl} = 1$; для ленточных фундаментов шириной до 3 м и прямоугольных шириной до 5 м включительно, по формуле [5]

$$K_{sl} = 0,5 + 1,5 \frac{(p - p_{sl})}{p_0}, \quad (3.3)$$

где p , p_{sl} – соответственно среднее давление по подошве фундамента и начальное просадочное давление, МПа ($p_0 = 0,1$ МПа).

Коэффициент K_{sl} для ленточных фундаментов шириной более 3 м и прямоугольной более 5 м определяется интерполяцией между значениями $K_{sl} = 1$ и вычисленными по формуле (3.3) [5].

Если при расчете по формуле (3.3) значение коэффициента K_{sl} получается меньше единицы, то принимаем $K_{sl} = 1$.

Грунтовые условия строительных площадок в зависимости от возможности проявления просадки грунта от его собственного веса подразделяют на два типа [4, 5, 15].

Первый тип – это такая толща лёссовых грунтов, в которой просадка от действия собственного веса практически отсутствует или ее величина не превышает 5 см. В таких условиях просадка грунта происходит в основном в пределах деформируемой области фундаментов. И в пределах просадочной толщи напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} как правило, меньше начального просадочного давления p_{sl} , т. е. $\sigma_{zg} \leq p_{sl}$ (рисунок 3.4, а).

Второй тип – это толща лёссовых грунтов, в которой наряду с просадкой от давления фундамента возможна просадка от собственного веса грунта и ее величина превышает 5 см (рисунок 3.4, б). В таких грунтовых условиях просадка от собственного веса грунта происходит в нижней части просадочной толщи, начиная с глубины, где напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} больше начального просадочного давления p_{sl} ($\sigma_{zg} > p_{sl}$). Просадка же от нагрузки, передаваемой фундаментом, происходит в верхней части основания, в пределах деформируемой области.

В целом, вероятность просадочности может проявляться у лёссовых макропористых глинистых грунтов с коэффициентом водонасыщения $S_r \leq 0,8$ и относительной просадочностью $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ [1, 5, 10].

Для предварительной оценки грунтовых условий строительства к *просадочным* относят грунты, у которых коэффициент водонасыщения $S_r \leq 0,8$ и показатель I_{ss} меньше значений, приведенных в таблице 3.8 [5].

Показатель I_{ss} определяется по формуле:

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (3.4)$$

где e – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности, определяемый по формуле (2.2);

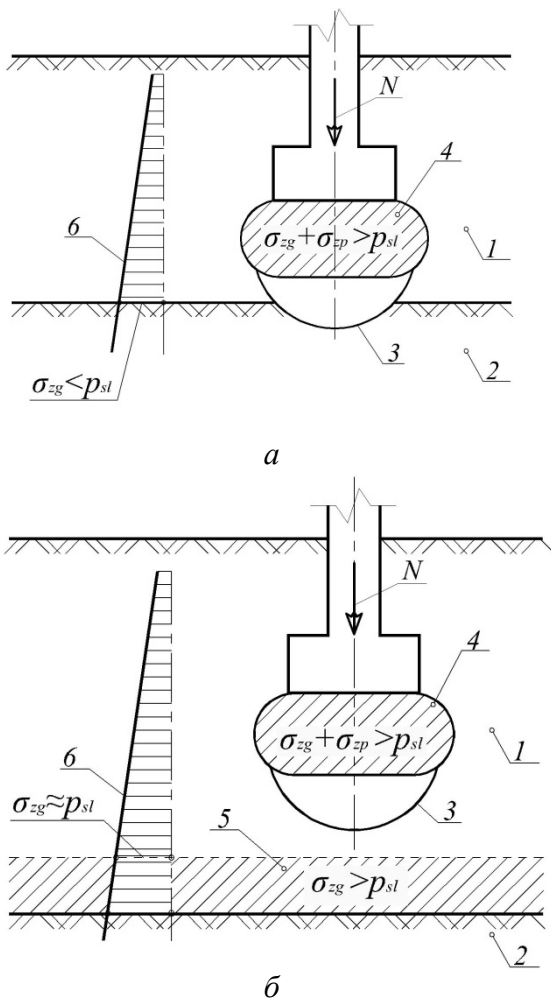


Рисунок 3.4 – Зоны просадка в грунтовых условиях первого (а) и второго (б) типов по просадочности:

- 1, 2 – соответственно просадочная и непросадочная толщи;
- 3 – деформируемая область под фундаментом; 4 – зона просадки от давления фундамента; 5 – зона просадки от собственного веса грунта;
- 6 – эпюры напряжений от собственного веса грунта σ_{zg}

e_L – коэффициент пористости грунта, соответствующий влажности на границе текучести W_L и определяемый по формуле:

$$e_L = \frac{W_L - \rho_s}{\rho_w}, \quad (3.5)$$

где ρ_s, ρ_w – обозначения те же, что и в формуле (2.3).

Таблица 3.8 – Значения показателя I_{SS}

Число пластичности, %	$1 < I_p \leq 10$	$10 < I_p \leq 14$	$14 < I_p \leq 22$
Показатель I_{SS}	0,1	0,17	0,24

3.3.2 Набухающие глинистые грунты

Набухающими называются грунты, которые при замачивании увеличиваются в объеме – набухают. При последующем понижении влажности у набухающих грунтов происходит обратный процесс – усадка. К набухающим относятся глинистые грунты со значительным содержанием гидрофильных глинистых минералов (монтмориллонит, гидрослюда и другие) и малой влажностью в природном состоянии ($W < W_p$) [1, 5, 16].

Способностью набухать при увеличении влажности обладают некоторые виды шлаков (например, шлаки электроплавильных производств), а также обычные пылевато-глинистые грунты (не набухающие при увеличении влажности), если они замачиваются отходами производств (например, раствором серной кислоты) [6, 9].

Для расчета подъема грунтового основания при набухании и его осадки при высыхании (усадки) необходимо знать характеристики набухания:

1. Относительная деформация набухания (относитель-

ное набухание) грунта ε_{sw} – это относительный подъем грунта в результате его замачивания без нагрузки (в условиях свободного набухания) или при обжатии заданным вертикальным давлением p . Характеристика относительного набухания ε_{sw} определяется по результатам испытаний образцов грунта в компрессионном приборе (рисунок 3.5):

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_{sat} - h_n}{h_n}, \quad (3.6)$$

где h_n – высота образца природной влажности и плотности, обжатого без возможности бокового расширения давлением p , равным суммарному вертикальному напряжению на рассматриваемой глубине;

h_{sat} – высота образца после его набухания за счет замачивания до полного водонасыщения.

Чаще для определения характеристики ε_{sw} используется метод «одной кривой» [5, 16]. Он заключается в том, что образец грунта природной влажности нагружается давлением p , после чего производят замачивание образца, измеряется величина абсолютного набухания и устанавливается расчетное относительное набухание (или относительный подъем, участки ab или cd на рисунок 3.5). Относительное набухание ε_{sw} может определяться при свободном набухании (при $p = 0$, рисунок 3.5), а также при различных уплотняющих давлениях p . Если величина относительного набухания ε_{sw} без нагрузки (при свободном набухании) будет меньше или равна 0,04 ($\varepsilon_{sw} \leq 0,04$), то грунт считается ненабухающим.

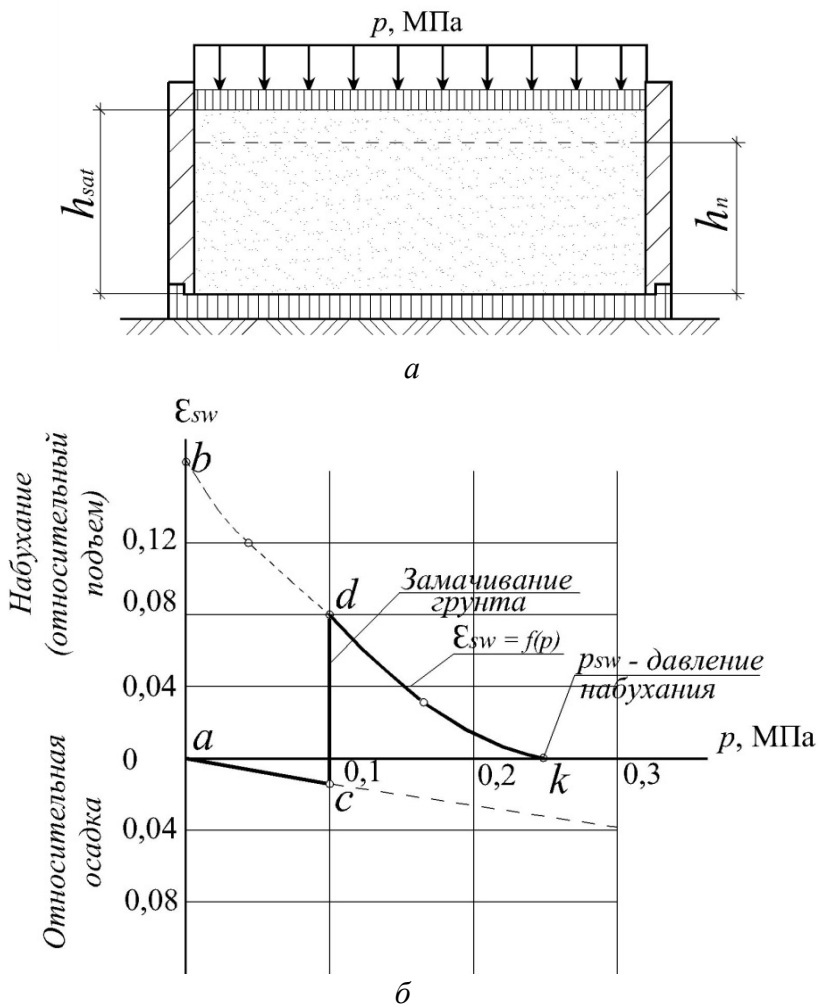


Рисунок 3.5 – Схема испытания грунта в компрессионном приборе для определения характеристики относительного набухания ϵ_{sw} (а) и график зависимости относительного набухания ϵ_{sw} при вертикальном давлении p (б)

Набухающие грунты в зависимости от величины относительного набухания ε_{sw} грунта подразделяются согласно таблице 3.9 [8, 9].

Таблица 3.9 – Классификация набухания грунтов при замачивании без нагрузки

Разновидность глинистых грунтов	Относительное набухание без нагрузки ε_{sw} , д. ед.
Ненабухающие	Менее 0,04
Слабонабухающие	$0,04 < \varepsilon_{sw} \leq 0,08$
Средненабухающие	$0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$
Сильнонабухающие	Более 0,12

2. Давление набухания p_{sw} – это минимальное давление на грунт (без возможности бокового расширения), которое исключает деформации набухания при его замачивании до полного водонасыщения.

Давление набухания p_{sw} чаще устанавливается по результатам компрессионных испытаний и принимается равным значению точке на кривой $\varepsilon_{sw} = f(p)$, где эта кривая пересекается с осью давления p (рисунок 3.5, б).

3. Влажность набухания W_{sw} – это влажность грунта после завершения его набухания в условиях, исключая боковое расширение, при отсутствии внешней нагрузки или при обжатии заданным вертикальным давлением p .

4. Относительная усадка – это относительное изменение размеров, объема образцов грунта в результате его высыхания. Относительная усадка определяется по высоте (относительная линейная усадка ε_{sh}), диаметру (относительная поперечная усадка ε_{sd}) и объему (относительная объемная усадка ε_{sv}) образца грунта, используя формулы [11]:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{h - h_h}{h}, \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{sd} = \frac{d - d_d}{d}, \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_{sv} = \frac{v - v_v}{v}, \quad (3.9)$$

где h , d , v и h_d , d_d , v_v – начальные и конечные значения высоты, диаметра и объема образцов грунта.

Влажность на пределе усадки грунта W_{sh} соответствует влажности W в точке перегиба кривой графика зависимости изменения объема образца грунта от влажности $v = f(w)$ при высыхании грунта (рисунок 3.6).

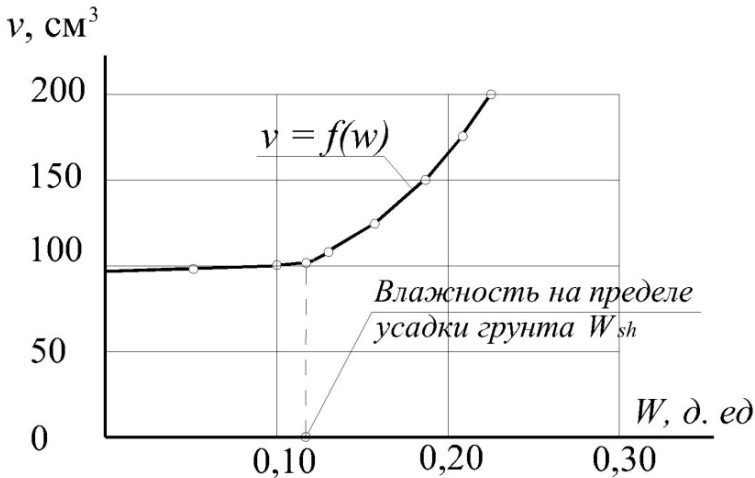


Рисунок 3.6 – График изменений объема образца грунта v от влажности W

Расчетной характеристикой основания является зона набухания глубиной H_{sw} , нижняя граница которой принимается:

- а) при инфильтрации атмосферных и производственных вод – на глубине, где суммарное давление на слой грунта равно давлению набухания грунта p_{sw} ;

- б) при наличии подземных вод – на 3 м выше установившегося уровня подземных вод, но не ниже установленного по п. «а»;
- в) при экранировании поверхности и изменении водно-теплового режима – на глубине, установленной по экспериментальным данным для данного климатического района; при отсутствии таких данных – на глубине 5 м от уровня планировки.

Для предварительной оценки грунтовых условий строительства к набухающим от замачивания относят глинистые грунты, у которых значение показателя I_{ss} , определенного по формуле (3.4), более $I_{ss} \geq 0,3$.

Показатель I_{ss} не может служить окончательным обоснованием при назначении дополнительных строительных мероприятий для зданий (сооружений), возводимых на набухающих грунтах [9].

Глинистые грунты (супеси, суглинки, глины), не обладающие специфическими (неблагоприятными) свойствами обычно являются надежными основаниями, если они находятся в твердом и полутвердом состоянии. Если же глинистые грунты будут испытывать воздействия, которые снижают прочность структурных связей (увлажнение, нагревание, оттаивание, динамическое нагружение и др.), то надежность основания может быть обеспечена только после тщательной оценки их несущей способности. Глинистые грунты, обладающие специфическими свойствами (просадочные, набухающие), требуют при строительстве специальных мероприятий, исключающих появление неравномерных деформаций фундаментов и других строительных конструкций зданий.

3.4 Классификация сейсмичности строительных площадок с учетом категории грунтов

При проектировании зданий (сооружений) в сейсмических районах необходимо учитывать вероятность появления землетрясений (сейсмических явлений), которые происходят в результате тектонических разломов и других процессов в земной коре [18, 19, 22, 23]. Очаги землетрясений – **гипоцентры** находятся обычно на большой глубине от поверхности земли (примерно от 10 до 700 км). Место над очагом землетрясения на поверхности земли называют **эпицентром**. От гипоцентра во всех направлениях распространяются упругие колебания земной коры.

Продолжительность землетрясений чаще всего измеряется несколькими секундами, реже минутами. Силу землетрясений оценивают в баллах. В России принята 12-балльная шкала. Строительство зданий (сооружений) разрешается вести только в районах с интенсивностью сейсмических воздействий не более 9 баллов и, как исключение, на площадках с сейсмичностью более 9 баллов. При прогнозируемой силе землетрясений менее 7 баллов основания и здания можно проектировать без учёта сейсмических воздействий [5, 19, 22].

Сейсмичность района строительства в баллах (интенсивность сейсмических воздействий) принимается на основе комплекта **карт общего сейсмического районирования** территории РФ (ОСР-97). Эти карты состоят из разделов А, В и С (ОСР-97А, ОСР-97В, ОСР-97С). Они приведены в актуализированной редакции СНиП П-7-81* – Строительство в сейсмических районах (СП 14.13330.2011).

Указанная на картах сейсмичность района относится:

– на карте А – к объектам нормальной (массовое строительство) и пониженной ответственности;

– на картах В и С – к объектам повышенной ответственности (особо опасные, технически сложные или уникальные сооружения).

В актуализированной редакции СНиП II-7-81* также приводится список населённых пунктов РФ, расположенных в сейсмических районах, с указанием принятой для них сейсмичности района в баллах (соответствующей картам А, В и С).

Для оценки сейсмичности конкретных площадок строительства, в зависимости от их грунтовых и гидрогеологических условий, проводится *сейсмическое микрорайонирование*, которое является частью инженерно-геологических изысканий и выполняется с соблюдением требований соответствующих нормативных документов.

На площадках строительства, где не проводилось сейсмическое микрорайонирование, допускается определять сейсмичность согласно таблице 3.10 в зависимости от сейсмичности района (фоновой сейсмичности) и категории грунта по сейсмическим свойствам [2, 19, 22].

Таблица 3.10 – Оценка сейсмичности площадки строительства

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
	7	8	9
I	6	7	8
II	7	8	9
III	8	9	Более 9

К первой категории грунтов относятся:

Скальные грунты всех видов (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) невыветрелые и слабовыветрелые: крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого за-

полнителя: выветрелые и сильновыветрелые скальные и не-скальные твердомерзлые (вечномерзлые) грунты при температуре минус 2 °С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии).

Ко второй категории грунтов относятся:

Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, содержащие более 30 % песчано-глинистого заполнителя с преобладанием контактов между обломками; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателями консистенции $I_L \leq 0,5$; при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей; вечномерзлые не-скальные грунты пластичномерзлые и сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2 °С при строительстве и эксплуатации по принципу I.

К третьей категории грунтов относятся:

Пески рыхлые независимо от влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей; вечномерзлые не-скальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания)

При **оценке сейсмичности** конкретных площадок строительства необходимо учитывать следующее:

1. При расхождении оценок категории грунтов по сейсмическим свойствам на основе литологических признаков и по

скоростным характеристикам сейсмических волн категорию грунтов следует относить к более неблагоприятной.

2. Пылевато-глинистые грунты (в том числе просадочные) при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей могут быть отнесены ко II категории по сейсмическим свойствам, если нормативное значение их модуля деформации $E \geq 15,0$ МПа, а при эксплуатации сооружений будут обеспечены условия неподтопления грунтов основания.

3. Отнесение площадки к категории I грунтов по сейсмическим свойствам допускается при мощности слоя, соответствующего категории I, более 30 м от планировочной отметки.

4. В случае неоднородного состава грунты относят к более неблагоприятной категории по сейсмическим свойствам, если в пределах верхней 10-метровой толщи (считая от планировочной отметки) слоя, относящиеся к этой категории, имеют суммарную толщину более 5 м.

5. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) в процессе эксплуатации здания и сооружения категории грунтов следует определять в зависимости от свойств грунта (влажности, консистенции) в замоченном состоянии.

6. При строительстве на вечномёрзлых нескальных грунтах по принципу II, если зона оттаивания распространяется до подстилающего талого грунта, грунты основания следует рассматривать по фактическому состоянию их после оттаивания.

7. Для объектов повышенного уровня ответственности зданий и сооружений, строящихся в районах с сейсмичностью 6 баллов на площадках строительства с грунтами категория II и III по сейсмическим свойствам, расчетную сейсмичность следует принимать равной 7 баллам.

8. Глинистые и песчаные грунты при расположении уровня грунтовых вод на глубине менее 5 м (считая от планировочной отметки) и отсутствии данных об их физических ха-

рактических характеристиках следует относить к категории III по сейсмическим свойствам.

Таким образом, общая оценка сейсмичности строительной площадки на этапе проектирования может уточняться с учетом категории грунтов.

Контрольные вопросы

- 1. В зависимости от каких параметров устанавливается наименование разновидности крупнообломочных песчаных грунтов?*
- 2. Какие бывают разновидности песчаных грунтов в зависимости от коэффициента пористости?*
- 3. Как классифицируются крупнообломочные и песчаные грунты по коэффициенту водонасыщения?*
- 4. Как устанавливается наименование глинистых грунтов по числу пластичности?*
- 5. Как устанавливается разновидность глинистых грунтов по числу пластичности и содержанию песчаных частиц?*
- 6. Назовите разновидности глинистых грунтов, которые выделяются по показателю текучести.*
- 7. Какие грунты относятся к глинистым набухающим?*
- 8. Какие грунты относятся лёссовым просадочным?*
- 9. Перечислите особые виды грунтов, обладающие специфическими неблагоприятными свойствами.*
- 10. Могут ли лёссовые просадочные грунты использоваться в качестве естественного основания сооружения?*
- 11. При каких условиях могут использоваться набухающие грунты в качестве основания зданий и сооружений?*
- 12. Назовите характеристики просадочности и методы их определения.*

13. Назовите характеристики набухания и методы их определения.
14. Как классифицируются лёссовые просадочные грунты в зависимости от характеристики относительной просадочности?
15. Как классифицируются набухающие грунты в зависимости от характеристики относительного набухания?
16. Каким методом можно установить ожидаемую просадку лёссового грунта от его собственного веса?
17. Какие бывают типы грунтовых условий по просадочности?
18. Какие грунтовые условия относятся к первому типу по просадочности?
19. Какие грунтовые условия относятся ко второму типу по просадочности?
20. Что такое сейсмическое микрорайонирование и для чего оно используется?

4 АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

4.1 Оценка грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий на песчаных и глинистых грунтах

4.1.1 Общие положения

Проектирование оснований и фундаментов зданий начинается с изучения материалов инженерно-геологических изысканий и оценки грунтовых условий площадок строительства. *Под оценкой грунтовых условий* понимается обобщение результатов исследований свойств грунтов, выполненных на стадии инженерно-геологических изысканий, и выявление возможности их использования в качестве основания фундаментов зданий или сооружений. Оценка грунтовых условий площадок строительства производится по результатам описания геоморфологии, литологического строения и инженерно-геологических разрезов, а также данным о физико-механических свойствах грунтов и гидрогеологических условиях строительства, которые приводятся в отчетах (заключениях) по инженерно-геологическим изысканиям. От качества и полноты материалов изысканий во многом зависят надежность и экономичность принимаемых в проекте решений по основаниям и фундаментам зданий (сооружений).

При оценке грунтовых условий площадок строительства все грунты в основании фундаментов зданий условно разделяют на прочные и слабые.

К *прочным* относятся грунты, которые могут служить основанием сооружений и обеспечивают их нормальную эксплуатацию: крупнообломочные грунты; плотные и средней плотности пески; твердые и пластичные глинистые грунты с

расчетным сопротивлением грунта основания $R_o > 200$ кПа, модулем деформации $E > 5$ МПа.

К **слабым** относятся грунты, которые дают под нагрузкой значительные деформации (осадки) и не могут служить основанием сооружений без предварительных мероприятий: рыхлые пески; текучепластичные и текучие глинистые грунты, а также водонасыщенные глинистые грунты, у которых расчетное сопротивление грунта основания $R_o < 150$ кПа, модуль деформации $E \leq 5$ МПа [6, 17].

Грунты поверхностной части земной коры (в пределах глубины до 15–20 м) обычно являются *основанием* для зданий (сооружений).

Основание – это напластование грунтов, воспринимающее давление (нагрузку) от здания (сооружения) [2]. Основание может быть *естественным* и *искусственным* (улучшенным).

Естественное основание – обычный природный грунт, используемый как опора фундаментов, без предварительной подготовки [10].

Искусственное основание – преобразованный, либо замененный грунт, используемый как опора фундаментов.

В зависимости от условий напластования грунтов основания обычно подразделяются на *однородные*, *слоистые* и *резко неоднородные* (рисунок 4.1).

Однородным называют основание, сжимаемая толща которого включает только один слой грунта (рисунок 4.1, *а*), **слоистым** – несколько слоев грунта (рисунок 4.1, *б*, *в*). Основание называют резко **неоднородным**, если сжимаемая толща включает несколько слоев грунта, а также линзы и прослойки, сжимаемость которых значительно отличается друг от друга (рисунок 4.1, *г*). Слоистые основания бывают с *согласным* и *несогласным* залеганием. *Согласное залегание* – это такое залегание грунтов в основании, при котором простирающиеся отдельных слоев грунта близко к горизонтальному (рису-

нок 4.1, б); *несогласное залегание* – слои грунта в основании залегают невыдержанно, имеют наклон, выклинивание и пр. (рисунок 4.1, в) [5, 11].

Слой грунта, на который опирается фундамент, называется *несущим*, а слои грунта, расположенные ниже несущего слоя – *подстилающими* [11, 17].

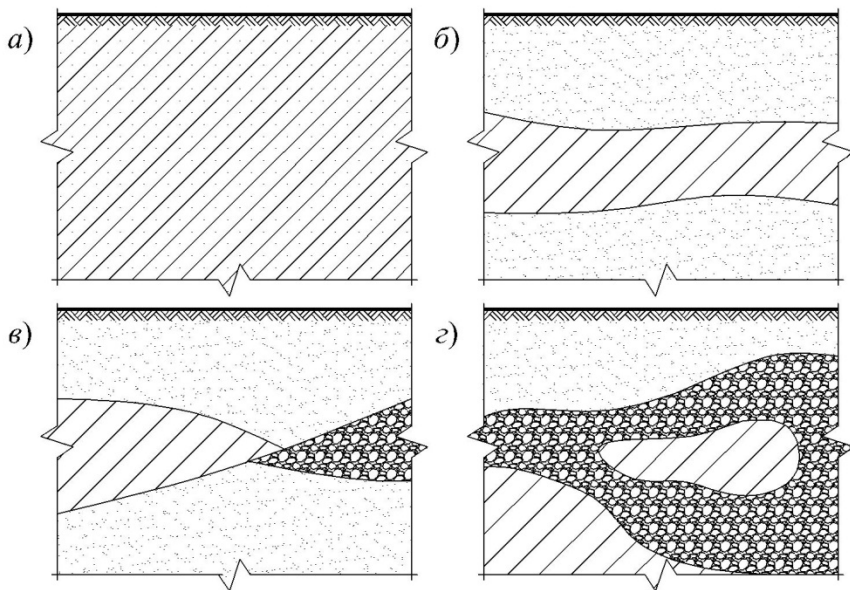


Рисунок 4.1 – Схемы основания с различным напластованием грунтов:
 а – однородное; б – слоистое с согласным напластованием грунтов;
 в – слоистое с несогласным напластованием грунтов;
 г – резко неоднородное

Фундамент – конструкция, обычно подземная или подводная, передающая нагрузки от здания (сооружения) на основание [5, 6]. Размеры подошвы фундаментов зданий (сооружений), проектируемых на дисперсных (нескальных) грунтах, обычно назначают, используя характеристику расчетного сопротивления грунта основания R , кПа. *Расчетное сопро-*

тивление грунта основания R , кПа – это такое безопасное давление на грунт p , при котором сохраняется практически линейная зависимость на графике $S = f(p)$ между осадкой фундамента S и давлением p по его подошве (рис. 4.2). Характеристика R вычисляется по формуле (5.7) СП 22.13330.2011 [4]. Предварительные размеры подошвы фундамента можно определить с использованием *табличных значений* расчетного сопротивления грунта основания R_o (таблица 4.1–4.3) [4].

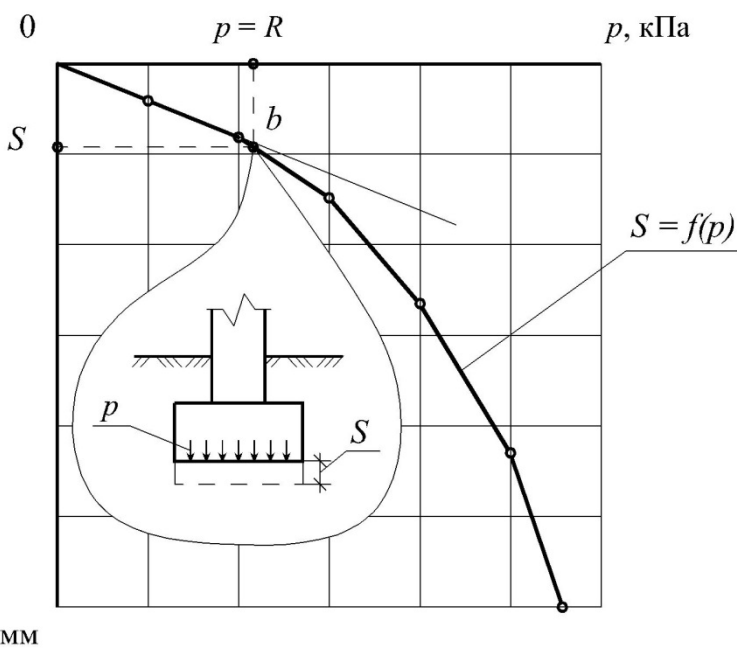


Рисунок 4.2 – Характерная зависимость осадки фундамента S от прикладываемого давления p по его подошве, используемая при обосновании расчетного сопротивления грунтового основания R

Наиболее надежными основаниями для зданий (сооружений) являются: однородные и слоистые основания с согласным залеганием грунтов. У таких оснований обычно модуль деформации грунтов $E > 5$ МПа и табличные значения рас-

четного сопротивления грунта основания $R_o \geq 200$ кПа. Из слоистых оснований предпочтительнее те, у которых сжимаемость с глубиной уменьшается. Основания, у которых сжимаемость с глубиной увеличивается, менее благоприятны для возведения зданий (сооружений), особенно на сплошных плитах и с различной глубиной заложения фундаментов [3, 6].

Возможность использования структурно-неустойчивых грунтов в качестве основания устанавливается после дополни-

Таблица 4.1 – Расчетные сопротивления R_o песков (данные СП 22.13330.2011)

Вид песчаного грунта	Значения R_o в зависимости от плотности сложения песков, кПа	
	плотные	средней плотности
Крупные	600	500
Средней крупности	500	400
Мелкие:		
<i>маловлажные</i>		
<i>влажные и</i>	400	300
<i>насыщенные водой</i>	300	200
Пылеватые:		
<i>маловлажные</i>	300	250
<i>влажные</i>	200	150
<i>насыщенные водой</i>	150	100

тельных исследований специфических свойств (просадочных, набухающих и др.) и назначения специальных мероприятий при возведении зданий и сооружений (конструктивных, водозащитных, противопучинистых и др.). Отдельные вопросы по использованию таких грунтов в качестве оснований зданий рассмотрены в параграфах 4.2 и 4.3.

На основании анализа материалов инженерно-геологических изысканий, имеющих в отчетах, заключениях и других документах, проектировщикам (студентам, аспирантам) необходимо оценить грунтовые условия строительства

Таблица 4.2 – Расчетные сопротивления R_o глинистых (непросадочных) грунтов (данные СП 22.13330.2011)

Вид глинистого грунта	Коэффициент пористости e	Значения R_o при показателе текучести грунта, кПа	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глины	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

здания (сооружения) и **дать ответы на следующие вопросы:**

- могут ли грунты рассматриваемой строительной площадки служить основанием для фундаментов зданий (сооружений) и какой грунт (инженерно-геологический элемент (ИГЭ)) может быть использован в качестве несущего слоя;
- какие виды фундаментов наиболее предпочтительны в рассматриваемых грунтовых условия (учитывая конструктивные особенности проектируемого здания);
- будут ли изменяться свойства грунтов в период эксплуатации здания, сооружения под влиянием развития естественных процессов и техногенных воздействий.

Таблица 4.3 – Расчетные сопротивления R_o глинистых просадочных грунтов (данные СП 22.13330.2011)

Грунты	Значения R_o грунтов, кПа			
	природного сложения с плотностью в сухом состоянии ρ_d , т/м ³		уплотненных с плотностью в сухом состоянии ρ_d , т/м ³	
	1,35	1,55	1,60	1,70
Супеси	300/150	350/180	200	250
Суглинки	350/180	400/200	250	300
<p><i>Примечание</i> – В числителе приведены значения R_o, относящиеся к незамоченным просадочным грунтам с коэффициентом водонасыщения $S_r \leq 0,5$; в знаменателе значения R_o, относящиеся к таким же грунтам с $S_r \geq 0,8$; а также к замоченным просадочным грунтам.</p>				

Таким образом, оценка грунтовых условий площадки строительства дает возможность проектировщику (студенту, аспиранту) выбрать наиболее рациональный тип фундамента с точки зрения их надежности и экономичности.

4.1.2 Примеры оценки грунтовых условий площадок строительства, сложенных глинистыми и песчаными грунтами

Пример 4.1. Исходные данные. Требуется оценить грунтовые условия строительной площадки, на которой будет возводиться многоэтажный жилой дом с подвалом. Схема расположения выработок грунта (план) и инженерно-геологических колонок приведена на рис. 4.3. Данные о физико-

механических характеристиках и показателях грунтов приведены в таблицах 4.4–4.6.

Решение. В соответствии с классификацией глинистых грунтов, приведенной в параграфе 3.2, определяем их наименование и разновидность.

Инженерно-геологический элемент № 1 (ИГЭ-1)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.6. Так как $W_L \neq 0$ и $W_p \neq 0$, грунт – глинистый.

2. Разновидность глинистого грунта определяем по числу пластичности I_p и по показателю текучести I_L (см. раздел 2).

По числу пластичности I_p согласно формуле (2.5), устанавливается наименование глинистого грунта:

$$I_p = W_L - W_p = 0,22 - 0,14 = 0,08 \text{ (8 \%)},$$

следовательно, грунт – **суглинок** (таблица 3.4). С учетом данных гранулометрического состава (таблица 4.6) устанавливаем по таблице 3.5, что **суглинок легкий пылеватый** (при $I_p = 8 \%$ и содержании песчаных частиц размером 0,05–2,0 мм по массе 37 %, что менее 40 %).

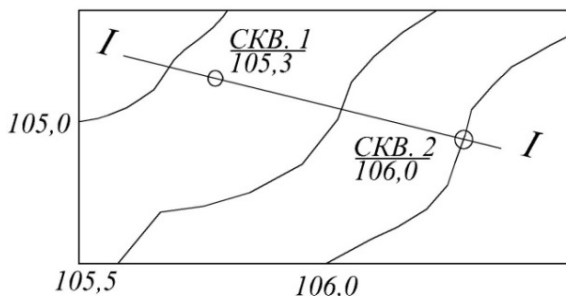

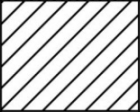





Рисунок 4.3 – Схема расположения выработок грунта (план)

Таблица 4.4 – Инженерно-геологическая колонка по скважине 1

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)	Абсолютная отметка подошвы слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Условные обозначения грунта	Литологическое описание грунтов
—	104,2	1,1	1,1		Насыпной грунт
ИГЭ-1	100,8	4,5	3,4		Суглинок бурый
ИГЭ-2	99,6	5,7	1,2		▼ УПВ
ИГЭ-3	95,2	10,1	4,4		Супесь светло-серая
ИГЭ-4	90,3	15,0	4,9		Глина буро-желтая

По показателю текучести I_L , согласно формуле (2.6), оценивается состояние глинистого грунта:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = - \frac{0,15 - 0,14}{0,08} = 0,13,$$

следовательно, суглинок – **полутвёрдый** (табл. 3.6).

3. Поскольку грунт глинистый, необходимо предварительно установить, обладает ли он просадочными и/или набухающими свойствами. Для этого определяем следующие характеристики:

– плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{1,93}{1 + 0,15} = 1,68 \text{ г/см}^3;$$

Таблица 4.5 – Инженерно-геологическая колонка по скважине 2


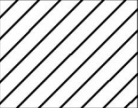


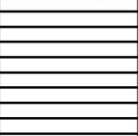
<i>Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)</i>	<i>Абсолютная отметка подошвы слоя, м</i>	<i>Глубина подошвы слоя, м</i>	<i>Мощность слоя, м</i>	<i>Условные обозначения грунта</i>	<i>Литологическое описание грунтов</i>
—	105,1	0,9	0,9		Насынный грунт
ИГЭ-1	101,7	4,3	3,4		Суглинок бурый
ИГЭ-2	99,6	6,4	2,1		▼ УПВ
ИГЭ-3	95,2	10,8	4,4		Супесь светло-серая
ИГЭ-4	91,0	15,0	4,2		Глина буро-желтая

Таблица 4.6 – Физико-механические характеристики и показатели грунтов, установленные при инженерно-геологических изысканиях (данные из отчета)

Показатели		Инженерно-геологические элементы (ИГЭ)			
		ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4
Коэффициент сжимаемости, m_0 , МПа ⁻¹		0,19	0,16	0,17	0,16
Удельное сцепление грунта c , кПа		26	17	15	40
Угол внутреннего трения φ , град.		21	27	26	20
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³		2,66	2,72	2,72	2,74
Плотность грунта ρ , г/см ³		1,93	2,07	2,08	2,01
Влажность на границе раскатывания W_p , %		14	12	15	16
Влажность на границе текучести W_L , %		22	18	22	34
Влажность W , %		15	16	21	19
Содержание частиц размером (мм), %	0,001–0,005	26	6	5	19
	0,005–0,01	19	15	15	22
	0,01–0,05	18	18	16	25
	0,05–0,1	24	30	35	27
	0,1–0,25	11	21	20	6
	0,25–0,5	1	6	4	0,5
	0,5–1	1	2	5	0,5
	1–2	0	0	0	0
	2–5	0	0	0	0
	менее 5,0	0	0	0	0

– коэффициент пористости e по формуле (2.2):

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,66}{1,68} - 1 = 0,58;$$

– коэффициент водонасыщения S_r по формуле (2.3):

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e} = \frac{2,66 \cdot 0,15}{1 \cdot 0,58} = 0,69.$$

Так как коэффициент водонасыщения $S_r < 0,8$, то у таких глинистых грунтов может проявляться свойство просадочности (см. параграф 3.3.1). Для этого определяем:

– коэффициент пористости грунта при влажности на границе текучести определяем по формуле (3.5):

$$e_L = \frac{W_L \cdot \rho_s}{\rho_w} = \frac{0,22 \cdot 2,66}{1} = 0,59;$$

– показатель I_{ss} по формуле (3.4):

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e} = \frac{0,59 - 0,58}{1 + 0,58} = 0,01.$$

По таблице 3.8 для суглинка с числом пластичности $I_p = 8 \%$ (0,08) устанавливаем требуемое (табличное) значение $I_{ss} = 0,1$. Так как расчетное значение $I_{ss} = 0,01$ меньше требуемого $I_{ss} = 0,1$, то грунт считается *непросадочным*.

Согласно параграфу 3.3.2 значение $I_{ss} = 0,01$, установленное по формуле (3.4), меньше требуемого $I_{ss} = 0,01 < I_{ss} = 0,3$. Следовательно, грунт считается ненабухающим.

4. Грунт находится выше уровня подземных вод, поэтому плотность грунта с учётом взвешивающего действия воды ρ_{sb} не определяем [5].

5. Вычисляем табличное значение расчётного сопротивления грунта основания R_o для непросадочных глинистых грунтов. По таблице 4.2 находим значение R_o , которое составляет $R_o = 270$ кПа.

6. Определяем модуль деформации грунта E_k по формуле (2.12) с учетом данных таблицы 4.6:

$$E_k = \beta \frac{1 + e}{m_o} = 0,62 \cdot \frac{1 + 0,58}{0,19} = 5,1 \text{ МПа.}$$

7. Определяем по формуле (2.12а) модуль деформации грунта E с учётом корректирующего коэффициента $m_k = 4,6$, значение которого принимаем по таблице 2.1, как для суглинков. Подставляя значения E_k и m_k в формуле (2.12а), получим:

$$E = m_k E_k = 4,6 \cdot 5,1 = 23,0 \text{ МПа.}$$

Вывод по ИГЭ-1: рассматриваемый грунт – суглинок легкий пылеватый, полутвёрдый, непросадочный, ненабухающий с табличным значением расчётного сопротивления грунта основания $R_o = 270$ кПа и модулем деформации грунта $E = 23,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием здания.

Инженерно-геологический элемент № 2 (ИГЭ-2)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.6. Так как $W_L \neq 0$ и $W_p \neq 0$, грунт – глинистый.

2. Разновидность глинистого грунта определяем по числу пластичности I_p и по показателю текучести I_L (см. раздел 2).

По числу пластичности I_p , согласно формуле (2.5), устанавливается наименование глинистого грунта:

$$I_p = W_L - W_p = 0,18 - 0,12 = 0,06 \text{ (6 \%)},$$

следовательно, грунт – **супесь** (таблица 3.4). Согласно данных гранулометрического состава (таблица 4.6) устанавливаем по таблице 3.5, что **супесь песчаная** (при $I_p = 6\%$ и содержании песчаных частиц размером 0,05–2,0 мм по массе 59 %, что более 50 %).

По показателю текучести I_L , согласно формуле (2.6), оценивается состояние глинистого грунта:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,16 - 0,12}{0,06} = 0,67,$$

следовательно, супесь – **пластичная** (таблица 3.6).

3. Поскольку грунт глинистый, необходимо предварительно установить, обладает ли он просадочными и/или набухающими свойствами. Для этого определяем следующие характеристики:

– плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1);

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{2,07}{1 + 0,16} = 1,78 \text{ г/см}^3;$$

– коэффициент пористости e по формуле (2.2):

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,72}{1,78} - 1 = 0,53;$$

– коэффициент водонасыщения S_r по формуле (2.3):

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_d \cdot e} = \frac{2,72 \cdot 0,16}{1 \cdot 0,53} = 0,82.$$

Так как коэффициент водонасыщения $S_r > 0,8$, то по предварительной оценке данный грунт является *непросадочным*.

– коэффициент пористости грунта при влажности на границе текучести определяем по формуле (3.5):

$$e_L = \frac{W_L \cdot \rho_s}{\rho_w} = \frac{0,18 \cdot 2,72}{1} = 0,49;$$

– показатель I_{ss} по формуле (3.4):

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e} = \frac{0,49 - 0,53}{1 + 0,53} = -0,03.$$

Так как показатель $I_{ss} = -0,03 < 0,3$, грунт по предварительной оценке является *ненабухающим*.

4. Грунт находится выше уровня подземных вод, поэтому плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды ρ_{sb} не определяем [5].

5. Вычисляем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания R_o для непросадочных глинистых грунтов. По таблице 4.2 находим значение R_o , которое составляет $R_o = 300$ кПа.

6. Определяем модуль деформации грунта E_k по формуле (2.12):

$$E_k = \beta \frac{1 + e}{m_o} = 0,74 \cdot \frac{1 + 0,53}{0,16} = 7,0 \text{ МПа.}$$

7. Определяем по формуле (2.12а) модуль деформации грунта E с учётом корректирующего коэффициента $m_k = 4,0$ значение, которого принимаем по таблице 2.1, как для супесей. Подставляя значения E_k и m_k в формуле (2.12а), получим:

$$E = m_k E_k = 4,0 \cdot 7,0 = 28 \text{ МПа.}$$

Вывод по ИГЭ-2: рассматриваемый грунт – супесь песчаная, пластичная, непросадочная, ненабухающая с табличным значением расчетного сопротивления грунта основания $R_o = 300$ кПа и модулем деформации грунта $E = 28,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием здания.

Инженерно-геологический элемент № 3 (ИГЭ-3)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.6. Так как $W_L \neq 0$ и $W_p \neq 0$, грунт – глинистый.

2. Разновидность глинистого грунта определяем по числу пластичности I_p и по показателю текучести I_L (см. раздел 2).

По числу пластичности I_p , согласно формуле (2.5) устанавливаем наименование глинистого грунта:

$$I_p = W_L - W_p = 0,21 - 0,15 = 0,06 (6 \%),$$

следовательно, грунт – **супесь** (таблица 3.4). С учетом данных гранулометрического состава (таблица 4.6) устанавливаем по таблице 3.5, что **супесь песчаная** (при $I_p = 6 \%$ и содержании песчаных частиц размером 0,05–2,0 мм по массе 64 %, что более 50 %).

По показателю текучести I_L , согласно формуле (2.6) оценивается состояние супеси:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,21 - 0,15}{0,06} = 1,0,$$

следовательно, супесь – **текучая** (таблица 3.6).

3. Поскольку грунт глинистый, необходимо предварительно установить, обладает ли он набухающими и/или просадочными свойствами. Для этого определяем следующие характеристики:

- плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{2,08}{1 + 0,21} = 1,72 \text{ г/см}^3;$$

- коэффициент пористости e по формуле (2.2):

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,72}{1,72} - 1 = 0,58;$$

- коэффициент водонасыщения S_r по формуле (2.3)

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_d \cdot e} = \frac{2,72 \cdot 0,21}{1 \cdot 0,58} = 0,98.$$

Так как коэффициент водонасыщения $S_r > 0,8$, то по предварительной оценке данный грунт является **непросадочным**.

- коэффициент пористости грунта при влажности на границе текучести определяем по формуле (3.5):

$$e_L = \frac{W_L \cdot \rho_s}{\rho_w} = \frac{0,22 \cdot 2,72}{1} = 0,59;$$

- показатель I_{ss} по формуле (3.4):

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e} = \frac{0,59 - 0,58}{1 + 0,58} = 0,01.$$

Так как показатель $I_{ss} = 0,01 < 0,3$, грунт по предварительной оценке является **ненабухающим**.

4. Грунт находится ниже уровня подземных вод, поэтому определяем плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды ρ_{sb} по формуле (2.4):

$$\rho_{sb} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e} = \frac{2,72 - 1}{1 + 0,58} = 1,09 \text{ г/см}^3.$$

5. Вычисляем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания R_o для непросадочных глинистых грунтов. По таблице 4.2 находим значение R_o , которое составляет $R_o = 260$ кПа.

6. Определяем модуль деформации грунта E_k по формуле (2.12):

$$E_k = \beta \cdot \frac{1 + e}{m_o} = 0,74 \cdot \frac{1 + 0,58}{0,17} = 6,88 \approx 6,9 \text{ МПа.}$$

7. Определяем по формуле (2.12a) модуль деформации грунта E с учетом корректирующего коэффициента $m_k = 3,85$ значение, которого принимаем по таблице 2.1, как для супесей. Подставляя значения E_k и m_k в формулу (2.12a), получим:

$$E = m_k E_k = 3,85 \cdot 6,9 = 26,0 \text{ МПа.}$$

Вывод по ИГЭ-3: рассматриваемый грунт – супесь песчаная, текучая, непросадочная, ненабухающая с табличным значением расчетного сопротивления грунта основания $R_o = 260$ кПа и модулем деформации грунта $E = 26,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием здания.

Инженерно-геологический элемент № 4 (ИГЭ-4)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.6. Так как $W_L \neq 0$ и $W_p \neq 0$, грунт – глинистый.

2. Разновидность глинистого грунта определяем по числу пластичности I_p и по показателю текучести I_L (см. раздел 2).

По числу пластичности I_p согласно формуле (2.5) устанавливаем наименование глинистого грунта:

$$I_p = W_L - W_p = 0,34 - 0,16 = 0,18 (18 \%),$$

следовательно, грунт – **глина** (таблице 3.4). По данным гранулометрического состава (таблице 4.6) устанавливаем по таблице 3.5, что **глина легкая, пылеватая** (при $I_p = 18 \%$ и содержании песчаных частиц размером 0,05–2,0 мм по массе 34 %, что менее 40 %).

По показателю текучести I_L , согласно формуле (2.6) оценивается состояние глины:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{0,19 - 0,16}{0,18} = 0,167,$$

следовательно, глина – **полутвердая** (таблица 3.6)

3. Поскольку грунт глинистый, необходимо установить, обладает ли он набухающими и/или просадочными свойствами. Для этого вначале определяем следующие характеристики:

– плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{2,01}{1 + 0,19} = 1,69 \text{ г/см}^3;$$

– коэффициент пористости e по формуле (2.2):

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,74}{1,69} - 1 = 0,62;$$

– коэффициент водонасыщения S_r , по формуле (2.3):

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_d \cdot e} = \frac{2,74 \cdot 0,19}{1 \cdot 0,62} = 0,84.$$

Так как коэффициент водонасыщения $S_r > 0,8$, то по предварительной оценке данный грунт является **непросадочным**.

– коэффициент пористости грунта при влажности на границе текучести определяем по формуле (3.5):

$$e_L = \frac{W_L \cdot \rho_s}{\rho_w} = \frac{0,34 \cdot 2,74}{1,0} = 0,93,$$

– показатель I_{ss} по формуле (3.4):

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e} = \frac{0,94 - 0,62}{1 + 0,62} = 0,19.$$

Так как коэффициент просадочности $I_{ss} = 0,19 < 0,3$, грунт по предварительной оценке является **ненабухающим**.

4. Грунт находится ниже уровня подземных вод и является водоупором, поэтому плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды ρ_{sb} не определяем [5].

5. Вычисляем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания R_o для непросадочных глинистых грунтов. По таблице 4.2 находим $R_o = 430$ кПа.

6. Определяем модуль деформации грунта E по формуле (2.12):

$$E = \beta \cdot \frac{1 + e}{m_o} = 0,4 \cdot \frac{1 + 0,62}{0,15} = 4,3 \text{ МПа.}$$

6. Определяем по формуле (2.12а) модуль деформации грунта E с учётом корректирующего коэффициента $m_k = 6,0$ значение, которого принимаем по таблице 2.1, как для глин. Подставляя значения E_k и m_k в формуле (2.12а), получим:

$$E = m_k E_k = 6,0 \cdot 4,3 = 25,92 \approx 26 \text{ МПа.}$$

Вывод по ИГЭ-4: рассматриваемый грунт – глина легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, ненабухающая с табличным значением расчетного сопротивления грунта основания $R_o = 430$ кПа и модулем деформации грунта $E = 26,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием здания.

Полученные данные о характеристиках грунтов для ИГЭ-1...ИГЭ-4 сводим в таблице 4.7. В отличие от таблицы 4.6, где приведены исходные данные по инженерно-геологическим изысканиям (данные из отчета), в таблицу 4.7 входят характеристики грунтов, установленные после обобщения результатов исследований. Используя исходные данные (инженерно-геологические колонки скважин), вычерчиванием инженерно-геологический разрез площадки строительства (рисунок 4.4) с нанесением на него эпюр табличных значений расчетного сопротивления грунта основания R_o , кПа и модуля деформации грунта E , МПа для всех инженерно-геологических элементов (ИГЭ-1...ИГЭ-4).

Для построения инженерно-геологического разреза (на формате А4) выбирается масштаб. Рекомендуются принимать вертикальный масштаб M_v 1 : 500, горизонтальный масштаб M_r 1 : 250.

Общая оценка грунтовых условий площадки строительства. По данным расположения выработок (рис. 4.3) и инженерно-геологического разреза (рис. 4.4) рассматриваемая площадка имеет спокойный рельеф с абсолютными от-

метками 105,6–106 м. Грунты имеют слоистое напластование с согласным залеганием пластов. По предварительной оценке все они могут служить естественным основанием для фундаментов зданий (сооружений).

Для рассматриваемого жилого здания при устройстве фундаментов мелкого заложения несущим слоем может быть **суглинок, легкий, пылеватый, полутвердый**, непросадочный, ненабухающий, средней степени водонасыщения (**ИГЭ-1**), который залегает до глубины 4,5 м от поверхности земли.

При использовании свайных фундаментов в качестве несущего слоя рекомендуется использовать **глину легкую, пылеватую, полутвердую (ИГЭ-4)**. В этом случае свая будет работать по схеме «свая висячая».

При инженерно-геологических изысканиях были установлены подземные воды (УПВ). Они залегают на отметках 99,6–99,9 м (глубина залегания 5,7–6,4 м от поверхности земли) и не будут существенным образом влиять на устройство и работу оснований и фундаментов здания.

Поскольку рассматриваемая площадка не подвергается избыточному замачиванию, подтоплению, а также техногенным воздействиям, то изменение свойств грунтов основания в пределах глубины заложения фундаментов под влиянием этих факторов не рассматривается.

Таблица 4.7 – Физико-механические характеристики и показатели грунтов, установленные после анализа и обобщения исходных данных

Физико-механические характеристики и показатели грунтов	Наименование грунта				
	Насыпной грунт	ИГЭ-1. Суглинок легкий, пылеватый, полутвердый	ИГЭ-2. Супесь песчаная, пластичная, непросадочная, ненабухающая	ИГЭ-3. Супесь песчаная, текучая	ИГЭ-4. Глина легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, ненабухающая
Плотность грунта с учетом взвешивающего действия воды, ρ_{sb} , г/см ³	–	–	–	1,09	–
Значение расчетного сопротивления грунта, R_0 , кПа	–	270	300	260	430
Модуль деформации E , МПа	–	23,0	28,0	26,0	26,0
Удельное сцепление грунта c , кПа	–	26	17	15	40
Угол внутреннего трения φ , град.	–	21	27	26	20
Показатель текучести, I_L , д.е.	–	0,13	0,67	1,0	0,17
Число пластичности, I_p , %	–	8	6	6	18
Коэффициент водонасыщения S_r	–	0,69	0,82	0,98	0,84
Естественная влажность W , %	–	15	16	21	19
Коэффициент пористости, e , д.е.	–	0,58	0,53	0,58	0,62
Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	–	1,68	1,78	1,72	1,69
Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	–	2,66	2,72	2,72	2,74
Плотность грунта, ρ , г/см ³	–	1,93	2,07	2,08	2,01
Толщина слоя, м	0,9–1,1	3,4	1,2–2,1	4,4–4,5	4,2–4,8

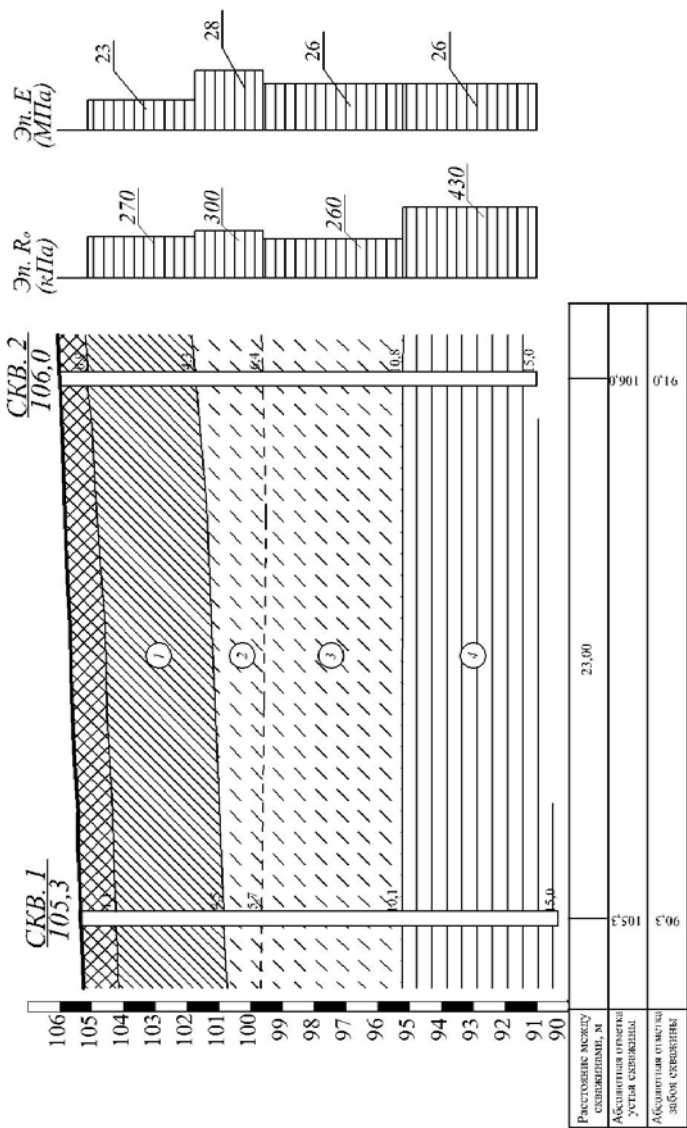


Рисунок 4.4 – Инженерно-геологический разрез площадки строительства:

1 – суглинок легкий пылеватый, полутвердый; 2 – супесь песчаная, пластичная, непросадочная, ненабухающая; 3 – супесь песчаная, текучая, непросадочная, ненабухающая;

4 – глина легкая пылеватая, полутвердая, непросадочная, ненабухающая

Пример 4.2. Исходные данные. Требуется оценить грунтовые условия строительной площадки, на которой будет возводиться гражданское административное здание с подвалом. Схемы расположения выработок грунта (план) и инженерно-геологических колонок, а также данные о физико-механических характеристиках и показателях грунтов приведены на рисунке 4.5 и в таблицах 4.8–4.10.

Решение. В соответствии с классификацией крупнообломочных и песчаных грунтов, приведённой в параграфе 3.1, определяем наименование и их разновидность.

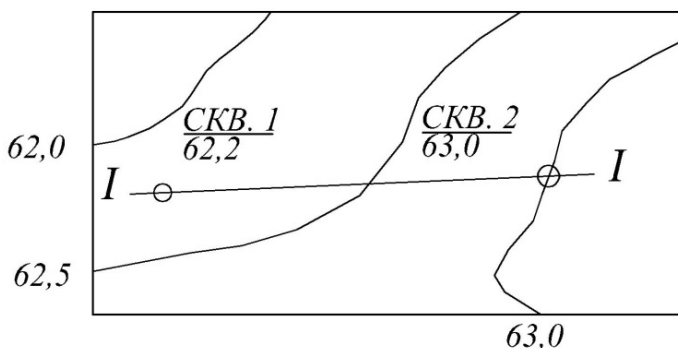


Рисунок 4.5 – Схема расположения выработок грунта (план)

Инженерно-геологический элемент № 1 (ИГЭ-1)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.10. Так как данные по влажности на границе раскатывания (W_p) и влажности на границе текучести (W_L) отсутствуют, а также содержание частиц крупнее 2 мм (2 %) менее 25 %, наименование грунта – **песок** (см. таблица 3.1).

2. Устанавливаем разновидности грунта по гранулометрическому составу, коэффициенту пористости e и коэффициенту водонасыщения S_r (см. таблица 3.1–3.3).

Таблица 4.8 – Инженерно-геологическая колонка по скважине 1

<i>Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)</i>	<i>Абсолютная отметка подошвы слоя, м</i>	<i>Глубина подошвы слоя, м</i>	<i>Мощность слоя, м</i>	<i>Условные обозначения грунта</i>	<i>Литологическое описание грунтов</i>
—	61,7	0,5	0,5		<i>Насыщенный грунт</i>
<i>ИГЭ-1</i>	56,4	5,8	5,3		<i>Песок серый</i>
<i>ИГЭ-2</i>	51,8	10,4	4,6		<i>Песок бурый</i>

Таблица 4.9 – Инженерно-геологическая колонка по скважине 2

<i>Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)</i>	<i>Абсолютная отметка подошвы слоя, м</i>	<i>Глубина подошвы слоя, м</i>	<i>Мощность слоя, м</i>	<i>Условные обозначения грунта</i>	<i>Литологическое описание грунтов</i>
—	62,3	0,7	0,7		<i>Насыщенный грунт</i>
<i>ИГЭ-1</i>	58,4	3,9	3,2		<i>Песок серый</i>
<i>ИГЭ-2</i>	52,0	10,3	6,4		<i>Песок бурый</i>

Таблица 4.10 – Физико-механические характеристики и показатели грунтов, установленные при инженерно-геологических изысканиях (данные из отчёта)

Показатели		Инженерно-геологические элементы (ИГЭ)	
		ИГЭ-1	ИГЭ-2
Коэффициент сжимаемости, m_0 , МПа ⁻¹		0,12	0,17
Удельное сцепление грунта c , кПа		1	2
Угол внутреннего трения φ , град.		37	38
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³		2,69	2,71
Плотность грунта ρ , г/см ³		1,94	2,01
Влажность W , %		12	16
Содержание частиц размером (мм), %	0,001–0,005	0	1
	0,005–0,01	1	2
	0,01–0,05	1	1
	0,05–0,1	2	25
	0,1–0,25	3	33
	0,25–0,5	39	29
	0,5–1	29	7
	1–2	23	1
	2–5	2	1
	менее 5,0	0	0

По гранулометрическому составу согласно таблице 3.1 определяется крупность песка по содержанию частиц:

$d > 2$ мм	$0 + 2 = 2$ %	< 25 %
$d > 0,5$ мм	$0 + 2 + 23 + 29 = 54$ %	> 50 %

Поскольку содержание частиц $d > 0,5$ мм более 50 %, следовательно, грунт – **песок крупный**.

По коэффициенту пористости e выделяют разновидности песка. Для этого вначале определяем плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{1,94}{1 + 0,12} = 1,73 \text{ г/см}^3.$$

Согласно формуле (2.2) коэффициент пористости песка e равен:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,69}{1,73} - 1 = 0,56.$$

По таблице 3.2 устанавливаем, что пылеватый песок – **средней плотности**.

По коэффициенту водонасыщения S_r для песка оценивается степень заполнения его пор водой. Согласно формуле (2.3):

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e} = \frac{2,69 \cdot 0,12}{0,56} = 0,58.$$

Следовательно, песок **средней степени водонасыщения (влажный)** (таблица 3.3).

3. По данным изысканий подземные воды в основании до глубины 10 м отсутствуют. Поэтому плотность грунта с уче-

том взвешивающего действия воды ρ_{sb} не определяем (см. параграф 2.2).

4. Вычисляем табличное значение расчетного сопротивления грунта основания R_o для песчаных грунтов. По таблице 4.1 находим R_o , значение которого равно $R_o = 500$ кПа.

5. Определяем модуль деформации грунта E_k по формуле (2.12):

$$E_k = \beta \cdot \frac{1 + e}{m_o} = 0,74 \cdot \frac{1 + 0,56}{0,12} = 9,6 \text{ МПа.}$$

6. Определяем по формуле (2.12a) модуль деформации грунта E с учетом корректирующего коэффициента $m_k = 3,5$, значение которого принимаем по таблице 2.1 как для супесей. Тогда:

$$E = m_k E_k = 3,2 \cdot 9,6 = 30,7 \approx 31,0 \text{ МПа.}$$

Вывод по ИГЭ-1: рассматриваемый грунт – песок крупный, средней плотности сложения, средней степени водонасыщения (влажный) с табличным значением расчётного сопротивления грунта основания $R_o = 500$ кПа и модулем деформации грунта $E = 31,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием для зданий.

Инженерно-геологический элемент № 2 (ИГЭ-2)

1. Устанавливаем наименование грунта по исходным данным таблицы 4.10. Так как данные по влажности на границе раскатывания (W_p) и влажности на границе текучести (W_L) отсутствуют, а также содержание частиц крупнее 2 мм (1 %) менее 25 %, наименование грунта – **песок** (см. таблица 3.1).

2. Устанавливаем разновидности грунта по гранулометрическому составу, коэффициенту пористости e и коэффициенту водонасыщения S_r (см. таблица 3.1–3.3).

По *гранулометрическому составу* согласно таблице 3.1 определяется крупность песка по содержанию частиц:

$d > 2$ мм	$0 + 1 = 1$ %	< 25 %
$d > 0,5$ мм	$0 + 1 + 1 + 7 = 9$ %	< 50 %
$d > 0,25$ мм	$0 + 1 + 1 + 7 + 29 = 38$ %	< 50 %
$d > 0,1$ мм	$0 + 1 + 1 + 7 + 29 + 33 = 71$ %	< 75 %
$d > 0,05$ мм	$0 + 1 + 1 + 7 + 29 + 33 + 25 = 96$ %	> 75 %

Поскольку содержание частиц $d > 0,05$ мм составляет 96 %, что более 75 %, следовательно, грунт – **песок пылеватый**.

По коэффициенту пористости e песок классифицируется по плотности сложения. Вначале определяем плотность сухого грунта ρ_d по формуле (2.1):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} = \frac{2,01}{1 + 0,16} = 1,73 \text{ г/см}^3.$$

Согласно формуле (2.2) коэффициент пористости песка e равен:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,71}{1,73} - 1 = 0,57.$$

По таблице 3.2 устанавливаем, что пылеватый песок – **плотный**.

По коэффициенту водонасыщения S_r для песка оценивается степень заполнения его пор водой. Согласно формуле (2.3):

$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e} = \frac{2,71 \cdot 0,16}{1 \cdot 0,57} = 0,76.$$

Следовательно, песок **средней степени водонасыщения (влажный)** (таблица 3.3).

3. Уровень подземных вод отсутствует. Поэтому плотность грунта с учётом взвешивающего действия воды ρ_{sb} не определяем [1].

4. Вычисляем табличное значение расчётного сопротивления грунта основания R_o для песчаных грунтов. По таблице 4.1 находим R_o , значение, которого равно $R_o = 200$ кПа.

5. Определяем модуль деформации грунта E_k по формуле (2.12):

$$E_k = \beta \cdot \frac{1 + e}{m_o} = 0,74 \cdot \frac{1 + 0,57}{0,17} = 6,8 \text{ МПа}$$

6. Определяем по формуле (2.12a) модуль деформации грунта E с учётом корректирующего коэффициента $m_k = 3,5$, значение которого принимаем по таблице 2.1, как для супесей. Тогда:

$$E = m_k E_k = 3,5 \cdot 6,8 = 23,0 \text{ МПа}$$

Вывод по ИГЭ-2: рассматриваемый грунт – песок пылеватый, плотный, средней степени водонасыщения (влажный) с табличным значением расчетного сопротивления грунта основания $R_o = 200$ кПа и модулем деформации грунта $E = 23,0$ МПа. По предварительной оценке данный грунт может служить естественным основанием для зданий.

Полученные данные о характеристиках грунтов для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 сводим в таблице 4.11. В отличие от таблицы 4.10, где приведены исходные данные по инженерно-геологическим изысканиям (данные из отчета), в таблицу 4.11 входят характеристики грунтов, установленные после обобщения результатов исследований. Используя исходные

данные (инженерно-геологические колонки), вычерчиваем схему инженерно-геологический разреза площадки строительства (рисунок 4.6) с нанесением на него эпюр табличных значений расчётного сопротивления грунта основания R_0 , кПа и модуля деформации грунта E , МПа для всех инженерно-геологических элементов (*ИГЭ-1, 2*).

Для построения инженерно-геологического разреза (на формате А4) выбирается масштаб. Рекомендуется принимать вертикальный масштаб M_v 1:500, горизонтальный масштаб M_r 1:250.

Общая оценка грунтовых условий площадки строительства. По данным расположения выработок (рисунок 4.5) и инженерно-геологического разреза (рисунок 4.6) рассматриваемая площадка имеет спокойный рельеф с абсолютными отметками 62,0–63,0 м. Грунты основания имеют слоистое напластование с согласным залеганием пластов. По предварительной оценке оба слоя могут служить естественным основанием для фундаментов рассматриваемого административного здания.

При устройстве фундаментов мелкого заложения (отдельных, ленточных, плитных) несущим слоем может быть песок крупный, средней плотности сложения, средней степени водонасыщения (влажный) (*ИГЭ-1*), который залегает до глубины 5,8 м от поверхности земли.

Использование свайных фундаментов зданий в рассматриваемых грунтовых условиях менее предпочтительно по сравнению с фундаментами мелкого заложения. Это объясняется тем, что подстилающий слой грунта (*ИГЭ-2*) менее прочный и более сжимаемый по сравнению с несущим слоем основания (*ИГЭ-1*).

Поскольку рассматриваемая площадка не подвергается избыточному замачиванию, подтоплению, а также техногенным воздействиям, то изменение свойств грунтов основания в пределах глубины заложения фундаментов под влиянием этих факторов не рассматривается.

Таблица 4.11 – Физико-механические характеристики и показатели грунтов, установленные после анализа и обобщения исходных данных

Физико-механические характеристики и показатели грунтов	Наименование грунта		
	Насыпной грунт	ИГЭ-1. Песок крупный, средней плотности сложения, влажный	ИГЭ-2. Песок пылеватый, плотный, влажный
Значение расчетного сопротивления грунта, R_0 , кПа	–	500	200
Модуль деформации E , МПа	–	31	23
Удельное сцепление грунта c , кПа	–	1	2
Угол внутреннего трения φ , град.	–	37	38
Коэффициент водонасыщения S_r	–	0,58	0,76
Естественная влажность W , %	–	12	16
Коэффициент пористости, e , д.е.	–	0,56	0,57
Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	–	1,73	1,73
Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	–	2,69	2,71
Плотность грунта, ρ , г/см ³	–	1,94	2,01
Толщина слоя, м	0,5–0,7	3,2–5,3	4,6–6,4

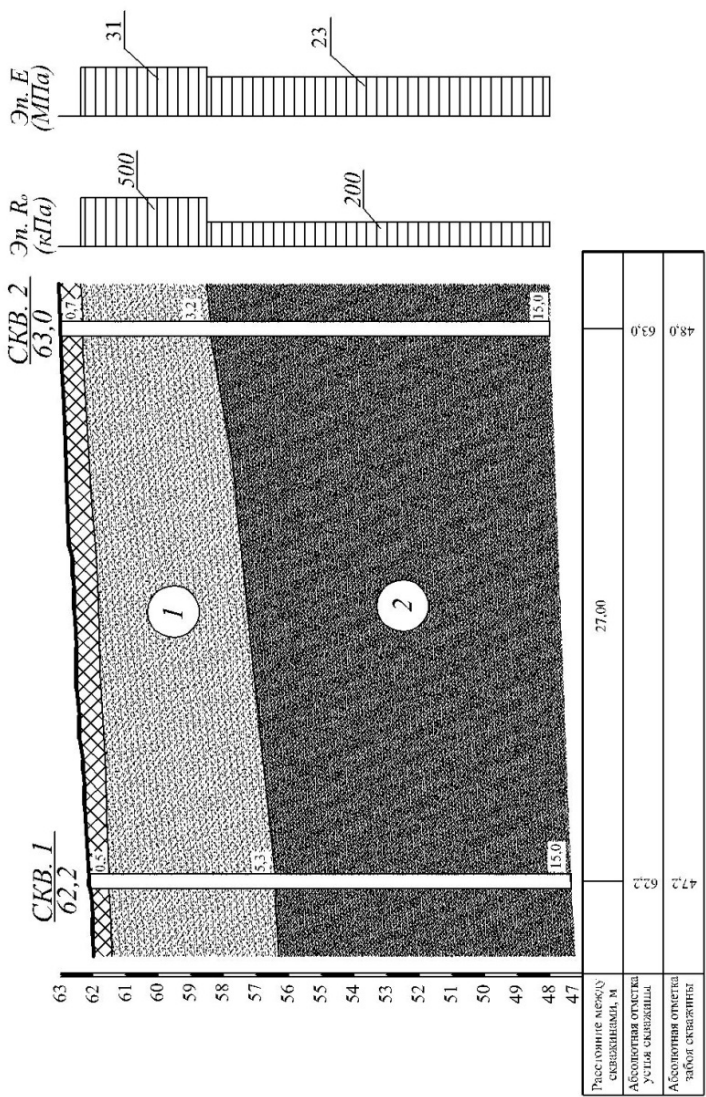


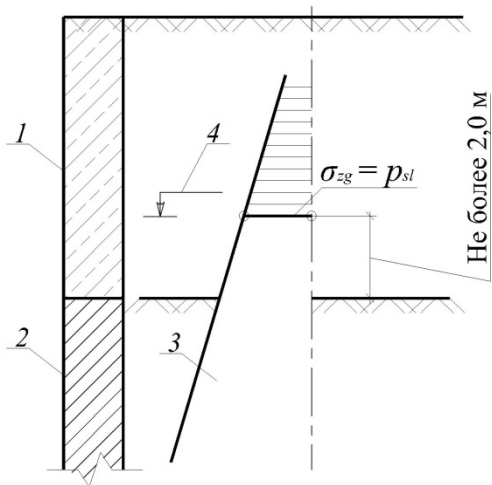
Рисунок 4.6 – Схема инженерно-геологического разреза площадки строительства:
 1 – песок крупный, средней плотности сложенный, влажный; 2 – песок пылеватый, плотный, влажный

4.2 Обоснование типа грунтовых условий по просадочности при проектировании фундаментов зданий на лессовых просадочных грунтах

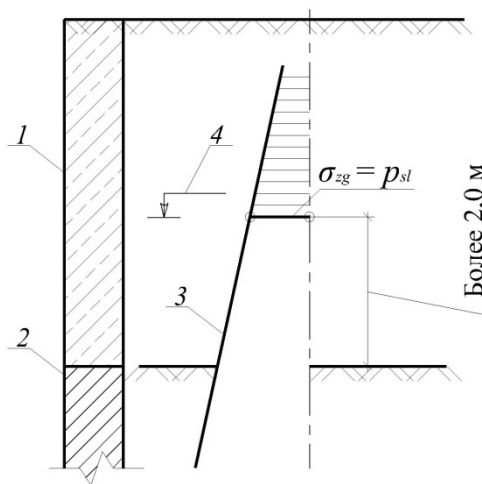
4.2.1 Общие положения

На практике, при проектировании фундаментов зданий на лессовых просадочных грунтах, тип грунтовых условий можно определить следующим образом. По результатам лабораторных или полевых экспериментальных исследований устанавливается начальное просадочное давление p_{sl} , относительная просадочность ε_{sl} при различном действующем (внешнем) давлении, а также физические свойства грунтов. Эти данные могут быть также получены из отчета по инженерно-геологическим изысканиям на площадке строительства. Затем строится график изменения по глубине основания напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} (рисунок 4.7). При этом напряжение σ_{zg} должно определяться при полном водонасыщении грунта (коэффициент водонасыщения S_r более 0,8). На графике находится отметка, соответствующая глубине, где выполняется условие $\sigma_{zg} \approx p_{sl}$. (или глубина, где $\varepsilon_{sl} = 0,01$). **К первому типу** грунтовых условий по просадочности будут относиться грунты, для которых в нижней части основания (глубина, где $\sigma_{zg} > p_{sl}$) залегает слой толщиной не более 2 м, и его расчетная просадка от его собственного веса не превышает 5 см (рисунок 4.7, а). В противном случае грунтовые условия относятся ко **второму типу** по просадочности (рисунок 4.7, б).

Таким образом, вышеизложенное дает представление о порядке обоснования типа грунтовых условий по просадочности.



a



б

Рисунок 4.7 – Схемы для определения типа грунтовых условий по просадочности для первого (а) и второго (б) типов:
 1, 2 – соответственно просадочный и непросадочный грунт; 3 – эпюра напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} , 4 – отметка, соответствующая глубине, где выполняется условие $\sigma_{zg} = p_{sl}$ (σ_{zg} – напряжение от собственного веса грунта; p_{sl} – начальное просадочное давление)

4.2.2 Пример оценки ожидаемой просадки от собственного веса грунта

Пример 4.3. Исходные данные. Требуется вычислить ожидаемую просадку от собственного веса для грунтовой толщи, сложенной лессовидными макропористыми просадочными супесями и суглинками на глубину до 18 м, подстилаемой непросадочными грунтами [6]. Осредненные значения основных физико-механических характеристик, характеристик просадочности и данные о распределении напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} приведены в таблице 4.12. Значения относительной просадочности установлены в лабораторных условиях по методу «двух кривых» при давлениях, соответствующих напряжению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине.

Решение. Величину просадки от собственного веса грунта определяем по выражению (3.2), используя значения относительной просадочности из таблицы 4.12 (при давлении, равном напряжению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине). При этом просадочность грунта будет происходить начиная с глубины $Z = 5,0$ м, где напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} будет примерно равно (или больше) начальному просадочному давлению p_{sl} (таблица 4.12):

$$\sigma_{zg} = \gamma_w \cdot Z = 18,4 \cdot 5 = 92 \text{ кПа} \approx p_{sl} = 96 \text{ кПа.}$$

Тогда

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i} = \left[\frac{(0,012 + 0,018)/2 + 0,018}{2} \right] \cdot 100 \times \\ \times 1,0 + \left(\frac{0,018 + 0,022}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,022 + 0,026}{2} \right) \cdot 200 \times \\ \times 1,0 + \left(\frac{0,026 + 0,028}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,028 + 0,022}{2} \right) \cdot 200 \times \\ \times 1,0 + \left(\frac{0,022 + 0,018}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,018 + 0,014}{2} \right) \cdot 200 \times \\ \times 1,0 = 1,7 + 4,0 + 4,8 + 5,4 + 5,0 + 4,0 + 3,2 = 28,1 \text{ см.}$$

Таблица 4.12 – Характеристики лессовых просадочных грунтов площадки строительства

Наименование грунта	Глубина залегания h от поверхности	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Удельный вес замоченного грунта $\gamma_{\text{см}}$, кН/м ³	Относительная просадочность $\varepsilon_{\text{ср}}$, д. ед.	Напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} , кПа	Начальное просадочное давление $p_{\text{ср}}$, кПа
Супесь твердая макропористая (слой 1)	2	16,2	18,2	0,012	36,4	96
	4	16,4	18,4	0,012	73,6	
	6	16,6	18,4	0,018	110,4	
Суглинок полутвердый макропористый (слой 2)	8	16,6	18,8	0,022	148,8	85
	10	17,0	18,8	0,026	188,2	
	12	17,2	19,0	0,028	224,4	
Супесь твердая макропористая (слой 3)	14	17,2	19,4	0,022	266,0	80
	16	17,6	20,0	0,018	306,0	
	18	17,8	20,0	0,014	344,1	

Таким образом установлено, что просадка от собственного веса грунта для грунтовой толщи, сложенной лессовидными супесями и суглинками на глубину до 18 м, составит 27,8 см.

4.2.3 Пример оценки типа грунтовых условий по просадочности

Пример 4.4. Исходные данные. Определить тип грунтовых условий по просадочности для рассматриваемой площадки строительства. Основание сложено следующими грунтами. С поверхности под почвенно-растительным слоем толщиной 0,4 м залегает слой твердого лессовидного желтовато-бурого

Таблица 4.13 – Данные исследований свойств просадочных грунтов

Грунт	Толщина слоя грунта, м	Удельный вес частиц грунта γ_s , кН/м ³	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Удельный вес сухого грунта γ_d , кН/м ³	Естественная влажность W , д.ед.	Влажность на границе текучести W_L , д.ед.	Влажность на границе раскатывания W_p , д.ед.	Начальное просадочное давление p_{st} кПа
Почвенно-растительный слой	0,4	–	–	–	–	–	–	–
Суглинок твердый желтовато-бурый, макропористый (слой 1)	6,6	27,2	16,2	14,5	0,116	0,27	0,17	85
Суглинок твердый буровато-коричневый, макропористый (слой 2)	9,0	27,0	16,8	14,9	0,125	0,28	0,16	90

Таблица 4.14 – Результаты исследований относительной просадочности при различном давлении на образцы грунта

Грунт	Относительная просадочность ϵ_{sl} при давлении p , кПа					
	20	60	100	140	200	250
Суглинок твердый, желтовато-бурый, макропористый (слой 1)	0,000	0,016	0,032	0,040	0,060	0,065
Суглинок твердый, буровато-коричневый, макропористый (слой 2)	0,000	0,000	0,012	0,022	0,035	0,040

макропористого суглинка (слой 1) мощностью 6,6 м. Ниже залегает слой твердого лессовидного макропористого суглинка буровато-коричневого цвета (слой 2) мощностью 9,0 м. На глубине 16 м от поверхности находится мелкий галечник с песчаным заполнителем. Необходимые исходные данные о свойствах грунтов приведены в таблице 4.13 и 4.14

Решение. Для определения типа грунтовых условий по просадочности рассматриваемой площадки построим график изменения напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} по глубине просадочной толщи с учетом ее геологического строения (рисунок 4.8). Для этого предварительно вычисляем:

$$Z = 2,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 2,0 = 32 \text{ кПа};$$

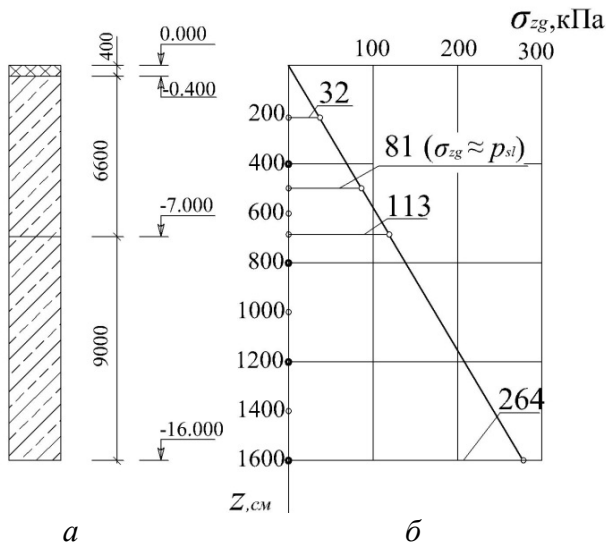


Рисунок 4.8 – Схема к определению типа грунтовых условий по просадочности: *a* – геологический профиль; *б* – эпюра распределения напряжений от собственного веса грунта σ_{zg}

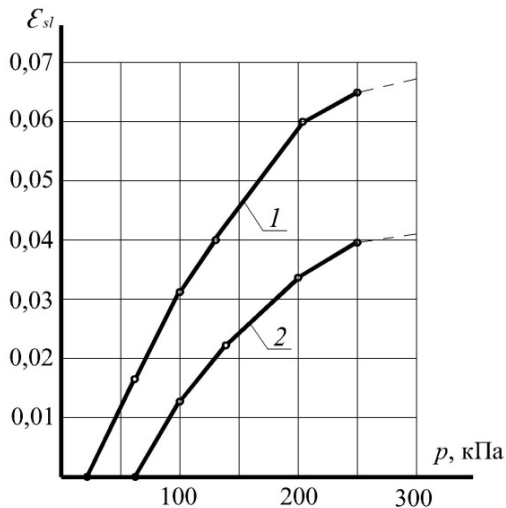


Рисунок 4.9 – График изменения относительной просадочности грунта ϵ_{sl} от прикладываемого давления p :

1, 2 – соответственно для первого и второго слоев лессового просадочного грунта (суглинки твердые, макропористые)

$$Z = 5,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 5,0 = 81 \text{ кПа};$$

$$Z = 7,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 7,0 = 113 \text{ кПа};$$

$$Z = 16,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 7,0 + 16,8 \cdot 9,0 = 264 \text{ кПа}.$$

На графике (рисунок 4.8) находим глубину, где выполняется условие $\sigma_{zg} \approx p_{sl}$ (σ_{zg} – напряжение от собственного веса грунта; p_{sl} – начальное просадочное давление). Данное условие выполняется на глубине $Z = 5,0$ м, где $81 \text{ кПа} \approx 85 \text{ кПа}$ (таблица 4.13).

Для определения просадки от собственного веса грунта просадочную толщу условно разделяем на слои толщиной 2,0 м (рисунок 4.6, б) и вычисляем напряжения σ_{zg} в середине каждого слоя. Значения относительной просадочности ϵ_{sl} при

Таблица 4.15 – Относительная просадочность при действующем напряжении от собственного веса грунта

Грунты	Глубина до середины рассматриваемого слоя, м	Напряжение в середине рассматриваемого слоя, кПа	Относительная просадочность ϵ_{sl} при действующем напряжении σ_{zg}
Слой 1	3,0	49	0,012
	5,0	81	0,026
	7,0	113	0,035
Слой 2	9,0	151	0,025
	11,0	185	0,030
	13,0	219	0,038
	15,0	252	0,040

действующем напряжении в середине рассматриваемого слоя устанавливаем с помощью предварительно построенного графика $\epsilon_{sl} = f(p)$ (рисунок 4.9) или интерполяций. Все результаты данных вычислений приведены в таблице 4.15.

Ожидаемую просадку от действия собственного веса грунта S_{sl} (см) в пределах просадочной толщи определяем по

формуле (3.2). При этом просадку S_{sl} в пределах просадочной толщи вычисляем, начиная с глубины $Z = 5$ м, где напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} равно начальному просадочному давлению p_{sl} ($\sigma_{zg} = 81$ кПа $\approx p_{sl} = 85$ кПа). Тогда,

$$\begin{aligned}
 S_{sl} &= \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i} = \left(\frac{0,026 + 0,035}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 \times \\
 &\times 1,0 + \left(\frac{0,035 + 0,025}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,025 + 0,030}{2} \right) \cdot 200 \times \\
 &\times 1,0 + \left(\frac{0,030 + 0,038}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,038 + 0,040}{2} \right) \cdot 200 \times \\
 &\times 1,0 + 0,040 \cdot 100 \cdot 1,0 = 6,2 + 6,0 + 5,6 + 6,8 + 7,8 + 4,0 = \\
 &= 36,4 \text{ см}
 \end{aligned}$$

Таким образом, установлено, что в пределах глубины, где $\sigma_{zg} > p_{se}$, залегают слои лёссового макропористого грунта (суглинки) общей мощностью более 2,0 м ($Z = 11,0$ м). Просадка рассматриваемой толщи грунта от нагрузки, вызванной действием его собственного веса, более 5 см ($S_{sl} = 36,4$ см). Следовательно, грунтовые условия рассматриваемой площадки относятся ко второму типу по просадочности.

4.3 Оценка набухания и усадки глинистых грунтов площадок строительства при проектировании фундаментов зданий

На этапе проектирования оснований и фундаментов зданий возникает необходимость установить дополнительные их деформации, обусловленные набуханием или усадкой грунтов.

Величина ожидаемого подъема h_{sw} основания при набухании грунта в случае его замачивания определяется по формуле [2, 11].

$$h_{sw} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sw,i} h_i K_{sw,i}, \quad (4.1)$$

где n – число слоев грунта, на которые разбивается набухающая толща;

$\varepsilon_{sw,i}$ – относительное набухание i -го слоя грунта, определяемое для всей набухающей толщи при действующем в этом слое давлении p_i ;

h_i – толщина рассматриваемого i -го слоя грунта;

$K_{sw,i}$ – коэффициент, принимаемый: $K_{sw} = 0,8$ при суммарном давлении в середине рассматриваемого слоя $\sigma_{z,tot} = 0,05$ МПа (50 кПа); $K_{sw} = 0,6$ при $\sigma_{z,tot} = 0,3$ МПа (300 кПа); при промежуточных значениях $\sigma_{z,tot}$ значения K_{sw} устанавливаются по интерполяции.

Относительное набухание $\varepsilon_{sw,i}$ допускается определять по следующим формулам [6, 11]:

– при инфильтрации и подъеме уровня подземных вод:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_{sat} - h_n}{h_n} \quad (4.2)$$

где h_{sat}, h_n – обозначения те же, что и в формуле (3.6);

– при экранировании поверхности и изменении водно-теплового режима

$$\varepsilon_{sw} = \frac{k(W_{eq} - W_0)}{1 + e_0}, \quad (4.3)$$

где k – коэффициент, определяемый опытным путем (при отсутствии опытных данных $k = 2$);

W_{eq} – конечная (установившаяся) влажность грунта;

W_0 – начальная влажность грунта;

e_0 – начальное значение коэффициента пористости грунта.

Значение W_{eq} для i -го слоя грунта при экранировании поверхности определяется по экспериментальной зависимости влажности набухания W_{sw} от прикладываемого давления p_i ($W_{sw} = f(p_i)$), вычисляемого из выражения (рисунок 4.10) [11]:

$$p_i = \gamma_w(z - z_i + \frac{2\sigma_{z,tot,i}}{\gamma_i}), \quad (4.4)$$

где γ_w – удельный вес воды, кН/м^3 ;

z – расстояние от экранируемой поверхности до уровня подземных вод, м;

z_i – глубина залегания рассматриваемого слоя, м;

$\sigma_{z,tot,i}$ – суммарное вертикальное напряжение в рассматриваемом i -ом слое, кПа ;

γ_i – удельный вес грунта i -го слоя, кН/м^3 .

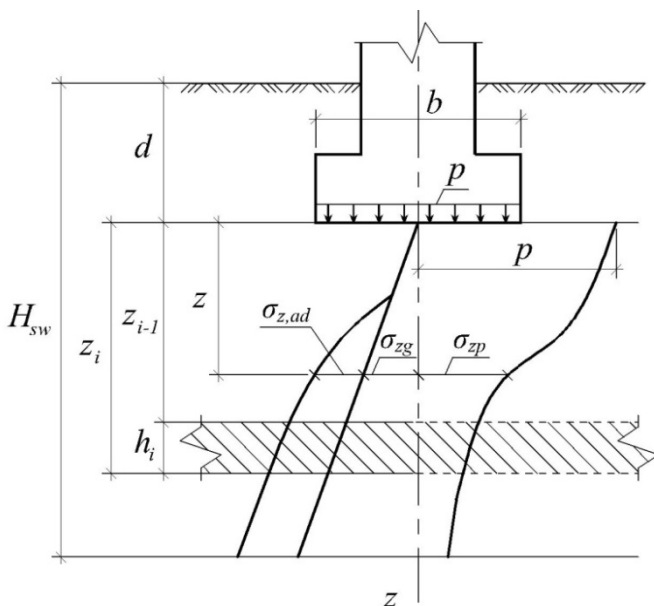


Рисунок 4.10 – Схема к расчету подъема основания фундамента при набухании грунта

Методика определения влажности набухания W_{sw} в зависимости от прикладываемого давления на грунт $W_{sw} = f(p)$ аналогична методике определения $\varepsilon_{sw} = f(p)$.

Значение W_{eq} при изменении водно-теплового режима определяется как разность между наибольшим (в период максимального увлажнения) и наименьшим (в период максимального подсыхания) значениями влажности грунта. Коэффициент пористости в этом случае принимается для влажности грунта, отвечающей периоду максимального подсыхания. Профиль влажности массива для случая максимального увлажнения и подсыхания определяется экспериментальным путем в полевых условиях. Суммарное вертикальное напряжение $\sigma_{z,tot,i}$ на глубине z от подошвы фундамента определяется по формуле (рисунок 4.8):

$$\sigma_{z,tot,i} = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} + \sigma_{z,ad}, \quad (4.5)$$

где σ_{zp}, σ_{zg} – соответственно вертикальные напряжения от нагрузки фундамента и собственного веса грунта;

$\sigma_{z,ad}$ – дополнительное вертикальное напряжение, вызванное влиянием веса неувлажненной части массива грунта, расположенного за пределами площади замачивания, определяемое по формуле:

$$\sigma_{z,ad} = k_g \gamma (d + z), \quad (4.6)$$

где k_g – коэффициент, принимаемый по таблице 4.16;

γ – удельный вес грунта, кН/м³;

d – глубина заложения подошвы фундамента, м;

z – расстояние от подошвы фундамента до рассматриваемого грунта, м.

Таблица 4.16 – Значения коэффициента k_g

$\frac{d+z}{B}$	Коэффициент k_g при отношении длины к ширине замачиваемой площади L_w/B_w				
	1	2	3	4	5
0,5	0	0	0	0	0
1	0,58	0,5	0,43	0,36	0,29
2	0,81	0,7	0,61	0,5	0,4
3	0,94	0,82	0,71	0,59	0,47
4	1,02	0,89	0,77	0,64	0,53
5	1,07	0,94	0,82	0,69	0,77

Примечание – B – ширина здания; L_w, B_w – соответственно длина и ширина замачиваемой площади.

Величина ожидаемой осадки основания в результате высыхания набухающего грунта (**усадки грунта**) определяется по формуле:

$$S_{sh} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sh} h_i K_{sh}, \quad (4.7)$$

где n – число слоев грунта, на которые разбивается набухаемая толща;

$\varepsilon_{sh,i}$ – относительная линейная усадка i -го слоя грунта, определяемая по формуле (3.7);

K_{sh} – коэффициент, принимаемый равным 1,3 [1, 5, 9].

Нижняя зона усадки H_{sh} набухающего грунта определяется экспериментально, а при отсутствии опытных данных принимается равной 5 м [5].

Допускается принимать значения $K_{sh} = 1,2$, если относительная усадка S_{sh} определяется без нагрузки (давления) на грунт.

Если расчетные данные по подъему основания при набухании h_{sw} и по его осадке (усадке) при высыхании S_{sh} превышают предельные значения S_u , то применяют различные мероприятия, исключаящие (или уменьшающие) деформации, вызванные набуханием или высыханием грунтов.

Таким образом, вышеизложенное дает возможность прогнозировать усадку набухающего глинистого грунта при его высыхании.

4.4. Оценка сейсмичности строительной площадки с учетом категории грунтов

При землетрясениях грунты основания, в зависимости от их свойств, по-разному сопротивляются силовым сейсмическим воздействиям. Действующие в настоящее время нормативы на проектирование и строительство зданий, сооружений в сейсмических районах (СП 14.13330-2011 и др.) предусматривают назначение **сейсмичности районов строительства** в баллах (интенсивности сейсмических воздействий) на основе комплекта карт общего сейсмического районирования РФ (ОСР-97). Для оценки **сейсмичности строительных площадок** (конкретных), в зависимости от их грунтовых и гидрогеологических условий, проводится сейсмическое микрорайонирование, которое является составной частью работ по инженерно-геологическим изысканиям. Для строительных площадок, где не проводилось сейсмическое микрорайонирование, в качестве исключения допускается определять их сейсмичность в зависимости от сейсмичности района и категории грунтов по сейсмическим свойствам по СП 14.13330-2011 и другим документам (см. параграф 3.4). Правильная оценка сейсмичности строительной площадки с учётом грунтовых условий позволяет обеспечить нормальную и безопасную эксплуатацию здания, сооружения.

Пример 4.5. Исходные данные. Требуется определить сейсмичность строительной площадки на основе анализа данных инженерно-геологических изысканий и данных сейсмичности района строительства (фоновой сейсмичность района). На рассматриваемой площадке предполагается строительство административного 5-этажного здания без подвальных помещений. Схемы расположения выработок грунта (план) и инженерно-геологического разреза строительной площадки, приведены на рисунке 4.11 и 4.12. Данные о физико-механических

характеристиках, показателях грунтов приведены в таблице 4.17.

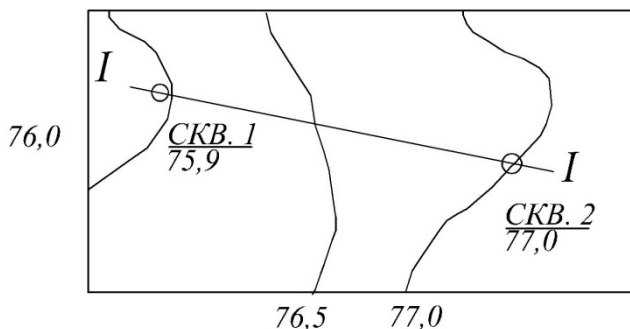


Рисунок 4.11 – Схема расположения выработок грунта (план) на строительной площадке (пример 4.5)

Основание рассматриваемой строительной площадки до глубины примерно 15 м сложено следующими грунтами. Сверху до отметки 0,8 м залегают насыпные грунты, представленные битым кирпичом, галькой и суглинком серым песчанистым с содержанием щебня, шлака, битого кирпича и песка до 25 % (ИГЭ-1). Ниже подстилаются аллювиальные отложения мощностью от 1,9 до 2,2 м, которые сложены суглинком тяжёлым, серым, мягкопластичным с прослоями песка с приведенной мощностью 2,0 м (ИГЭ-2). Под слоем суглинка залегают пески средней крупности, средней плотности, водонасыщенные мощностью 5,0–5,3 м (ИГЭ-3). С глубины 8,3 м от поверхности земли залегает супесь пылеватая, пластичная, серая с приведенной мощностью слоя более 8,0 м (ИГЭ-4). Уровень подземных вод находится на глубине 3,4–4,3 м от поверхности земли. Сейсмичность района строительства (фоновая сейсмичность), согласно действующих строительных норм (СП 14.13330-2011) и подтвержденных данными изыскательской организации, составляет 7 баллов.

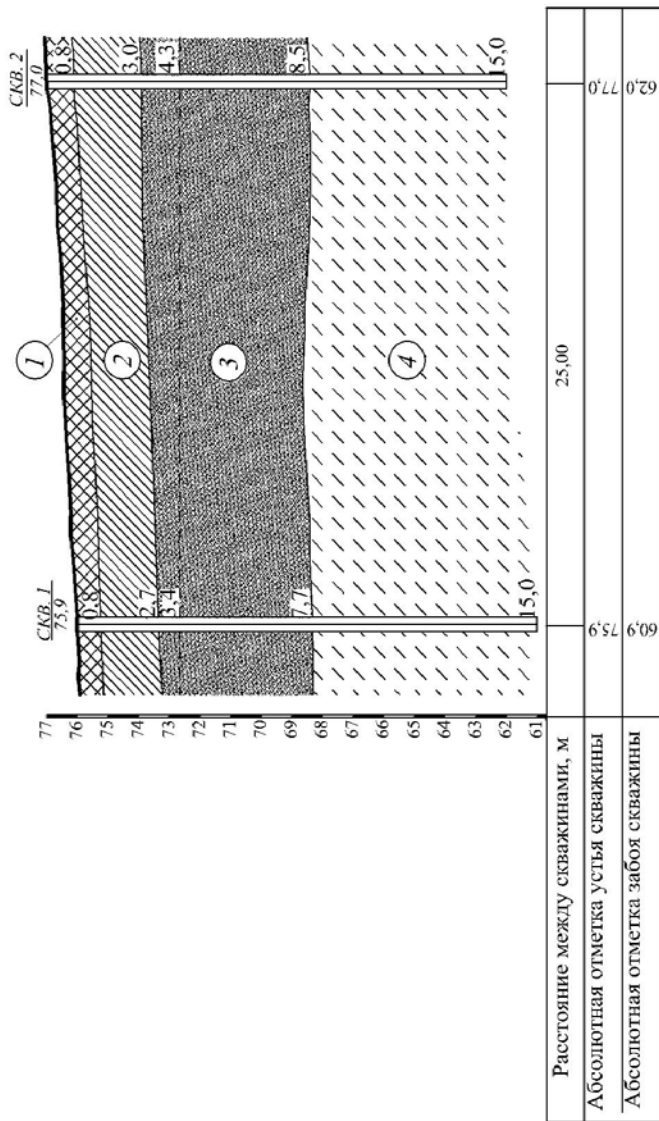


Рисунок 4.12 – Инженерно-геологический разрез строительной площадки (по скважинам 1 и 2):

- 1 – насыпной грунт (ИГЭ-1); 2 – суглинок тяжелый мягкопластичный (ИГЭ-2);
- 3 – песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный (ИГЭ-3);
- 4 – супесь пылеватая, пластичная (ИГЭ-4)

Таблица 4.17 – Физико-механические характеристики грунтов
(по данным инженерно-геологическим изысканий)

Показатели	Инженерно-геологические элементы (ИГЭ)			
	Насыпной грунт (ИГЭ-1)	Суглинок тяжёлый, мягкопластичный (ИГЭ-2)	Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный (ИГЭ-3)	Супесь пылеватая, пластичная (ИГЭ-4)
Удельное сцепление грунта c , кПа	–	28	1	15
Угол внутреннего трения φ , град.	–	22	42	28
Плотность частиц грунта ρ_{ss} , г/см ³	–	2,47	2,62	2,68
Плотность грунта ρ , г/см ³	1,93	1,91	2,05	1,98
Показатель текучести I_L	–	0,46	–	0,18
Влажность W , %	–	15	23	19
Коэффициент пористости e	–	0,7	0,57	0,62

Решение. Для оценки сейсмичности строительной площадки вначале по таблице 1 СП 14.13330.2014 – «Строительство в сейсмических районах» (либо по данным параграфа 3.4 настоящего учебного пособия) определяем категорию грунтов по сейсмическим свойствам (отдельно для каждого инженерно-геологического элемента). При этом слой из насыпных грунтов (ИГЭ-1) не рассматриваем, так как насыпной грунт не яв-

ляется основанием для проектируемого здания. Из рассмотрения данных по инженерно-геологическим элементам (таблица 4.17) устанавливаем:

ИГЭ-2 (суглинок тяжёлый, мягкопластичный) – относится к II категория грунтов по сейсмическим свойствам;

ИГЭ-3 (песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный) – относится к III категория грунтов по сейсмическим свойствам;

ИГЭ-4 (супесь пылеватая, пластичная) – относится к II категория грунтов по сейсмическим свойствам.

С учетом принятой категории грунтов для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ) уточняем сейсмичность строительной площадки (по таблице 1 СП 14.13330-2011, либо по таблице 3.10 настоящего учебного пособия). Из рассмотрения материалов видно, что для ИГЭ-2 и ИГЭ-4 при их установленной категории (II категория грунтов) сейсмичность строительной площадки соответствует значению 7 баллов и совпадает с сейсмичностью района (также 7 баллов). Для ИГЭ-3 при его установленной категории (III категория грунтов) сейсмичность строительной площадки соответствует значению 8 баллов, что на один балл больше сейсмичности района. Поэтому в целом, с учетом категории грунтов по сейсмическим свойствам, залегающих в основании фундаментов проектируемого административного здания, принимает сейсмичность строительной площадки 8 баллов.

Контрольные вопросы

- 1. На основании каких материалов и документов производится оценка грунтовых условий площадок строительства?*
- 2. Каким параметрам и характеристикам грунтов основания уделяется повышенное внимание при оценке грунтовых условий площадки строительства?*

3. На какие вопросы нужно получить ответы при оценке грунтовых условий площадок строительства зданий?
4. Какую последовательность изложения материала рекомендуется использовать на этапе оценки грунтовых условий строительства?
5. При оценке грунтовых условий площадок строительства подразделяют основания на однородные и слоистые, согласные и несогласные. Дать пояснения этим выражениям.
6. Какой слой грунта в основании фундамента называют несущим, а какой подстилающим?
7. Поясните, что называется расчетным сопротивлением грунта основания?
8. На основании каких характеристик и показателей производят оценку просадочных свойств лессовых грунтов? В каких случаях лессовые грунты считают непросадочными?
9. По каким характеристикам оценивается процесс набухания глинистого грунта?
10. Как установить тип грунтовых условий по просадочности?
11. Как выяснить, что глинистый грунт является просадочным?
12. Что такое относительная просадочность грунта?
13. Что такое начальное давление просадочности?
14. Как выяснить, что глинистый грунт является набухающим?
15. Как установить величину ожидаемого подъема глинистого грунта при его набухании?
16. Что такое усадка грунта и как установить величину ожидаемой усадки в результате высыхания набухающего глинистого грунта?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мангушев Р. А. Механика грунтов : учебник / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров. – М. : Изд-во АСВ, 2009. – 264 с.
2. Тер-Мартirosян З. Г. Механика грунтов / Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 488 с.
3. Пономарев А. Б. Подземное строительство: учеб. пособие / А. Б. Пономарев, Ю. Л. Винников. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 262 с.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*. – М. : Минрегион России, 2011. – 162 с.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебное пособие / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартirosян, С. Н. Чернышев. – М. : Изд-во АСВ, 2005. – 528 с.
6. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М. : Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
7. Полищук А.И. Оценка грунтовых условий площадок строительства в курсовом и дипломном проектировании: учеб. пособие / А. И. Полищук, Д. А. Чернявский. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 78 с.
8. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. – М. : 2012. – 67 с.

Дополнительная

9. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01–83) / НИИОСП им. Герсеванова. – М. : Стройиздат, 1986. – 415 с.

10. Цытович Н. А. Механика грунтов (краткий курс) / Н. А. Цытович. – М. : Высшая школа, 1983. – 288 с.
11. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. – М. : Стройиздат, 1985. – 480 с.
12. Перечень единиц физических величин, подлежащих применению в строительстве. СН 528–80 / Госстрой России. – М. : ГУПЦПП, 2000. – 34 с.
13. Бартоломей А. А. Механика грунтов: учеб. пособие / А. А. Бартоломей. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 238 с.
14. Полищук А. И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий / А. И. Полищук. – 3-е изд., доп. – Нортгэмптон STT : Томск : STT, 2007. – 476 с.
15. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – М. : Стройиздат, 1979. – 271 с.
16. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах / Е. А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1974. – 224 с.
17. Захаров М. С. Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания в строительстве: Учеб. пособие / М. С. Захаров, Р. А. Мангушев. // Под ред. Р. А. Мангушева – М., СПб. : Изд-во АСВ, 2014. – 176 с.
18. Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом / Я. М. Айзенберг, Э. Н. Кодыш, И. К. Никитин, В. И. Смирнов, Н. Н. Трекин. – М. : Изд-во АСВ, 2012. – 264 с.
19. Альбом конструктивных решений по сейсмоусилению каменных зданий и сооружений / Г. П. Тонких, [и др.] // Под общ. ред. Г. П. Тонких и О. В. Кабанцева. – Томск, М. : Печатная мануфактура, 2010. – 144 с.
20. Полищук А. И. Рекомендации по определению значений модуля деформации грунтов по результатам компрессионных испытаний с использованием региональных коэффициентов / А. И. Полищук, В. В. Фурсов, М. В. Балюра. Региональные нормативы градостроительного проектирования

Томской области. – Томск : Администрация Томской области, 2007. – 22 с.

21. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 131 с.

22. Ставницер Л. Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов: Монография / Л. Р. Ставницер. – М. : Изд-во АСВ, 2010. – 448 с.

23. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик / Под ред. Ю. И. Немчинова. – Киев : ФОРМ Гудименко С. В., 2012. – 384 с.

Учебное издание

Полищук Анатолий Иванович
Чернявский Денис Алексеевич

**ОБОСНОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА В КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ**

Учебное пособие

В авторской редакции
Дизайн обложки – Н. П. Лиханская
Подписано в печать 31.03.2016 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. – 7,0. Уч.-изд. л. – 5,5.
Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного
университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ПОЛИЩУК АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ

Заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета, заслуженный строитель РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор.

Член Международного (ISSMGE) и член Президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ). Член научного совета Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по механике грунтов, основаниям, фундаментам, геотехнике и инженерным изысканиям. Награжден медалью Н. М. Герсеева.

Специалист в области фундаментостроения, инженерно-геологических изысканий, обследования и реконструкции зданий, строительства в особых грунтовых условиях. Автор, соавтор 6 монографий, 2 региональных нормативных документов, 8 учебных и научно-практических пособий, 2 справочников, 30 патентов на изобретения и полезные модели; всего более 220 научных печатных работ.



ЧЕРНЯВСКИЙ ДЕНИС АЛЕКСЕЕВИЧ

Старший преподаватель кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета. Научно-практические интересы: оценка работы буроинъекционных свай и свайных фундаментов в глинистых грунтах, проектирование фундаментов зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Автор, соавтор 15 научно-методических работ, в том числе четырёх патентов РФ на изобретения, двух отраслевых методических рекомендаций и одного учебного пособия.