

П. С. Пойта П. В. Шведовский
Д. Н. Клебанюк

Механика грунтов

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов
учреждений высшего образования
по специальностям
«Промышленное и гражданское строительство»,
«Экспертиза и управление недвижимостью»,
«Сельское строительство
и обустройство территорий»*

Минск

 «Вышэйшая школа»

2019

УДК 624.131(075.8)

ББК 38.58я73

П47

Рецензенты: кафедра «Строительные технологии и конструкции» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» (доцент кафедры кандидат технических наук *В.В. Талецкий*); профессор кафедры «Геотехника и экология в строительстве» строительного факультета Белорусского национального технического университета доктор технических наук, профессор, действительный член Академии строительства Украины *М.Н. Никитенко*

Пойта, П. С.

П47 Механика грунтов : учебное пособие / П. С. Пойта, П. В. Шведовский, Д. Н. Клебанюк. — Минск : Вышэйшая школа, 2019. — 280 с. : ил.

ISBN 978-985-06-3068-1.

Изложены основные аспекты механики грунтов, связанные с их физико-механическими свойствами, оценкой напряженного состояния, деформируемости и прочности грунтовых массивов, рассмотрены основные виды, состав, строение, физические свойства и классификационные показатели грунтов. Изложена теория предельного напряженного состояния грунтов и особенности ее практического применения. Особое внимание уделено видам и причинам деформаций оснований, зданий и сооружений, определению осадок фундаментов, особенностям прогноза их во времени.

Для студентов строительных специальностей. Может быть полезно работникам проектных и строительно-эксплуатационных организаций в их практической деятельности.

УДК 624.131(075.8)

ББК 38.58я73

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-3068-1

© Пойта П.С., Шведовский П.В.,
Клебанюк Д.Н., 2019

© Оформление. УП «Издательство
«Вышэйшая школа»», 2019



ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Прописные буквы

- A — площадь, амплитуда колебаний
 B — жесткость, ширина подвала, объекта, территории
 C — класс бетона, фиксированное значение, константа
 C_c — коэффициент компрессии
 C_x, C_x — коэффициенты жесткости основания упругого равномерного и неравномерного сжатия
 C_v — коэффициент консолидации
 C_ψ, C_ψ — коэффициенты равномерного и неравномерного сдвига
 D — диаметр круга
 DL — отметка планировки
 E, E_0 — модуль упругости, деформации
 EJ — жесткость фундаментной балки
 EJ_n — равнодействующая активного и пассивного давления грунта
 $E_{об}$ — модуль объемной деформации
 F — расчетное значение силы предельного сопротивления основания, сила, воздействие
 F_d — несущая способность сваи
 F_u — несущая способность грунта
 FL — отметка подошвы фундамента
 G — собственный вес, постоянное воздействие, модуль сдвига
 H — высота объекта, действующий напор
 H_c — глубина сжимаемой толщи
 HL — нижняя граница сжимаемой толщи
 I_p — показатель динамической уплотненности
 J — момент инерции
 J_p — относительная плотность
 J_t — показатель текучести (консистенции)
 J_p — число пластичности
 L — длина объекта или его частей
 M — изгибающий, крутящий момент, масса
 N — осевая (вертикальная) сила, нагрузка
 NL — отметка поверхности природного рельефа
 N_v, N_q, N_c — табличные коэффициенты несущей способности грунта
 Q — переменное воздействие
 R, R_1 — расчетное сопротивление грунта, радиус искривления поверхности основания, сооружения, длительная прочность грунта
 S — статический момент, внутреннее усилие, класс арматуры
 S — степень влажности
 T — горизонтальная сила, сила трения
 U — степень консолидации, показатель изменений
 V — поперечная (перерезывающая) сила, объем
 W — момент сопротивления, влажность, влагоемкость
 WL — уровень подземных вод
 X, Y, Z — оси координат

- Γ — гибкость фундаментной балки, интенсивность деформаций сдвига
 Θ — сумма нормальных напряжений

Строчные буквы

- a — расстояние, геометрический размер
 b — ширина (меньший размер) подошвы фундамента
 c — удельное сцепление
 c_1, c_2 — скорость распространения продольных, поперечных волн
 d — глубина заложения фундамента, диаметр круга, рабочая высота сечения
 e — коэффициент пористости, эксцентриситет
 f — прочность бетона (материала), коэффициент трения
 h — высота, толщина слоя грунта
 i — крен, обозначение элемента, гидравлический градиент
 k — поправочный коэффициент
 k_f — коэффициент фильтрации
 l — длина (большой размер) подошвы фундамента, размер (большой) пролета конструкций
 m — масса, коэффициент сжимаемости грунта, объем твердых частиц в единице объема
 m_0, m_0 — коэффициент сжимаемости, относительной сжимаемости
 n — пористость, число, отклонение, безразмерный параметр
 q — равномерно распределенная вертикальная нагрузка
 q_c — сопротивление грунта конусу при статическом зондировании
 p, p_e, p_{sw} — давление, давление связности, интенсивность нагрузки, структурная прочность
 p_0, p, p_u — эффективное, нейтральное, полное давление, предельная нагрузка
 p_k — капиллярное давление
 p_d — условное сопротивление грунта конусу при динамическом зондировании
 r — перемещение, радиус
 $s, \Delta s$ — осадка основания, разность осадок соответственно
 s_t — осадка во времени
 t — толщина, время
 u — периметр, горизонтальное перемещение, избыточное поровое давление
 v, v_f — скорость потока, фильтрации
 w — перемещение, ширина раскрытия трещин, угловая частота, влажность
 x, y, z — координаты, разность значений координат
 α — угол, отношение, доверительная вероятность, коэффициент затухания напряжений
 β, δ — угол, коэффициент, отношение
 γ — удельный вес
 $\gamma_p, \gamma_m, \gamma_q, \gamma_n, \gamma_c$ — коэффициенты надежности по нагрузке, материалу, грунту, назначению сооружения, условий работы соответственно

ε —	деформация (в том числе относительная)
ε_{st} —	коэффициент относительной просадочности
λ —	отношение, относительная неравномерность осадок
ν, ν_0 —	коэффициент бокового расширения (Пуассона), относительной погрешности деформации
ξ —	относительная глубина, коэффициент бокового давления грунта
ρ —	плотность, кривизна
$\sigma, \sigma_a, \sigma_p$ —	нормальные напряжения, активное и пассивное давление
τ —	касательные напряжения
ϕ —	угол внутреннего трения

Индексы

ν, h —	активные вертикальная и горизонтальная составляющие силы
crit —	критический
d —	расчетное значение
v —	восстановление
Δ —	область изменения (разность характеристик)
m —	материал, среднее значение, изгиб
max —	максимум
min —	минимум
sup —	верхнее значение
inf —	нижнее значение
u —	предельное значение
prp —	прогнозируемое давление при приложении нагрузок
natp —	природное давление

Единицы измерения

пространство — м (см, мм), м² (см², мм²), м³ (см³, мм³)

масса — кг, г

сила, вес — Н, кН, МН, ГН

момент силы — Н · м, кН · м

плотность — г/см³, кг/м³, г/м³

удельный вес — н/м³, кН/м³, МН/м³

напряжение, давление, прочность — Па, кПа, МПа

коэффициент фильтрации — м/сут

коэффициент постели — Н/м³, кН/м³

ПРЕДИСЛОВИЕ

Грунты основания обычно обладают в тысячи раз большей деформативностью и в сотни раз меньшей прочностью, чем материалы, из которых возводятся сооружения, поэтому надежная эксплуатация последних в значительной степени зависит от величины неравномерности деформаций грунтов оснований. Следствием неправильной оценки характера инженерно-геологических условий и строительных свойств грунтов часто являются большие деформации конструкций сооружений и даже их полное разрушение.

Деформации грунтов в основании в значительной степени зависят от нагрузки по подошве фундаментов. В связи с этим при проектировании фундаментов конструкции и размеры их в плане необходимо выбирать с учетом совместной работы грунтов основания и конструкций сооружений.

Стоимость работ по подготовке оснований и устройству фундаментов обычно составляет 5...10% общей стоимости объекта, а при сложных грунтовых условиях она может превысить 20%. Исходя из этого, основными задачами курса являются:

- правильная оценка потенциальных геодинамических процессов, свойств грунтов, возможности их деформации и потери устойчивости под действием нагрузок;
- разработка мер по уменьшению или исключению воздействия геодинамических процессов на возводимые сооружения;
- улучшение, в случае необходимости, строительных качеств грунтов для возможности использования их в основании;
- определение рациональных размеров фундаментов и вида подземных конструкций сооружений;
- выбор методов устройства фундаментов, при которых не нарушается структура грунтов в основании в период строительства.

Для успешного освоения курса «Механика грунтов», который является частью дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты», обязательно изучение следующих вопросов:

- оценка физико-механических свойств грунтов во всем их многообразии;
- определение напряженно-деформированного состояния грунтового основания под действием нагрузки, передаваемой от зданий и сооружений, и других факторов;
- оценка прочности грунтов, устойчивости грунтовых массивов против сползания, разрушения и давления грунта на ограждающие конструкции;
- прогноз полных осадок зданий и сооружений, разности осадок отдельных фундаментов, осадок во времени.

Выпускник университета должен уметь:

- правильно оценивать возможные геодинамические процессы, свойства грунтов, возможность их деформации и потери устойчивости под действием нагрузок;
- определять напряженно-деформированное состояние грунтовых массивов, прогнозировать его изменение в последующем;
- улучшать в случае необходимости строительные свойства грунтов для возможного использования их в основании;
- определять вид и рациональную конструкцию фундаментов и вид подземных конструкций сооружений;
- выбирать методы устройства фундаментов, при которых не нарушалась бы структура грунтов в основании в период строительства.

Кроме того, необходимы знания по инженерной геологии, сопротивлению материалов, теории упругости, строительной механике, строительным конструкциям, технологии строительного производства, технике безопасности и экономике.

Для более глубокого изучения курса и развития практических навыков в учебном пособии приведены нормативные ссылки (приложение 1), вопросы для самоконтроля (приложение 3), контрольные тесты (приложение 4) и справочные материалы (приложение 5).

Учитывая, что в ближайшем будущем возможен переход на европейские нормы проектирования, в приложении 2 приведены термины и основные обозначения согласно EN 1997-1:2004. Еврокод 7. Проектирование геотехническое.

Авторы искренне благодарят рецензентов — коллективы кафедр «Геотехника и экология в строительстве» (Белорусский национальный технический университет) и «Строительные технологии и конструкции» (Белорусский государственный университет транспорта) за участие в работе над рукописью. Особая признательность — доктору технических наук, профессору М.И. Никитенко и кандидату технических наук, доценту В.В. Талецкому, а также кандидату технических наук, доценту В.А. Сернову.

Также авторы благодарны за помощь в подготовке раздела 2 инженеру Г.П. Деминой, раздела 4 — инженеру В.Н. Дедок, раздела 7 — кандидату технических наук А.Н. Тарасевичу.

Любые замечания и предложения по улучшению пособия принимаются по адресу: 224017, г. Брест, ул. Московская, 267, БрГТУ.

ВВЕДЕНИЕ

Исторический обзор становления и развития дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты»

Умение устраивать основания и фундаменты появилось в глубокой древности и развивалось с искусством постройки самих сооружений.

Еще римский архитектор и военный инженер Витрувий (I в. до н.э.) в своем труде «Десять книг об архитектуре» подчеркивал важность устройства надежных фундаментов.

В эпоху феодализма трудом крепостных крестьян создавались замки, монастыри и города, для укрепления которых возводились высокие толстые стены и башни, передававшие значительное давление на основание. Примером таких сооружений может служить Московский Кремль, построенный из камня и кирпича в XV в.

Выдающийся итальянский зодчий эпохи Возрождения А. Палладио в своем трактате «Четыре книги об архитектуре» (1570) предостерегал строителей от ошибок, касающихся устройства фундамента, придавал особое значение вопросам их возведения на прочном основании. Он писал, что «из всех ошибок, происходящих на постройке, наиболее пагубны те, которые касаются фундамента, так как они влекут за собой гибель всего здания и исправляются только с величайшим трудом...». Поэтому он рекомендовал закладывать фундаменты в «твердой почве» на глубину, равную одной шестой высоты здания, а в слабых грунтах применять дубовые сваи и забивать их до «хорошей и крепкой земли». Если это невозможно, то он советовал применять «сваи длиной в одну восьмую вышины стены и толщиной в двенадцатую долю своей длины» и «ставить их настолько тесно, чтобы между ними не оставалось места для других, и вбивать ударами скорее частыми, чем тяжелыми, для того, чтобы земля под ними плотнее улеглась и лучше держала».

Следует отметить, что в старинных трудах по строительному делу и архитектуре встречаются лишь практические рекомендации, относящиеся к области фундаментостроения, которые были выработаны на основе многолетнего опыта. Вопросы же теоретического характера не освещались.

Французский ученый Ш.О. де Кулон впервые в 1773 г. предложил решение задачи о сопротивлении грунтов сдвигу и их давлении на подпорные стенки, которое не утратило своего значения и до настоящего времени. Но только в середине XIX в. был изобретен железобетон,

который вскоре нашел широкое применение в фундаментастроении. Что касается вклада в этой области русских ученых и специалистов, то следует отметить, что академик Н.И. Фусс (1801), изучая колесобразование на грунтовых дорогах, впервые высказал мысль о пропорциональной зависимости деформаций грунтов от нагрузки. Он считал, что эти деформации имеют остаточный характер и возникают лишь в пределах площади действия нагрузки. Такое же предположение было сделано и Э. Винклером в 1867 г., который считал деформации грунта упругими и ввел для определения их величины коэффициент пропорциональности, получивший название коэффициента постели. Однако в настоящее время его применение резко сократилось в связи с разработкой учеными более совершенной теории расчета фундаментных балок и плит на упругом (линейно деформируемом) основании.

Особое место среди печатных работ того времени занимает опубликованный в 1869 г. труд В.М. Карловича «Основания и фундаменты», который являлся первым научным трактатом в области данной специальности не только у нас, но и за рубежом.

Известный русский ученый В.И. Курдюмов в опытах на моделях впервые выявил криволинейный характер поверхностей скольжения, образующихся в сыпучих грунтах при вдавлении жесткого фундамента или штампа. Результаты этих исследований были опубликованы в его работе «О сопротивлении естественных оснований» (1889). П.А. Миняев также показал возможность применения теории упругости к расчету напряжений в сыпучих грунтах (1916).

Большой вклад в развитие фундаментастроения внес выдающийся советский ученый Н.М. Герсеванов. Ему принадлежат важнейшие разработки по различным проблемам механики грунтов, собранные в его сочинении «Основы динамики грунтовой массы» (1931) и в написанном им совместно с Д.Е. Польшиным труде «Теоретические основы механики грунтов и их практические применения» (1948). Герсеванов опубликовал формулу для определения сопротивления свай по результатам динамических испытаний (1917) и впервые высказал соображения о целесообразности перехода к расчету по допускаемым осадкам вместо расчета по допускаемым нагрузкам.

Вопросы оценки деформаций грунтов и расчета осадки фундаментов нашли свое развитие в трудах Н.М. Герсеванова, Н.А. Цытовича, В.А. Флорина, Н.Н. Маслова, М.Н. Гольдштейна, К.В. Егорова, Б.И. Далматова и других ученых. Исследования ползучести грунтов освещены в работах С.С. Вялова, С.Р. Месчана, Ю.К. Зарецкого, А.Я. Будина и др.

Много работ выполнено по оценке свойств и деформируемости структурно-неустойчивых грунтов. Деформациям вечномерзлых грун-

тов посвящены работы Н.А. Цытовича, С.С. Вялова и др.; лёссовых грунтов – работы Ю.М. Абелева, Н.Я. Денисова, А.К. Ларионова и др.; торфянистых грунтов – работы Л.С. Амаряна, Н.Н. Морарескула и др. Деформируемость грунтов при динамических воздействиях исследовалась Д.Д. Барканом, П.Л. Ивановым и Н.Н. Масловым.

В области расчета фундаментных балок и плит на упругом основании наиболее широко известны работы М.И. Горбунова-Пасадова, И.А. Симвулиди, Б.Н. Жемочкина и А.П. Синицина.

Многочисленные исследования посвящены оценке совместной работы несущих конструкций сооружений с деформируемым основанием. Этим вопросом занимались Б.Д. Васильев, С.Н. Клепиков, Д.Е. Польшин и А.Б. Фадеев.

Эти и многие другие исследования, выполненные советскими учеными, послужили основой для создания теории расчета и норм проектирования оснований по предельным состояниям.

За последние 30 лет фундаменты на естественном основании во многих случаях вытеснены свайными фундаментами. Большой вклад в развитие расчетов и применения свайных фундаментов внесли А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, Н.М. Герсеванов, В.Н. Голубков, Б.И. Далматов, Ф.К. Лапшин, А.В. Паталеев, Ю.В. Россихин, Ю.Г. Трофименков и др.

В Беларуси многочисленные исследования работы оснований и фундаментов под нагрузкой выполнены Ф.П. Винокуровым, Ю.А. Соболевским, Е.Ф. Винокуровым, П.Н. Макаруком, В.Е. Сеськовым, Д.Ю. Соболевским, И.А. Кудрявцевым, М.И. Никитенко, П.С. Пойтой, М.С. Грицуком, П.В. Шведовским, С.Д. Семенюком, В.С. Босаковым и др.

В настоящее время область строительной деятельности человека, связанную с грунтами, называют **геотехникой**. Геотехника объединяет инженерную геологию, занимающуюся исследованием грунтов; механику грунтов, создающую расчетные модели, проектирование фундаментов зданий и подземные сооружения, технологию производства работ по их устройству и мониторинг за ведением этих работ.

Основные понятия и определения.

Значение дисциплины в современном строительстве

Всякое сооружение передает действующие нагрузки, включая собственный вес, на основание.

Основание – это массив грунта, находящийся в силовом взаимодействии с сооружением или с подземной его частью.

Различают основания *естественные*, сложенные природными грунтами, и *искусственно улучшенные* (уплотненные, закрепленные и т.д.).

Располагать сооружение непосредственно на поверхности земли (на дневной поверхности) можно только в редких случаях, так как этому препятствуют особенности верхних слоев грунтов основания:

- их малая несущая способность;
- возможность вертикального перемещения под воздействием метеорологических факторов (пучение при промерзании, просадка при оттаивании, набухание при увлажнении, усадка при высыхании);

- возможность физического (выветриванием) и биологического (корнями растений и землярами) разрушения.

По указанным причинам необходимо устройство **фундамента** — конструктивного элемента здания, сооружения, передающего нагрузку от него на основание (рис. 1).

Фундамент *1* чаще всего располагают ниже поверхности земли *2*. Надземные конструкции *3* опираются на верхнюю плоскость фундамента — его обреза *4*. Нижнюю плоскость фундамента, опирающуюся на основание, называют подошвой *5*. В основании различают несущий слой грунта *6*, на который передается давление от фундамента, и подстилающие слои *7*.

Высота фундамента h_f — расстояние от подошвы до обреза фундамента — обычно несколько меньше глубины его заложения d , поскольку обреза фундамента располагают, как правило, ниже планировочной отметки (DL) поверхности земли около фундамента.

В настоящее время возводится больше многоэтажных (высоких) зданий и массивных (тяжелых) сооружений (здание Национальной библиотеки Беларуси, высотные жилые и административные здания в Минске, Бресте, Гомеле, Витебске, многоэтажные парковки автомобилей в Минске, «Подземный город» в Минске и др.). Кроме того, в промышленных зданиях часто устанавливается уникальное оборудование, не допускающее сколько-нибудь ощутимых взаимных смещений (электростанции, здания ТЭЦ и др.).

Все это предъявляет особые требования к основаниям и фундаментам, что обуславливает удорожание строительства, так как нагрузку от фундаментов приходится передавать на более плотные грунты. Однако при правильном прогнозе совместной деформации грунтов и конструкций возводимого сооружения можно найти оптимальное решение, обеспечивающее их надежность. Поэтому перед специалистом

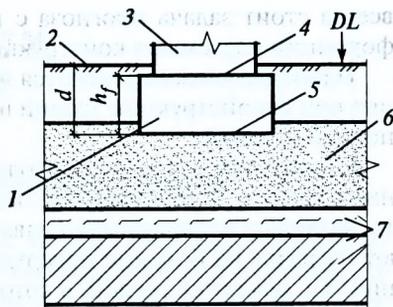


Рис. 1. Схема фундамента с основанием

всегда стоит задача прогноза с требуемой точностью совместной деформации надземных конструкций и основания.

Наиболее сложно решаются вопросы передачи нагрузки на основание при реконструкции зданий и сооружений, что связано со стесненностью условий.

Строителям все чаще приходится заглублять различное оборудование в грунт и даже устраивать подземные этажи. В таких случаях грунты не только воспринимают давление от сооружений, но и сами создают нагрузку на боковые поверхности заглубленных в грунт конструкций, т.е. являются средой, в которой приходится возводить такие конструкции.

Таким образом, при проектировании и возведении фундаментов и заглубленных в грунт частей сооружений специалист должен правильно оценивать инженерно-геологические условия строительной площадки, уметь решать задачи не только с позиции совместной работы сооружений с основаниями, но и в части оценки грунтов как среды, в которой возводятся конструкции.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Баркан, Д.Д.* Виброметод в строительстве / Д.Д. Баркан. М., 1959.
- Березенцев, В.Г.* Расчет оснований сооружений / В.Г. Березенцев. Л., 1970.
- Вялов, С.С.* Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. М., 1978.
- Гольдштейн, М.Н.* Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. М., 1973.
- Герсезанов, Н.М.* Собрание сочинений / Н.М. Герсезанов. М., 1958. Т. I, II.
- Далматов, Б.И.* Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. Л., 1988.
- Зарецкий, Ю.К.* Теория консолидации грунтов / Ю.К. Зарецкий. М., 1967.
- Малышев, М.В.* Механика грунтов, основания и фундаменты (в вопросах и ответах) / М.В. Малышев, Г.Г. Болдырев. М., 2004.
- Механика грунтов, основания и фундаменты: в 2 ч. / П.С. Пойта [и др.]. Брест, 2010. Ч. I.
- Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов [и др.]. М., 1994.
- Никитенко, М.И.* Инженерно-геологические изыскания в строительстве / М.И. Никитенко. Минск, 2005.
- Пойта, П.С.* Строительные свойства искусственных оснований / П.С. Пойта. Брест, 2004.
- Пьянков, С.А.* Механика грунтов / С.А. Пьянков. Ульяновск, 2018.
- Соколовский, В.В.* Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. М., 1960.
- Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Манчугиева. М., 2014.
- ТКП 45-5.01-254-2012(02250). Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Минск, 2012.
- ТКП 45-5.01-67-2007(02250). Фундаменты плитные. Правила проектирования. Минск, 2008.
- Тейлор, Д.В.* Основы механики грунтов / под ред. Н.А. Цытовича; пер. с англ. М., 1960.
- Терцези, К.* Теория механики грунтов / под ред. Н.А. Цытовича; пер. с англ. М., 1961.
- Цытович, Н.А.* Механика грунтов. Краткий курс / Н.А. Цытович. М., 1983.
- Шведовский, П.В.* Инженерная геология / П.В. Шведовский, В.Г. Фёдоров. Брест, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ, СОСТАВ И СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ	13
1.1. Строительная классификация грунтов	13
1.2. Состав грунтов	16
1.3. Вода в грунтах, ее виды и свойства	18
1.4. Газообразная составляющая грунта	20
1.5. Влияние состава грунта на физико-механические свойства	21
1.6. Структурные связи и строение грунтов	23
1.7. Структура и текстура грунтов	25
2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТОВ	26
2.1. Основные физические характеристики грунтов	27
2.2. Производные характеристики грунтов	29
2.3. Плотность сыпучих грунтов	32
2.4. Гранулометрический состав грунтов	33
2.5. Пластичность глинистых грунтов	35
2.6. Понятие об оптимальной плотности сухого грунта и оптимальной влажности грунта	36
3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ	37
3.1. Механические свойства грунтов	37
3.2. Сжимаемость грунтов	38
3.2.1. Физические представления	38
3.2.2. Компрессионная зависимость	39
3.2.3. Коэффициент относительной сжимаемости	41
3.2.4. Структурная прочность грунта	42
3.2.5. Закон уплотнения и линейная деформируемость грунта	44
3.2.6. Общий случай компрессионной зависимости	45
3.2.7. Определение модуля общей деформации грунта с помощью компрессионной кривой	47
3.3. Водопроницаемость грунтов	49
3.3.1. Закон ламинарной фильтрации	49
3.3.2. Понятие о начальном градиенте	50
3.3.3. Определение коэффициента фильтрации	51
3.3.4. Модель водонасыщенного грунта	52
3.3.5. Понятие об эффективном и нейтральном давлении	53
3.4. Сопротивление грунтов сдвигу. Закон Кулона	54

3.4.1. Сопротивление сдвигу сыпучих грунтов	55
3.4.2. Сопротивление сдвигу связных грунтов	56
3.4.3. Условия предельного равновесия сыпучих и связных грунтов	59
3.4.4. Испытание грунтов на сдвиг при простом и трехосном сжатии	61
3.5. Структурно-фазовая деформируемость грунтов	66
3.6. Полевые методы определения характеристик деформируемости и прочности грунтов	68
3.7. Особенности свойств структурно-неустойчивых грунтов	76
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОЙ ТОЛЩЕ	87
4.1. Напряжения от действия сосредоточенной силы (основная задача)	88
4.2. Напряжения от нескольких сосредоточенных сил	91
4.3. Определение сжимающих напряжений способом элементарного суммирования	91
4.4. Определение сжимающих напряжений по методу угловых точек	93
4.5. Влияние формы и площади загрузки	96
4.6. Распределение напряжений в случае плоской задачи	97
4.7. Распределение напряжений по подошве фундаментов (контактная задача)	101
4.8. Определение напряжений от собственного веса грунта	106
5. ТЕОРИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ	108
5.1. Понятие о предельном напряженном состоянии (равновесии) грунта	108
5.2. Уравнения предельного равновесия	108
5.3. Фазы напряженного состояния грунтов при возрастании нагрузки	109
5.4. Поверхности скольжения грунта	111
5.5. Начальная критическая нагрузка на грунт	112
5.6. Предельная нагрузка на грунт	115
5.7. Устойчивость грунтов в откосах и склонах	117
5.7.1. Основные понятия и причины нарушения устойчивости откосов	117
5.7.2. Устойчивость откоса сыпучего грунта	118
5.7.3. Устойчивость вертикального откоса в предельно связных грунтах	119
5.7.4. Устойчивость откосов по теории предельного равновесия	120
5.8. Графоаналитические методы расчета устойчивости откосов (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения)	122
5.9. Устойчивость прислоненных откосов	124
5.10. Меры борьбы с оползнями	126
5.11. Определение давления грунта на подпорные стенки	126
5.11.1. Конструкции подпорных стен	126
5.11.2. Аналитический метод определения давления грунта на подпорную стенку	128
5.11.3. Определение давления грунта на подпорные стенки методом теории предельного равновесия	131
5.11.4. Графоаналитический метод определения давления грунта на подпорную стенку	132

5.11.5. Построение эпюр давления грунта при сложном очертании задней грани стенки и слоистом напластовании грунтов.	135
6. ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ И ПРОГНОЗ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ	136
6.1. Виды деформаций грунтов и их причины	136
6.2. Упругие деформации грунтов и методы их определения	137
6.2.1. Условия возникновения упругих деформаций	137
6.2.2. Метод общих упругих деформаций	138
6.2.3. Метод местных упругих деформаций.	142
6.2.4. Обобщенные методы определения деформаций	144
6.3. Прогноз осадок фундаментов.	145
6.3.1. Общие положения.	145
6.3.2. Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке (основная задача)	146
6.3.3. Метод послыного суммирования	148
6.3.4. Метод линейно деформируемого слоя конечной толщины.	152
6.3.5. Метод эквивалентного слоя грунта	155
6.3.6. Определение крена плитных фундаментов.	158
6.4. Прогноз изменения осадок во времени	160
6.4.1. Общие положения.	160
6.4.2. Основные допущения фильтрационной консолидации.	161
6.4.3. Одномерная задача консолидации грунтов (основной случай)	164
6.4.4. Другие случаи одномерной задачи консолидации грунтов	166
6.4.5. Учет структурной прочности скелета грунта и сжимаемости газосодержащей поровой воды	172
6.4.6. Учет начального гидравлического градиента напора	173
6.4.7. Вторичная консолидация грунтов	175
6.4.8. Плоская и пространственная задачи теории фильтрационной консолидации грунтов	177
7. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГРУНТАХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ	186
7.1. Реологические явления в грунтах	186
7.2. Физические причины протекания реологических процессов в грунтах	188
7.3. Длительная прочность грунта и релаксация напряжений	190
7.4. Деформации ползучести грунта при уплотнении	191
7.5. Определение осадки во времени квазиоднофазных, двухфазных и многофазных грунтов	195
7.6. Инженерный метод прогноза суммарных осадок уплотнения и ползучести оснований фундаментов сооружений	196
7.7. Вопросы нелинейной механики грунтов	198
8. ДИНАМИКА ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ	200
8.1. Общие сведения о динамических воздействиях на грунт	200
8.2. Влияние отдельных факторов на свойства грунта при динамических воздействиях.	203

8.3. Модели основания при динамических воздействиях	207
8.4. Изменение свойств грунтов при динамических воздействиях	212
8.5. Учет динамических свойств грунтов при расчете фундаментов	216
8.6. Учет динамических свойств грунтов при расчете фундаментов на колебание	219
8.7. Определение упругих и демпфирующих характеристик естественного основания	221
8.8. Прочностные характеристики грунтов при динамических нагрузках	222
ГЛОССАРИЙ	224
ПРИЛОЖЕНИЯ	239
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	276

Учебное издание

Пойта Петр Степанович
Шведовский Петр Владимирович
Клебанюк Дмитрий Николаевич

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Учебное пособие

Редактор *Е. В. Савицкая*
Художественный редактор *Т. В. Шабунько*
Технический редактор *Н. А. Лебедевич*
Компьютерная верстка *Н. В. Шабуня*
Корректор *Т. В. Кульнис*

Подписано в печать 06.11.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,28. Уч.-изд. л. 16,05. Тираж 200 экз. Заказ 1814.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013. Пр. Победителей, 11, 220004, Минск.
e-mail: market@vshph.com http://vshph.com

Открытое акционерное общество «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/3 от 10.09.2018. Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск. Отпечатано: Филиал № 1 ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа». Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.
www.poligraph.by; e-mail: sales@poligraph.by

