

В. Р. Мустакимов

ИСКУССТВЕННЫЕ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в
качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2021

УДК 69.03(075.8)
ББК 38.58я73
М91

Автор:

Мустакимов Валерий Раифович — кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры Института архитектуры и дизайна Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Рецензент:

Мустафин И. И. — кандидат технических наук, директор ООО «ПКФ «КАРКАС»».

Мустакимов, В. Р.

М91 Искусственные основания зданий и сооружений на просадочных грунтах : учебное пособие для вузов / В. Р. Мустакимов. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 220 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-14103-0

В курсе приводятся расчёт и проектирование искусственных оснований зданий и сооружений, возводимых на лёссовых просадочных грунтах. Для каждого из способов устройства искусственных оснований изложен алгоритм инженерного расчёта по первому и второму предельным состояниям. Все типы искусственных оснований снабжены расчётно-технологическими схемами, помогающими оценить все технологические мероприятия при устройстве искусственных оснований. С целью систематизации подсчёта земляных, специальных и строительно-монтажных видов работ приведены образцы форм таблиц с ведомостями объёмов работ. Для сравнения типов искусственных оснований при вариантном проектировании приведены единичные расценки и нормативная трудоёмкость работ, а также основные технико-экономические показатели.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Курс предназначен для студентов строительных специальностей всех форм обучения при выполнении выпускных квалификационных работ, дипломных проектов, магистерских диссертаций. Рекомендовано при изучении дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты», а также при реальном проектировании в проектных организациях. Курс включает дополнительный практический материал, размещённый на сайте urait.ru.

УДК 69.03(075.8)
ББК 38.58я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-14103-0

© Мустакимов В. Р., 2021
© ООО «Издательство Юрайт», 2021

Оглавление

Об авторе.....	7
Предисловие	9
Тема 1. Особенности и строительные свойства лёссовых просадочных грунтов.....	14
1.1. Определение типа грунтовых условий по просадочным свойствам.....	18
1.2. Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки для ИГЭ-2, проявляющего просадочные свойства	22
1.3. Расчёт типа грунтовых условий по просадочным свойствам.....	24
1.4. Определение деформации просадки и схемы к расчёту просадок оснований фундаментов зданий	27
<i>Контрольные вопросы к теме 1</i>	32
Тема 2. Проектирование оснований, уплотнённых тяжёлыми трамбовками	33
<i>Контрольные вопросы к теме 2</i>	47
Тема 3. Проектирование оснований, уплотнённых предварительным глубинным замачиванием.....	48
<i>Контрольные вопросы к теме 3</i>	61
Тема 4. Проектирование фундаментов в вытрамбованных котлованах	62
4.1. Расчёт геометрических и геофизических характеристик фундаментов в вытрамбованных котлованах.....	63
4.2. Расчёт фундаментов в вытрамбованных котлованах по II группе предельных состояний — по деформациям.....	72
4.3. Расчёт фундаментов в вытрамбованных котлованах по I группе предельных состояний — по несущей способности	75
<i>Контрольные вопросы к теме 4</i>	80

Тема 5. Проектирование оснований, уплотнённых грунтовыми сваями	81
5.1. Глубинное уплотнение просадочного массива грунта пробивкой скважин	82
5.2. Основы расчёта и проектирования искусственного основания, уплотнённого грунтовыми сваями	88
<i>Контрольные вопросы к теме 5</i>	<i>93</i>
Тема 6. Термическое упрочнение грунтов в строительстве	94
6.1. Основы термического закрепления массива просадочных грунтов.....	95
6.2. Расчёт термогрунтовых массивов по несущей способности...	101
6.3. Основные требования к проекту и технологии термического упрочнения грунтов	104
<i>Контрольные вопросы к теме 6</i>	<i>108</i>
Тема 7. Проектирование искусственных оснований, армированных вертикальными элементами, выполненными из цементогрунта	110
7.1. Основы устройства искусственного основания, армированного вертикальными элементами в просадочных грунтовых массивах.....	111
7.2. Расчёт и проектирование искусственного основания, армированного вертикальными элементами	116
7.2.1. Расчёт по I группе предельных состояний — по прочности.....	116
7.2.2. Расчёт по II группе предельных состояний — по деформации	120
7.3. Прочность и деформативность просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами	123
7.3.1. Расчётно-теоретические исследования	123
7.3.2. Экспериментальные исследования массива грунта, армированного вертикальными элементами в одометре и лотке	136
7.4. Расчёт технологических параметров цементогрунтовых элементов.....	144
<i>Контрольные вопросы к теме 7</i>	<i>149</i>
Тема 8. Проектирование искусственных оснований зданий и сооружений, укреплённых силикатизацией.....	151
8.1. Основы теории и практики становления и развития химического способа закрепления грунтов силикатизацией просадочных грунтов.....	152

8.2. Проектирование искусственных оснований, закреплённых силикатизацией	155
8.2.1. Последовательность проектирования и устройства искусственного основания из закреплённого силикатизацией грунта	155
8.2.2. Основы расчёта искусственного основания из закреплённого силикатизацией грунта	161
8.2.3. Расчёт по первой группе предельных состояний — по прочности	163
8.3. Определение объёма закреплённого силикатизацией грунта и расчёт расхода компонентов для упрочнения массива	168
8.4. Пример графического оформления рабочих чертежей по упрочнению просадочного грунта основания под ленточным фундаментом	171
8.5. Состав и содержание рабочего проекта по инъекционному химическому укреплению массива просадочного грунта основания	174
<i>Контрольные вопросы к теме 8</i>	<i>179</i>

Тема 9. Методика определения технико- экономических показателей проектных решений искусственных оснований и фундаментов зданий и сооружений	180
<i>Контрольные вопросы к теме 9</i>	<i>184</i>
Термины и определения	186
Список литературы	193
Приложение	204

Об авторе



Автор курса — Мустакимов Валерий Раифович, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ). В 1977 г. окончил строительный факультет Самаркандского государственного архитектурно-строительного института имени Мирзо Улугбека (СамГАСИ). Специалист в области

проектирования и инженерного обследования оснований, фундаментов и строительных конструкций зданий и сооружений, возводимых в обычных и особых инженерно-геологических и природно-климатических условиях.

С 1999 г. по настоящее время работает в Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ). В течение этого периода работал по совместительству главным специалистом по строительным конструкциям в ГУП «Татинвестгражданпроект». Более 40 лет творческой жизни посвятил проектированию и исследованию объектов гражданского назначения, возводимых на структурно-неустойчивых (просадочных) грунтах в условиях сухого и жаркого климата Средней Азии. Одновременно с этим занимался проектно-изыскательской и научно-исследовательской работой в Самаркандском филиале УзНИИП градостроительства и ПЭМ СамГАСИ, последовательно занимая должности от инженера до главного инженера организаций и заместителя начальника ПЭМ СамГАСИ по науке. В 2004 г. в МГСУ защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по теме «Прочность и деформативность просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами».

В. Р. Мустакимов является автором более 200 научных работ, 3 монографий, 7 патентов на изобретения, 10 учебных пособий

и 15 методических указаний в области оснований, фундаментов, подземных сооружений, архитектуры и строительства зданий и сооружений. Член Международной объединённой академии наук. Эксперт Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

Предисловие

По состоянию на XXI в. уровень развития и объём отечественного и зарубежного строительства различных зданий и сооружений вызывают необходимость в использовании всё новых, ещё не освоенных или не пригодных для застройки территорий с особыми инженерно-геологическими и гидро-геологическими условиями. Рациональным и экономически целесообразным считается использование под строительство территорий, непригодных для сельского хозяйства (заболоченных, овражных и др.). Строительные площадки, сложенные слабыми водонасыщенными или структурно-неустойчивыми грунтами, обуславливающими развитие недопустимых деформаций, неравномерных осадок, просадок, кренов и подвижек фундаментов зданий и сооружений или потерю устойчивости грунтов оснований, оцениваются как непригодные для возведения объектов без дополнительных геотехнических мероприятий по их преобразованию в прочные, устойчивые и надёжные искусственные основания. Комплекс инженерных геотехнических мероприятий по искусственному улучшению работы слабого грунтового основания, в зависимости от вида его структурной неустойчивости (просадка, оттаивание, набухание, пучение, карстовые оседания, растворение структурных связей и др.), как правило, включает конструктивные, механические и физико-химические методы (рис. П.1) [59]. Свойства грунтов повышают уплотнением и закреплением [28, 47, 58, 68, 76].

К конструктивным методам искусственного улучшения работы грунтовых оснований относятся: устройство грунтовых подушек и послойно уплотнённых насыпей; применение шпунтового ограждения для слабого массива грунта основания; создание боковых пригрузок для предотвращения выпора; горизонтальное, вертикальное, наклонное или комбинированное армирование грунтового массива. Механические методы позволяют различными инженерно-техническими способами осуществить поверхностное или глубинное уплотнение дисперсной среды грунтового массива, а также уплотнение с помощью предварительного обжатия. При этом свойства грунтов улучшаются за счёт при-

менения энергии удара специальных видов рабочих органов, передаваемой на массив уплотняемого грунта в результате сбрасывания рабочего органа (тяжёлой трамбовки, каплевидного снаряда, фундамента в вытрамбованном котловане и др.).



Рис. П.1.1. Классификация методов искусственного улучшения грунтов оснований¹

¹ Источник: [59, с. 319].

Физико-химические методы закрепления и упрочнения дисперсной среды грунтовых массивов, проявляющих просадочные или другие структурно-неустойчивые свойства (набухание, рыхлость, засоленность), используются в отечественном и зарубежном строительстве в тех случаях, когда возникает необходимость улучшения работы структурно-неустойчивого грунтового основания под подошвой фундаментов: существующих зданий или сооружений; вновь возводимых объектов, пристраиваемых к существующим зданиям; надстраиваемых и подстраиваемых зданий. Привлекательность этих методов заключается в том, что они позволяют использовать безударные и безымпульсные способы: инъекционные (силикатизация, аммонизация, цементация, глинизация, битумизация); буросмесительные; локальные гидромониторные (струйная цементация); термическое закрепление (обжиг массива грунта). Как правило, эти способы улучшения работы структурно-неустойчивого массива грунтового основания реализуются при реконструкции зданий или сооружений.

При изучении архитектурно-строительного, инженерно-технологического, инженерно-геологического и гидрогеологического материала, изложенного в данном курсе применительно к просадочным грунтовым основаниям зданий и сооружений, студенты, бакалавры, магистры, аспиранты и молодые учёные архитектурно-строительных специальностей высших учебных заведений приобретают специальные знания в области оснований и фундаментов. При этом осваивается комплексный подход к разработке проекта, моделирующий принцип и технологическую последовательность проектирования, принятые в проектных организациях. В перспективе обучающиеся приобретают навыки по самостоятельному решению сложных вопросов при проектировании искусственных грунтовых оснований для различных гражданских и производственных зданий и сооружений.

С целью эффективного и всеобъемлющего использования обучающимися метода комплексного проектирования, включающего решение архитектурно-строительных задач совместно со смежными предметами, курс составлен из девяти тем, посвящённых основам современного проектирования искусственных грунтовых оснований зданий и сооружений.

В соответствии с учебным планом и утверждёнными рабочими программами, в рамках приобретаемых профессиональ-

ных компетенций, курс предназначен для обучающихся по следующим дисциплинам:

- «Основания и фундаменты» направления подготовки «Строительство»;

- «Искусственные основания, армированные вертикальными и горизонтальными элементами» направления подготовки «Техника и технология строительства»;

- «Архитектура промышленных и гражданских зданий» направления подготовки «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»;

- «Новые способы геотехнического проектирования и строительства фундаментов глубокого заложения (ФГЗ)» направления подготовки «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»;

- «Архитектурные конструкции и теория конструирования» направления подготовки «Архитектура» по профилю «Архитектурное проектирование»;

- «Архитектурные конструкции и теория конструирования» направления подготовки «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия».

В результате освоения предлагаемого материала, в соответствии с приобретаемыми компетенциями (ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3), студент должен:

знать

- естественнонаучные основы дисциплины для разработки архитектурно-строительных и конструктивных решений при проектировании гражданских и производственных зданий и сооружений;

- нормативную базу в области архитектурно-строительных и конструктивных решений;

- особенности проведения инженерных изысканий, технологии проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных, специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования;

- функциональные основы проведения технико-экономического обоснования проектных решений, разработки проектной и рабочей технической документации, оформления закон-

ченной проектно-конструкторской работы, контролирования соответствия разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам по проектированию;

— особенности современных несущих и ограждающих конструкций;

уметь

— разрабатывать архитектурно-строительные и конструктивные решения при проектировании гражданских и производственных зданий и сооружений на основании актуальных нормативных документов;

— планировать проведение и осуществлять инженерные изыскания, применять технологию проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных, специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования;

— на основе вариантного сравнения сопоставимых проектных решений типов искусственных оснований и конструкций фундаментов проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

владеть

— знаниями для выбора и разработки архитектурно-строительных и конструктивных решений для гражданских производственных зданий и сооружений;

— навыками по профессиональному восприятию информации в нормативных документах для гражданских производственных зданий и сооружений;

— основами проведения инженерных изысканий, применения технологий проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных, специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования;

— принципами проведения предварительного технико-экономического обоснования проектных решений, контролирования соответствия разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Тема 1

ОСОБЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЛЁССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

В результате освоения материала, изложенного в настоящей теме, посвящённой расчётно-теоретическому установлению типа грунтовых условий по просадочным свойствам с целью дальнейшего корректного выбора метода искусственного улучшения грунтов, основания зданий и сооружений, возводимых на структурно-неустойчивых грунтах, проявляющих просадочные свойства, обучающийся должен:

знать

- естественнонаучные основы дисциплины для разработки геофизических, инженерно-геологических и геотехнических решений при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

- нормативную базу в области разработки геофизических, инженерно-геологических и геотехнических решений при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

- особенности проведения инженерных изысканий в просадочных грунтах с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов;

- функциональные основы проведения лабораторных и полевых методов определения типа грунтовых условий по просадочности;

уметь

- разрабатывать геофизические, инженерно-геологические и геотехнические решения при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

- на основании актуальных нормативных документов устанавливать и компетентно оценивать геофизические, инженерно-геологические и геотехнические характеристики при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

- планировать проведение и осуществлять инженерные изыскания в грунтовых массивах, проявляющих просадочные свойства, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов;

— на основе вариантного сравнения современных лабораторных и полевых методов определения просадочных свойств грунтовых оснований проводить геотехническую оценку результатов исследований, контролировать соответствие полученных характеристик стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

владеть

— знаниями для выбора и разработки геофизических, инженерно-геологических и геотехнических решений при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

— навыками по профессиональному восприятию информации в нормативных документах при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам;

— основами проведения инженерных изысканий при определении типа грунтовых условий по просадочным свойствам с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов;

— принципами геотехнической оценки результатов исследований, контроля соответствия полученных характеристик стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Изучением лёссовых пород занимались видные русские учёные Л. С. Берг, И. П. Герасимов, К. И. Лисицын, В. А. Обручев, А. П. Павлов, Б. Б. Пылынов, П. А. Тутковский, В. Т. Трофимов и другие, создавшие ряд научных теорий об их происхождении, включая: эоловую, водно-ледниковую, пролювиальную, делювиальную, аллювиальную, почвенно-аллювиальную и др. [49]. Среди них распространение получили эоловая, водно-ледниковая и пролювиальная гипотезы. Однако единого мнения о происхождении лёссовых просадочных пород нет [1, 6, 22, 28, 33, 38, 58, 76].

В связи с интенсивным строительством в районах распространения лёссовых пород в нашей стране, наряду с приобретением практического геотехнического опыта, проводятся систематические фундаментальные исследования лёссовых грунтов, строительные свойства которых необходимо знать для обоснования условий генезиса лёссовых пород.

Специфические свойства лёссовых грунтов в основном определяются: крупными вертикально расположенными порами и каналами растительного и животного происхождения; способностью держаться вертикальными обрывами значительной высоты в открытых местах, подвергающихся действию атмосферных осадков; быстрой размокаемостью в воде; отсутстви-

ем мелкой слоистости; светлой окраской в сухом состоянии. Именно макропористая структура, по мнению Ю. М. Абелева [1], существенно влияет на деформационные, прочностные и фильтрационные свойства лёссовых пород, их анизотропию

По данным Ю. М. Абелева, М. Ю. Абелева [1], Г. А. Мавлянова [38], А. А. Мустафаева [45, 46] и других исследователей, коэффициент фильтрации лёссовых пород в вертикальном направлении равен $(3 \div 6) \cdot 10^{-6}$ см/с, а в горизонтальном направлении оказался равным $(1 \div 8) \cdot 10^{-8}$ см/с.

Особенность лёссовых пород состоит в том, что при водонасыщении и даже при увеличении влажности существенно усиливаются их деформационные (s и s_{sl}) и снижаются прочностные (φ и c) свойства. Резкое увеличение деформаций лёссовых пород под действием постоянной по величине нагрузки при увлажнении ($w \geq w_{sat}$) названо просадкой s_{sl} . Просадка лёссовых пород представляет собой неравномерные и большие деформации, преимущественно вертикального характера, происходящие вследствие существенного изменения их физико-механических свойств под влиянием воздействия влаги в условиях определённого напряжённого состояния. Основными условиями возникновения просадочных деформаций в лёссовых породах являются: высокая пористость, которая, как правило, более 45 % ($n > 45$ %); сравнительно большая, особенно в вертикальном направлении, водопроницаемость, обеспечивающая достаточно быстрое проникновение влаги вглубь толщи; проникновение в грунт воды в количестве, обеспечивающем создание увлажнённой зоны с влажностью, отвечающей данному виду грунта и его напряжённому состоянию; своеобразный гранулометрический состав, характеризующийся преобладанием пылеватых (обычно более 50 %) и незначительным содержанием глинистых фракций (до 20 %); наличие растворимых в воде солей (хлоридов, сульфатов и карбонатов).

Необходимо отметить работы в этой области Ю. М. Абелева, М. Ю. Абелева [1], В. П. Ананьева [6], А. А. Григорян [13], Н. И. Кригера [32], В. И. Крутова [34, 35], Г. А. Мавлянова [38], А. А. Мустафаева [45, 46] и других исследователей.

Лёссовые породы обладают рядом специфических особенностей, что определяется структурой этих грунтов, которая зависит от места слоя просадочного грунта в массиве, возможности замачивания, генезиса и других факторов. Некоторые виды лёссовых суглинков характеризуются способностью

к набуханию при замачивании без нагрузки. Величина давления набухания p , МПа, при невозможности подъёма верхнего штампа компрессионного прибора для суглинков составляет от 0,05 до 0,07 МПа. Величина относительного набухания ε_{sw} зависит от начальной пористости породы, её влажности и минералогического состава. Многие лёссовые суглинки, которые при замачивании без нагрузки являлись набухающими, после их нагружения и замачивания становились просадочными, при этом величина относительной просадочности ε_{sl} для лёссовых суглинков при вертикальном давлении на образец грунта $p = 0,3$ МПа составляла $\varepsilon_{sl} = 0,058$. Это означает, что склонность лёссовых суглинков к набуханию не свидетельствует о непросадочности грунтов.

Анализ результатов многочисленных исследований отечественных учёных по изучению количественных характеристик, приведённых в табл. 1.1 и 1.2, а также начальное просадочное давление p_{sl} и начальная просадочная влажность w_{sl} просадочных лёссовых пород в различных районах показывают, что для большинства из них характерно постоянное значение величины относительной просадочности ε_{sl} на глубину до 10 м. Глубже этой отметки, до 25—40 м, наблюдается снижение величины ε_{sl} . С увеличением влажности w наблюдается равномерное уменьшение величины ε_{sl} и начального просадочного давления p_{sl} .

Следовательно, просадочные грунты не могут служить прочным основанием под здания или сооружения без техногенного преобразования их строительных свойств как при капитальном строительстве, так и в условиях реконструкции. Обеспечение надёжности и эксплуатационной пригодности сооружений, возводимых на таких грунтах с помощью различных инженерно-технических мероприятий, приводит к удорожанию строительно-монтажных работ, увеличению расхода материалов и сроков строительства. В настоящее время применяются конструктивные, механические и физико-химические методы, обеспечивающие необходимую надёжность зданий и сооружений, возводимых на просадочных и других структурно-неустойчивых породах [1—5, 7—12, 28—29, 31, 35, 40—43, 47—49, 54—56, 58—68, 70, 76, 91, 109]. Выбор комплекса эффективных мероприятий в каждом конкретном случае является важной и сложной задачей. В условиях реконструкции наиболее приемлемым методом устранения полной или частичной просадки грунтов является его физико-химическое закрепление геотехническими

методами или армированием структурно-неустойчивого массива упрочнёнными элементами, закладываемыми в массив вертикально, горизонтально или наклонно. При передаче нормального давления от фундамента на упрочнённое закреплением или армированием грунтовое основание армирующие элементы, включаясь в совместную работу с окружающим их массивом грунта, снижают деформативность его укрепленной части, взаимодействуя с грунтом по боковой поверхности за счёт сил трения и сцепления, а также торцам за счёт сопротивления грунта, подстилающего закреплённый или армированный массив.

1.1. Определение типа грунтовых условий по просадочным свойствам

В соответствии с требованиями, изложенными в нормативной и справочной технической литературе [58—60, 76], основными характеристиками для проектирования оснований и фундаментов на просадочных грунтах, полученными при инженерно-геологических изысканиях, являются следующие.

1. Тип грунтовых условий по просадочности (I или II тип). Устанавливается расчётно-теоретическим или экспериментальным путём.

2. Относительная просадочность ϵ_{sl} при бытовом и фактическом давлении на грунт, а при изменении фактического давления более чем на 0,1 МПа — зависимость ϵ_{sl} от давления на грунт. Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

3. Величина начального просадочного давления p_{sl} . Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

4. Величина начальной просадочной влажности w_{sl} при медленном повышении влажности. Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

5. Модуль деформации при естественной влажности E и в водонасыщенном состоянии E_w . Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

6. Коэффициент изменчивости сжимаемости основания α . Определяется экспериментально в лабораторных условиях по методу одной или двух кривых.

7. Удельное сцепление c и угол внутреннего трения φ просадочных грунтов при естественной влажности и в водонасы-

щенном состоянии. Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

8. Удельное сцепление c и угол внутреннего трения φ в водонасыщенном состоянии уплотнённых просадочных грунтов до заданной плотности. Определяется экспериментально в лабораторных или полевых условиях.

В данном разделе рассматривается только первая из приведенных выше характеристик, устанавливающая определяемый расчётно-теоретическим путём тип грунтовых условий по просадочности. В зависимости от возможности проявления просадок грунта под его собственным весом грунтовые условия строительных работ подразделяются на два типа.

I тип — когда просадка грунта происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от нагрузки фундаментов или другой внешней нагрузки $s_{sl,p}$, а просадка от собственного веса $s_{sl,g}$ отсутствует или не превышает 5 см.

II тип — когда наряду с просадкой грунта от нагрузки фундамента в нижней части просадочной толщи возможна просадка грунта от его собственного веса на глубину более 5 см.

В качестве наглядного примера основные зоны деформации просадочного грунта в основании фундамента, по данным [58, с. 231], приведены на рис. 1.1.

Таблица 1.1

**Исходные данные для расчётного установления типа грунта
по просадочным свойствам**

№	Наименование показателей к расчёту	Обозначение	Единица измерения	Количество
1	Удельный вес частиц грунта	γ_s	кН/м ³	27,10
2	Удельный вес грунта	γ	кН/м ³	16,60
3	Удельный вес сухого (скелета) грунта $\gamma_d = \gamma / (1 + W)$	γ_d	кН/м ³	По расчёту
4	Пористость грунта $n = e / (1 + e)$	n	б/р	По расчёту
5	Природная влажность грунта	w	Д. %	0,15 15,0
6	Влажность грунта на границе раскатывания	w_p	доли ед. ¹ %	0,18 18,0

¹ Доли единиц.

№	Наименование показателей к расчёту	Обозначение	Единица измерения	Количество
7	Влажность грунта на границе текучести	w_L	доли ед. %	0,26 26,0
8	Модуль деформации просадочного грунта природной влажности	E_n	МПа кПа	12,000 12 000
9	Модуль деформации просадочного грунта в водонасыщенном состоянии	E_{sat}	МПа кПа	9,000 9 000
10	Относительная просадочность ϵ_{sl} при давлениях p , кПа:			
10.1	— при $p = 0,05$ МПа или $p = 50$ кПа	ϵ_{sl}	0,011	б/р
10.2	— при $p = 0,10$ МПа или $p = 100$ кПа	ϵ_{sl}	0,018	б/р
10.3	— при $p = 0,20$ МПа или $p = 200$ кПа	ϵ_{sl}	0,030	б/р
10.4	— при $p = 0,30$ МПа или $p = 300$ кПа	ϵ_{sl}	0,032	б/р
11	Удельное сцепление минеральных частиц грунта природной влажности	c	кПа	22,00
12	Угол внутреннего трения грунта природной влажности	φ	°	20

Таблица 1.2

**Литологическое строение инженерно-геологических элементов (ИГЭ¹)
строительной площадки**

№ ИГЭ	Наименование инженерно-геологических элементов	Мощность ИГЭ, м	Планировочная отметка земли $DL = 378,0$ м
ИГЭ-1	Растительный слой	0,20	$h_1 = 0,2$ м

¹ Мощность ИГЭ — линейный размер по высоте, измеряемый в метрах.

№ ИГЭ	Наименование инженерно-геологических элементов	Мощность ИГЭ, м	Планировочная отметка земли $DL = 378,0$ м	
ИГЭ-2	Лёссовидный суглинок, просадочный	24,0	$WL = 0,2$ м	2,200 м
			$h_2 = 24,0$ м	21,80 м
ИГЭ-3	Песок гравелистый (дресва)	8,00	$h_3 = 8,0$ м	
ИГЭ-4	Глина мягкопластичная	22,0	$h_4 = 22,0$ м	

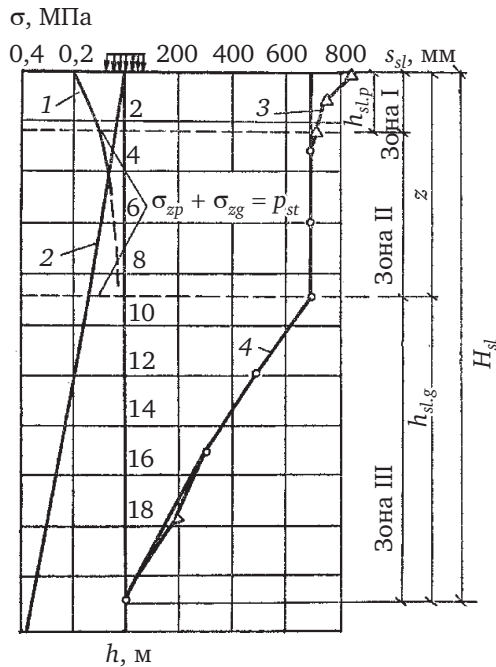


Рис. 1.1. Зоны деформации просадочного грунта в основании фундамента¹:

I — деформируемая зона; II — нейтральная зона; III — зона просадки грунта от собственного веса; 1 — эпюра вертикальных давлений от нагрузки фундамента; 2 — то же от собственного веса грунта; 3 — эпюра просадки грунта от нагрузки фундамента; 4 — то же от собственного веса грунта

¹ Источник: [58].

1.2. Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки для ИГЭ-2, проявляющего просадочные свойства

Определяем тип грунта по числу прочности I_p по формуле [29]

$$I_p = w_L - w_p, \text{ доли ед.}, \quad (1.1)$$

где $w_L = 0,26$ — влажность грунта на границе раскатывания, доли ед.; $w_p = 0,18$ — влажность грунта на границе текучести, доли ед.

Подставляя численные значения в (1.1), получаем $I_p = 0,26 - 0,18 = 0,08$ доли ед. или $I_p = 26 - 18 = 8 \%$. По табл. 11 [29] или аналогичным таблицам [16, 27, 28, 31], при расчётном значении $I_p = 0,08$ доли ед., находящемся в пределах нормируемых границ $0,01 < I_p = 0,08 < 0,17$, находим, что тип пылевато-глинистого грунта — суглинок.

Устанавливаем состояние грунта ИГЭ-2 по показателю текучести I_L , используя формулу [29]

$$I_L = (w - w_p) / (w_L - w_p), \text{ доли ед.}, \quad (1.2)$$

где $w = 0,15$ — природная или естественная влажность грунта, доли ед.

Подставляя численные значения в (2), получаем:

$$I_L = (0,15 - 0,18) / (0,26 - 0,18) = -0,35 < 0,$$

следовательно $I_L < 0$.

По табл. 13 [29] или [1, 16, 27, 28, 31], при расчётном численном значении $I_L = -0,35 < 0$, устанавливаем, что исследуемый грунт — суглинок находится в твёрдом состоянии.

Рассчитываем коэффициент пористости e грунта при его природной (естественной) влажности по формуле 1.3 [16] или по формуле

$$e = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_d, \quad (1.3)$$

где $\gamma_d = \gamma / (1 + W) = 16,6 / (1 + 0,15) = 14,43 \text{ кН/м}^3$ — удельный вес сухого (скелета) грунта.