

Владимирский государственный университет

Т. И. КРАВЧЕНКО В. В. ФИЛАТОВ Б. Г. КИМ К. А. ДУБОВ

**РАСЧЁТ ОДНОСЛОЙНЫХ
И МНОГОСЛОЙНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕД
ОТ ДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК
В ЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ**

Учебное пособие

Владимир 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

РАСЧЁТ ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕД ОТ ДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК В ЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ

Учебное пособие

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Строительство» (профили подготовки «Автомобильные дороги», «Промышленное и гражданское строительство») и магистров по направлению подготовки «Строительство» (программы магистерской подготовки «Теория и практика организационно-технологических и экономических решений», «Инновационные методы при проектировании и строительстве автомобильных дорог»)



Владимир 2016

УДК 624.13
ББК 38.581
P24

Авторы: Т. И. Кравченко, В. В. Филатов, Б. Г. Ким, К. А. Дубов

Рецензенты:

Кандидат технических наук
профессор кафедры автомобильных дорог
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Э. Ф. Семёхин

Кандидат технических наук
доцент кафедры строительных конструкций
Ивановского государственного политехнического университета
В. С. Ярыгин

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Расчёт однослойных и многослойных грунтовых сред от дей-
Р 24 **ствия внешних нагрузок в линейной постановке задач : учеб. по-**
сobie / Т. И. Кравченко [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г.
и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2016. – 123 с.
ISBN 978-5-9984-0658-4

Приведены методики расчётов решений плоских задач с использованием аналитических зависимостей критических усилий и максимальных глубин их проявления в слабых водонасыщенных грунтах. Методики расчётов с использованием численного метода позволяют составить наглядную картину напряжённо-деформированного состояния в слоистых грунтовых средах и с помощью аппроксимирующих зависимостей получить общую характеристику грунтового пространства на основании экспериментальных данных.

Предназначено для студентов различных форм обучения, обучающихся в бакалавриате и магистратуре по дисциплинам «Инженерная геология», «Механика слабых грунтов», «Основания и фундаменты инженерных сооружений».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 54 Табл. 30. Библиогр.: 57 назв.

УДК 624.13
ББК 38.581

ISBN 978-5-9984-0658-4

© ВлГУ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА	6
1.1. Характеристика слабых водонасыщенных грунтовых оснований сооружений	6
1.2. Влияние подземных вод на физические свойства грунтов	13
1.3. Фазы деформированного состояния грунтов в зависимости от статики нагружения	14
1.4. Развитие деформаций в глинистых грунтах различной консистенции при действии возрастающей нагрузки	17
1.5. Методы расчёта критических усилий в механике грунтов	26
Глава 2. РАСЧЁТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ И ОДНОСЛОЙНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕД	31
2.1. Треугольная нагрузка	32
2.2. Нагрузка по закону равнобедренного треугольника	38
2.3. Нагрузка по закону неравностороннего треугольника	49
2.4. Симметричная нагрузка	60
2.5. Комбинированная нагрузка	70
2.6. Выводы по выполненным исследованиям	81
Глава 3. АППРОКСИМАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ТРЕУГОЛЬНЫХ НАГРУЗОК	82
3.1. Постановка задачи методом наименьших квадратов	82
3.2. Нагрузка по закону равнобедренного треугольника	83
3.3. Нагрузка по закону неравностороннего треугольника	86

3.4. Симметричная нагрузка	87
3.5. Комбинированная нагрузка	89
3.6. Выводы по выполненным исследованиям	91
Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ	
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ	
ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ НА МОДЕЛЯХ	
СЛАБЫХ ГРУНТОВ	92
4.1. Результаты численных исследований	96
4.2. Выводы	96
Глава 5. РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ	
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	97
5.1. Расчёт устойчивости взлётно-посадочной полосы	
на участках залегания слабых грунтов	97
5.2. Расчет устойчивости участков приаэродромной	
территории	100
5.3. Выводы по выполненным расчётам	102
5.4. Расчет устойчивости насыпей, состоящих из отвалов	
продуктов переработки химической	
промышленности на слабом основании	102
5.5. Расчет устойчивости основания стального резервуара ..	109
5.6. Общие выводы	113
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	114
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК	118
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	122

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии приведено решение плоских задач от действия внешних вертикальных нагрузок на слабую грунтовую среду с оценкой критических усилий и максимальных глубин их проявления. Предварительно проведено изучение существующих методов оценки несущей способности слабых грунтов. В результате этого были учтены насущные проблемы, стоящие при проектировании оснований под инженерные сооружения на слабых водонасыщенных грунтах. Выполнено сопоставление результатов решений поставленных плоских задач для однослойных и многослойных водонасыщенных грунтовых сред от действия различных видов треугольных нагрузок на основание.

Исследования несущей способности слоистых водонасыщенных грунтов с помощью аппроксимирующих линейных зависимостей, полученных экспериментально и графически, дают возможность получить общую характеристику грунтового полупространства. Создана численная модель слоистого водонасыщенного грунта, подтверждающая начало развития упругопластических областей на определённых глубинах полупространства. В данном издании приведены примеры применения полученных методов оценки предельного состояния напряжённо-деформированного массива слабого грунта для расчётов оснований различных сооружений в строительстве, а также предлагается решить плоские задачи для различной ширины распределения полосовой внешней нагрузки. При описании различных конструктивных решений принята единая методика, используемая студентами специальностей промышленно-гражданского строительства (ПГС) при выполнении ими расчётно-графических и дипломных работ. Расчёт плоских задач рекомендуется проводить с использованием системных программ ЛИР-ВИЗОР и ГРУНТ. Результаты расчётов используются для проектирования оснований инженерных конструкций на слабых грунтах.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА

Проектировщикам часто приходится сталкиваться с комплексом проблем, возникающих при строительстве новых и реконструкции существующих инженерных сооружений в районах распространения слабых водонасыщенных, глинистых, торфяных грунтов и илах, которые занимают значительное пространство территории России. На основания, конструкции, здания и сооружения действует комплекс неблагоприятных факторов, динамические нагрузки, технологические или аварийные температуры, вызывающие снижение прочностных и деформативных свойств грунтов. Всё это оказывает решающее влияние на несущую способность и долговечность зданий и сооружений. Несмотря на успешное строительство и эксплуатацию промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах, на практике приходится сталкиваться с авариями и деформациями инженерных сооружений. Причина аварий кроется в неправильной информации о характеристиках сжимаемости, прочности, ползучести грунтов, которую дают существующие исследования. Все это требует более обоснованного подхода к учёту особых условий при проектировании и строительстве сооружений на слабых грунтах, определяет необходимость проведения научно-исследовательских и опытно-экспериментальных работ для изучения несущей способности грунтов в городских и сельских регионах.

В результате этих насущных проблем был выполнен расчёт устойчивости слабых однослойных и многослойных водонасыщенных грунтов оснований инженерных сооружений.

1.1. Характеристика слабых водонасыщенных грунтовых оснований сооружений

Анализ причин деформаций сооружений, расположенных на слабых грунтах показал, что их характеризуют основные особенности, специфичные для всей группы слабых грунтов, которые необходимо

учитывать при проектировании сооружений. Слабые грунты особенно широко распространены в северо-западных районах РФ, в геологическом прошлом освободившихся от ледникового покрова последнего континентального оледенения, в условиях избыточного увлажнения и затруднённого стока подземных и поверхностных вод. Эти грунты образуют залежи на дне, по берегам морей и озёр, в поймах и дельтах рек, на заболоченных водоразделах. Суммарная мощность толщ слабых грунтов сравнительно невелика, обычно не более 20 – 30 м; в ряде районов она достигает 50 м. По условиям образования и залегания слабые грунты можно разбить на три группы: морские и озёрные отложения, образующие слоистые толщи (пески, супеси, суглинки, глины, органо-генные и минеральные илы); покровные отложения, залегающие на плоских участках, на склонах и под склонами (торфяники, глинистый элювий коренных пород, размоченный лёсс, делювиальные отложения склонов, пролювий конусов выноса); техногенные отложения, залегающие в форме бугров, терриконов или во впадинах рельефа, в оврагах, в карьерах в форме карманов (городская свалка, отвалы промышленных отходов и др.).

С позиций механики грунтов слабые грунты характеризуются низкими показателями механических свойств. Им присуща избыточная увлажнённость, малая прочность, высокая сжимаемость и низкая несущая способность, приводящие к большим осадкам оснований, в результате влекущие аварии сооружений. В соответствии с [1] и [2] к слабым грунтам относят группу водонасыщенных глинистых грунтов, значение модуля общей деформации которых равно или меньше 5,0 МПа, а степень влажности больше 0,8, то есть более 80 % пор которых заполнены водой. Для большинства слабых грунтов значение угла внутреннего трения меняется от 0 до 14°, а значения коэффициента сцепления от 0,01 до 0,02 МПа.

К водонасыщенным глинистым грунтам относятся грунты различного происхождения (аллювиальные, морские делювиальные и т. д.), которые в результате литогенеза или других природных факторов стали сильносжимаемыми и водонасыщенными. К этой группе относят илы, ленточные глины, водонасыщенные лессовые макропористые и заторфованные грунты, а также некоторые другие виды глинистых грунтов.

Состав, структура, текстура, а следовательно, и свойства слабых водонасыщенных глинистых грунтов формируются в процессе их генезиса и изменяются под влиянием постгенетических процессов (диагенеза, эпигенеза и гипергенеза). При воздействии вибрации прочность этих грунтов понижается, т. е. появляются тиксотропные свойства. Осадки зданий, возведённых на таких грунтах, развиваются в течение десятков лет и достигают больших величин. При изучении отдельных видов слабых водонасыщенных глинистых грунтов необходимо применять генетический подход для установления закономерностей, присущих грунтам данного вида. Свойства слабых водонасыщенных глинистых и торфяных грунтов зависят от их минералогического состава. Кроме того на свойства этих грунтов влияют органические вещества, входящие в их состав. Присутствие большого количества органических веществ (более 10 %) в торфяных грунтах создаёт новые своеобразные свойства этих грунтов. Поэтому изучение торфов и заторфованных грунтов следует проводить по специальной методике, которая в некоторых случаях может отличаться от методики исследования слабых грунтов, не содержащих органических веществ.

Для определения физических характеристик и свойств слабых грунтов учёными проводились многолетние лабораторные исследования. Результаты этих исследований приведены в табл. 1.1 и 1.2 [1].

На основании [3] к слабым грунтам относятся типы слаболитифицированных био- и минерогенных грунтов, состоящих из торфов, заторфованных грунтов, сапропелей и морских илов. В генетическом отношении органические и органо-минеральные типы слаболитифицированных грунтов характеризуются общностью зарождения в водной или избыточно увлажнённой среде с протеканием сложных микробиологических и биохимических процессов распада органического вещества и осадконакопления в анаэробных условиях. Вследствие этих генетиколитологических причин таким грунтам присуща избыточная увлажнённость, низкая плотность, весьма незначительная прочность и сильная сжимаемость.

В соответствии с [3] категории слабых грунтов представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.1

Результаты исследований физических характеристик
слабых грунтов [1]

Грунт	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³	Влажность, %	Предел пластичности		Коэффициент пористости, e_0	Коэффициент сжимаемости, см ² /кгс	Количество органических веществ, %
				W_T	W_p			
Ил: речной (Архангельск),	2,68	1,55	72,5	75,6	39,2	1,98	0,22	5,6
озёрный (Красноармейск),	2,68	1,73	49,2	47,1	25	1,4	0,12	3,7
органоминеральный (Рига)	2,32	1,24	158	180,2	81,2	3,83	0,81	12,8
Лёсс (Грозный)	2,7	1,42	—	22,3	17,4	1,06	0,09	—
Лёсс (Оби-Кинск)	2,71	1,69	—	0,01	18	0,76	0,06	—
Паста: из глины неокома (Саратов),	2,71	1,55	77,2	75,8	37	2,09	0,24	—
из хвалынской глины (Волгоград)	2,69	1,69	67,3	61,6	26,4	1,81	0,17	—

Таблица 1.2

Физико-механические свойства слабых грунтов [1]

Грунт	Влажность, %	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³	Предел пластичности		Уплотняющее давление, кг/см ²	Коэффициент пористости e_0
				W_T	W_p		
Ил речной (Кашира)	52,9 – 54,95	2,6	1,63 – 1,66	49,7	29,7	0,2	1,36 – 1,43
Каолинит (паста)	50,1	2,68	—	56,6	39	0,5	1,26 – 1,3
Бентонит (паста)	106	2,68	—	120,2	40,1	0,5	2,62 – 2,68

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мальшев, М. В.* Механика грунтов / М. В. Мальшев, Г. Г. Болдырев. – Изд. 4-е, пер. и доп. – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2009. – 412 с. – ISBN 978-5-9282-0575-1.
2. Механика грунтов / А. А. Петраков [и др.]. – Макеевка (Украина) : Дон НАСА, 2004. – 79 с.
3. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83 // Строительные нормы и правила. – М. : Госстройиздат, 2000. – 40 с.
4. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 // Строительные нормы и правила. – М. : Стройиздат, 1995. – 63 с.
5. СП 121.13330.2012. Аэродромы. Актуализированная редакция СНиП 32.03.96 // Строительные нормы и правила. – М. : Минстрой России, 1996. – 59 с.
6. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 // Строительные нормы и правила. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 2003. – 36 с.
7. *Ухов, С. Б.* Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов. – М. : Высш. шк., 2007. – 566 с.

Учебное издание

КРАВЧЕНКО Татьяна Ивановна
ФИЛАТОВ Владимир Викторович
КИМ Борис Григорьевич
и др.

**РАСЧЁТ ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕД
ОТ ДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК В ЛИНЕЙНОЙ
ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ**

Учебное пособие

Редактор Е. В. Невская
Технический редактор С. Ш. Абдуллаева
Корректор В. С. Тверовский
Компьютерная верстка Е. А. Балясовой

Подписано в печать 31.03.16.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 7,21. Тираж 100 экз.

Заказ *28*

Издательство
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.