

В.В. Охотин

**Физические и механические
свойства грунтов в
зависимости от их
минералогического состава и
степени дисперсности**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
В11

В11 **В.В. Охотин**
Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности / В.В. Охотин – М.: Книга по Требованию, 2021. – 122 с.

ISBN 978-5-458-60924-1

ISBN 978-5-458-60924-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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

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

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

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



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Предисловие	5
Введение	6
Сыпучие грунты	
Порнистость	9
Фильтрация	23
Капиллярные явления в грунтах	26
Трение в сыпучих грунтах	29
Угол естественного откоса	29
Коэффициент внутреннего трения в грунтах	30
Трение во фракциях окатанного кварца	33
Трение во фракциях остроугольного кварца	39
Трение во фракциях полевого шпата	44
Трение во фракциях слюды	46
Трение в смесях	51
Трение в смеси остроугольного кварца со слюдой	51
Трение в смеси с малой пористостью	53
Способность грунтов удерживать битумы	55
Связные грунты	
Удельная поверхность грунтов	60
Метод определения максимальной гигроскопичности грунтов	62
Определение удельной поверхности грунтов по их гигроскопичности	66
Характеристика «активной» поверхности грунтов по набуханию	73
Влияние активной поверхности на физические свойства грунтов	80
Трение и сцепление в связных грунтах	81
Временное сопротивление сжатию грунта в зависимости от условий уплотнения	90
Влияние обменных оснований на физические и механические свойства грунтов	95
Заключение	114

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большая часть экспериментов по настоящей работе была проведена мною в грунтовой лаборатории Центрального дорожного научно-исследовательского института (ЦДОРНИИ).

Ближайшими моими помощниками были Г. Ф. Богданов, В. Л. Демидов и А. И. Кульвинская. В. Л. Демидовым кроме тех разделов, по которым участие его отмечено в тексте, был выполнен ряд опытов для выяснения влияния обменных оснований на механические свойства грунтов. Г. Ф. Богдановым проведены опыты по вопросу трения и сцепления в связных грунтах и А. И. Кульвинской — опыты по определению способности грунтов удерживать битумы.

В 1936 г. экспериментальные работы, в части изучения физико-механических свойств сыпучих грунтов, проводились на кафедре грунтоведения Института земной коры при Ленинградском государственном университете.

В проведении опытов приняли участие Ш. Ф. Бутц по определению коэффициента фильтрации, И. М. Шерстобитов по определению пористости, Е. М. Лазаревская, Г. Г. Тюменев и Н. А. Борисов по определению коэффициента внутреннего трения.

При оформлении работы мною были получены ценные указания от М. И. Сумгина.

Всем вышеуказанным лицам приношу глубокую благодарность.

В. Охотин

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия вследствие запросов строительства появился среди исследователей большой интерес к изучению грунтов и, прежде всего, тех их свойств, которые влияют на устойчивость сооружений. При изучении строительных свойств грунтов отчетливо выяснилось, что они существенным образом обуславливаются физическими и механическими свойствами. Пластичность, прилипание, усадка, временное сопротивление сжатию, коэффициент внутреннего трения являются важными характеристиками грунта как строительного материала.

Отдельные физические и механические свойства грунтов, степень их выраженности находятся между собой в тесной связи. Так например, высокопластичные грунты всегда обладают большой липкостью, большим временным сопротивлением сжатию, сильно набухают в воде и т. д.

Из наличия тесной связи между отдельными свойствами вполне естественно вытекает стремление к установлению того, какие из них являются основными, характеризующими природу грунта, и какие функциональными.

Деление свойств грунтов на основные и функциональные является весьма важным вопросом с точки зрения методики исследования грунтов. Зная основные свойства грунтов и степень их влияния на функциональные, можно по основным свойствам с большой степенью достоверности предсказывать функциональные свойства. В то же время создание научно-обоснованной классификации грунтов возможно только тогда, когда известны их основные свойства, ибо всякая рациональная классификация должна базироваться на совокупности основных свойств, присущих классифицируемым объектам.

В почвенной и грунтоведческой литературе уже имеются попытки к разделению свойств грунтов на эти две категории. Так, проф. С. Захаров (курс почвоведения) к основным свойствам относит удельный и объемный вес, пористость, связность, пластичность и к функциональным — водопроницаемость, водоподъемную способность и тепловые свойства.

При выделении основных свойств, нам кажется, нужно отнести к ним те, которые обуславливают собой наличие других свойств и в то же время являются независимыми от последних. К таким основным свойствам мы относим гранулометрический состав, минералогический состав и

химизм грунтов, понимаем под последним, в первую очередь, способность грунтов к реакциям взаимного обмена, величину и характер оснований, обуславливающих эти реакции. Так, если взять свойство пластичности, то оно, как уже в настоящее время с несомненностью выяснено, зависит от гранулометрического состава грунта: пески являются непластичными, тогда как в тонкодисперсных глинах это свойство выражено в наивысшей степени. Не в меньшей степени от гранулометрического состава выявлена зависимость связности, прилипания, усадки и других свойств.

Зависимость физико-механических свойств грунтов от их гранулометрического состава обуславливается тем, что всякий грунт представляет собой многофазную дисперсную систему, общая же энергия всякой дисперсной системы складывается из внутренней энергии и поверхностной. Поверхностная энергия пропорциональна удельной поверхности дисперсной фазы и величина ее тем больше, чем мельче раздроблена эта фаза. Поверхностная энергия, как свободная энергия, может совершать работу, отсюда — чем большей поверхностной энергией будет обладать грунт, тем в большей степени будут в нем выявлены свойства, обусловленные этой энергией, как например, пластичность, прилипание и др.

Не менее ясна зависимость физико-механических свойств от минералогического состава. Различные минералы обладают разной формой, твердостью, упругостью, поэтому грунты из разных минералов должны обладать и неодинаковыми свойствами, при тождестве всех других условий. Однако это различие, ясное в крупночастичных грунтах, должно постепенно сглаживаться с увеличением степени дисперсности, если принять во внимание, что в природе частицы грунтов покрыты пленкой воды. Значение пленки воды, ничтожное в крупнозернистом материале, будет увеличиваться с уменьшением диаметра частиц; пленка воды, обладая определенной толщиной, будет нивелировать формы различных минералов. Положим, имеется пластинка слюды с отношением наибольшего и наименьшего диаметров 10:1. При условии, что малый диаметр имеет толщину, во много раз большую толщины водной пленки (это будет иметь место, когда частицы крупные), наличие последней почти не изменит соотношений между диаметрами системы — частица + водная пленка, т. е. не будет влиять на форму. Совсем другое получится, когда диаметры слюды будут близки к толщине водной пленки. Положим, что меньший диаметр пластинки слюды в 3 раза тоньше водной пленки. При этом условии, если соотношение диаметров частицы останется прежним, т. е. 10:1, соотношение диаметров системы — частица + водная пленка будет другим, а именно, оно будет 16:7, т. е. форма этой системы ближе к шару, чем форма самой частицы. Отсюда можно думать, что при высокой степени дисперсности частиц грунтов более важное значение в отношении физико-механических свойств имеет величина их поверхности и меньшее — форма частиц, тогда как в грубодисперсных грунтах с изменением их размеров, абсолютные величины поверхности остаются очень малыми, и поэтому значение поверхности в них небольшое. Точно так же с увеличением дисперсности грунтов должно падать в них и значение свойства упругости. Крупные частицы, обладающие большой упругостью, при внешних на них воздействиях, легко изменяют свою форму

и свое взаимное расположение и, благодаря этому, могут обуславливать большие деформации грунта. Разница же в размерах очень малых частиц в различных направлениях сглаживается, взаимное положение одной частицы относительно другой становится более безразличным, а поэтому и деформации грунтов будут меньшими.

Влияние обменных оснований самих по себе на физико-механические свойства грунтов до настоящего времени еще не выяснено. Можно считать твердо установленным, что с изменением состава поглощенных оснований свойства грунтов резко изменяются; так например, грунт, насыщенный кальцием, являющийся по своим свойствам суглинком, при насыщении его натрием, превращается в тяжелую глину. Однако, здесь зависимость сложная — с изменением состава обменных оснований в грунтах изменяется в последних и степень дисперсности, и потому вопрос остается нерешенным, что же влияет и в какой степени на свойства грунта: изменение ли дисперсности, или же обменного основания, а если влияют оба фактора, то в какой степени каждый из них.

В своей работе мы сделали попытку выяснить, как влияет на физические и механические свойства грунтов их минералогический состав, дисперсность и обменные основания.

СЫПУЧИЕ ГРУНТЫ

При изучении физических и механических свойств сыпучих грунтов мы стремились выяснить влияние на эти свойства минералогического и гранулометрического их состава и формы частиц. В этих целях были взяты минералы — кварц, слюда (мусковит) и полевой шпат (ортоклаз), как составляющие основную часть природных грунтов. Минералы были взяты в кусках и дробились ударами. При рассмотрении полученных фракций в микроскопе оказалось, что все они делились в основном по плоскостям спайности, и форма частиц, присущая каждому минералу, сохранилась во всех фракциях, включая и самую мелкую — 0,06—0,01 мм. Попытка измельчать минералы в шаровой мельнице не привела к удовлетворительным результатам, так как во время дробления остроугольные грани частиц сглаживались, и в результате получалась большая окатанность частиц. Окатанным кварцем при испытаниях служил песок, привезенный с реки Саблинки. Так как в этом песке имелись только фракции $< 0,5$ мм, то для получения более крупных был взят вольский песок. Все материалы были разделены тщательным просеиванием на ситах на фракции 2—1; 1—0,5; 0,5—0,25; 0,25—0,1 и 0,1—0,06 мм, фракция же 0,06—0,01 мм была получена отмучиванием. Во всех полученных фракциях были определены пористость, коэффициент фильтрации, высота капиллярного поднятия, угол естественного откоса, коэффициент внутреннего трения и в некоторых — способность удерживать битумные вещества.

Пористость

Пористость грунтов есть величина непостоянная, она сильно изменяется от степени уплотнения, поэтому нами определялись только крайние пределы — пористость в рыхлом состоянии и пористость в уплотненном состоянии. При определении пористости в рыхлом состоянии грунт насыпался в измерительный цилиндр через воронку, укрепленную в штатив, носик которой находился на расстоянии 20 см от дна цилиндра.

В уплотненном состоянии пористость грунтов определялась как в измерительном цилиндре, так и в плоскодонном колбообразном пикнометре. Уплотнение производилось постукиваниями резинового молоточка о боковые стенки сосуда и заканчивалось каждый раз после того, когда грунт переставал изменять свой объем. При определении пористости в измерительном цилиндре и пикнометре, как будет видно из нижеприведенных таблиц, величины пористости получаются неодинаковые, в пикнометре в большинстве случаев пористость была меньше.

При определении пористости отдельных фракций окатанного кварца в рыхлом состоянии средняя ошибка не превосходила 1,32 и в уплотненном состоянии — 0,7%. Цифры пористости окатанного кварца приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр фракций в мм	Пористость в %		
	Рыхлое состояние	Уплотненное состояние	
		в цилиндре	в пикнометре
2—1	36,06	33,40	—
1—0,5	36,30	33,63	34,09
0,5—0,25	39,66	33,42	33,76
0,25—0,1	44,80	34,35	33,66
0,1—0,06	44,53	39,60	35,93

Рассматривая цифры пористости в рыхлом состоянии, можно заметить, что с уменьшением диаметра фракций пористость постепенно увеличивается, что же касается пористости в уплотненном состоянии, то она имеет почти одинаковую величину, примерно равную 34% для всех фракций за исключением самой мелкой 0,1 — 0,06 мм, в которой пористость на 2% больше. Как известно, пористость идеальных шаров в наиболее плотном состоянии, когда они располагаются так, что один находится над четырьмя другими, равна 25,95%. Сравнивая пористость в наиболее уплотненном состоянии частиц окатанного кварца с пористостью шаров, видим, что она значительно больше, отсюда можно заключить, что форма частиц значительно отличается от формы шара.

Пористость остроугольного кварца, полученного дроблением кусков, значительно больше таковой окатанного, как это видно из таблицы 2, причем она постепенно увеличивается как в рыхлом, так и в уплотненном состоянии с уменьшением размеров фракций.

Таблица 2

Диаметр фракций в мм	Пористость в %		
	Рыхлое состояние	Уплотненное состояние	
		в цилиндре	в пикнометре
2—1	47,63	37,9	37,39
1—0,5	47,10	40,61	38,79
0,5—0,25	46,98	41,09	40,08
0,25—0,1	52,47	44,82	42,62
0,1—0,06	54,60	45,31	43,08
0,06—0,01	55,99	45,68	39,60

Пористость фракций остроугольного полевого шпата, полученных тем же путем, что и фракции остроугольного кварца, приведена в таблице 3.

Таблица 3

Диаметр фракций в мм	Пористость в %		
	Рыхлое состояние	Уплотненное состояние	
		в цилиндре	в пикнометре
2 — 1	47,5	45,46	44,45
1 — 0,5	51,98	47,88	46,26
0,5 — 0,25	54,76	49,18	47,20
0,25 — 0,1	58,46	51,62	49,23
0,1 — 0,06	61,22	52,72	51,38
< 0,06	62,53	—	—

Из полученных результатов видно, что пористость полевого шпата, как и в остроугольном кварце, постепенно растет с уменьшением диаметра фракций, причем абсолютные цифры пористости выше таковых кварца, что, очевидно, связано с различием в форме частиц.

Пористость отдельных фракций слюды приведена в таблице 4. Из таблицы видно, что характер изменения пористости в данном случае совсем не тот, который наблюдался в кварце и полевоом шпате; в слюде пористость уменьшается с уменьшением диаметра фракции как в рыхлом так и в уплотненном состоянии. Абсолютные цифры пористости значительно выше, чем во всех ранее исследованных грунтах из других минералов.

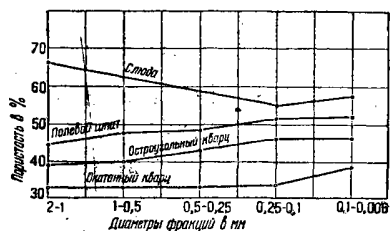
Таблица 4

Диаметр частиц в мм	Пористость в %	
	Рыхлое состояние	Уплотненное в пикнометре
2—1	87,0	80,46
1—0,5	85,18	75,20
0,5—0,25	83,71	72,16
0,25—0,1	82,74	66,30
0,1—0,06	82,98	68,98
0,06—0,01	—	65,33

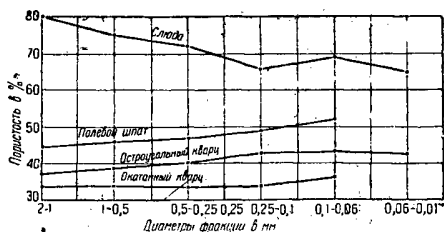
Если величины пористости для всех фракций кварца, полевого шпата и слюды нанести в системе прямоугольных координат, отложив по оси

абсциссы диаметры фракций и по оси ординат — пористость в процентах, то получаются кривые, изображенные на фиг. 1 и 1а. На фиг. 1а приведены пористости фракций под нагрузкой 10 кг/см^2 .

Как видно из чертежа, различие в пористости фракций из всех исследованных минералов с уменьшением диаметров фракций уменьшается.

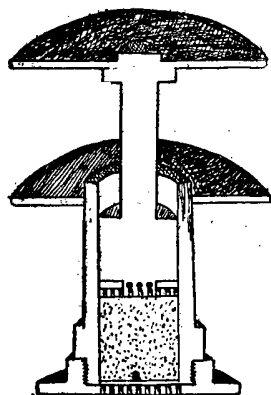


Фиг. 1. Пористость фракций слюды, полевого шпата и кварца.



Фиг. 1а. Пористость фракций слюды, полевого шпата и кварца под нагрузкой 10 кг/см^2 .

Ввиду того, что пористость грунтов может изменяться от нагрузки, под которой находится грунт, нами были поставлены опыты для выяснения того, каким образом изменяется пористость от постепенно увеличивающейся нагрузки на грунты из отдельных фракций кварца, слюды и полевого шпата. Одновременно с этим был затронут вопрос и о величине упругих и остаточных деформаций в слюдястых грунтах.



Фиг. 2. Форма Цытовича для определения зависимости пористости от давления.

Пористость под нагрузкой изучалась в форме Цытовича¹ для определения в грунтах зависимости между давлением и влажностью. Для удобства измерений на форму и поршень были надеты наглухо кольца, расстояние между которыми во время опыта измерялось штангенциркулем с точностью до $0,01 \text{ мм}$ (фиг. 2).

Изменение пористости отдельных фракций окатанного кварца под статической нагрузкой приведено в таблице 5, в которой приведены как абсолютные цифры, так и цифры, представляющие собой проценты от пористости грунта под нагрузкой в $0,05 \text{ кг/см}^2$, каковая принята за 100%.

Как видно из приведенных результатов, пористость всех фракций, предварительно утрамбованных постукиванием о форму, под влиянием статической нагрузки изменяется очень мало. Уменьшение пористости в абсолютных цифрах не превосходит $1,27\%$ и в относительных цифрах, отнесенных к начальной пористости, $3,8\%$. При этом, как это можно было наблюдать во время опытов,

¹ Н. А. Цытович, Основы механики грунтов. 1934 г.