

ВЛИЯНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ВЛАГОЕМКОСТИ НА УПЛОТНЕНИЕ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Ю.Ф.Тугаенко, М.В.Марченко, Л.Г.Абуладзе

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г.Одесса, Украина*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями

В статье изложены результаты определения необратимой части осадки штампа в результате остаточных деформаций уплотнения и поперечного расширения грунта. В действующих нормативных документах ее значение определяется с учетом механики сплошных сред в пределах линейной зависимости осадки от давления.

Учет процессов уплотнения позволяет оценить деформации грунтов при давлениях превышающих предел пропорциональности.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, на которые ссылаются авторы

Решение отдельных вопросов состояния фазовых компонентов в грунтовой среде, определяющих их деформирование рассмотрены рядом ученых [1...4]. По результатам их исследований определены характеристики твердой фазы. Установлено влияние размеров частиц на взаимодействие их с водой. В жидкой фазе выделены ее компоненты молекулярно связанной, капиллярной и гравитационной влагоемкости. Определены свойства газовой фазы. По результатам натурных исследований установлено влияние изменений емкостей фазовых компонентов на процессы деформирования грунтов.

Результаты исследований свойств фазовых компонентов использованы при оценке выполненных натурных исследований деформирования грунтов в основаниях опытных фундаментов в условиях капиллярной влагоемкости [6...9].

В статье, по результатам выполненных лабораторных исследований, сделана оценка сжимаемости грунтов как следствие изменения соотношений емкостей фазовых компонентов под влиянием внешней нагрузки.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья

Вопросы оценки сжимаемости грунтов по результатам определения изменений соотношения емкостей фазовых компонентов в грунтовой среде под влиянием внешней нагрузки в лабораторных условиях ранее не изучались. Статья посвящена результатам исследований выполненных в лабораторных условиях с учетом характеристик фазовых компонентов и их трансформации под влиянием нагрузки.

Цель работы - экспериментальное обоснование изменения соотношений емкостей фазовых компонентов под влияние внешней нагрузки и их использование для количественной оценки остаточных деформаций, вызванных уплотнением.

Изложение основного материала исследований.

Общие положения

Грунтовая среда является трехфазной системой состоящей из минеральных частиц, воды и газа. Соотношения между ними изменяются под влиянием природных и антропогенных факторов.

Твердая фаза Δm – объем минеральных частиц. К особенностям ее свойств можно отнести: дисперсность грунтовой среды; минералогический состав; форму и размеры частиц.

Жидкая фаза Δw – объем воды в порах состоит из нескольких компонентов: молекулярно-связанной воды удерживаемой силами электро-молекулярного притяжения, которую нельзя удалить механическим путем. Для лессовых грунтов максимальная молекулярная влагоемкость достигается при весовой влажности равной 0,16; капиллярной влагоемкости, характеризующейся двумя состояниями: стыковым – заземленная вода и четочным – заземленный газ; гравитационной воды, которая перемещается в порах грунта под влиянием гравитационного поля земли. [1 – 4].

Газовая фаза Δg является однокомпонентной средой, но в процессе уплотнения может находиться в свободном и заземленном состояниях. Под влиянием геологических и внешних факторов возникают процессы изменения состояния этой фазы, в результате эффузии, сжатия и диффузии.

Зависимости для определения емкостей фазовых компонентов в единице объема приведены в табл.1 .

Таблица 1. - Определение емкостей фазовых компонентов в долях единицы грунта

Фазы и фазовые компоненты	Обозначения	Зависимости для определения
Объем частиц	Δm	$\Delta m = \rho_d / \rho_s$
Объем пор	Δn	$\Delta n = 1 - \rho_d / \rho_s$
Вода, всего	Δw	$\Delta w = S_r \cdot \Delta n$
Молекулярная	Δw_m	$\Delta w_m = S_{r,m} \cdot \Delta n$
Гравитационная	$\Delta w_{гp}$	$\Delta w_{гp} = \Delta w - \Delta w_m$
Газоёмкость	Δg	$\Delta g = \Delta n - \Delta w$

Примечание. Δw_m - молекулярная влагоёмкость, ее максимальное значение в лессовых грунтах достигается при весовой влажности $w = 0,16$ [1...3],

Δ - ёмкость фазового компонента в единице объема грунта.

Методика проведения исследований

Испытания проведены на компрессионном приборе, переоборудованном для приложения нагрузки в условиях возможности поперечного расширения.

При площади образца 60 см^2 нагрузка прикладывалась штампом площадью 15 см^2 . Испытания проведены на образцах грунтов природной влажности и увлажненных до максимального значения поднятой и подвешенной капиллярной влагоёмкости. Схема прибора показана на рис. 1.

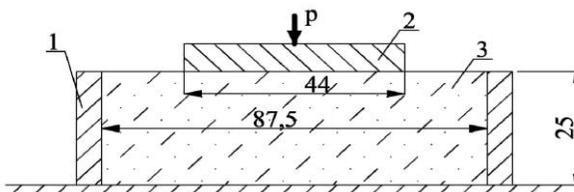


Рис. 1. Схема прибора для испытаний с возможностью поперечных деформаций. Размеры в мм. 1 - кольцо прибора; 2 - штамп; 3- образец грунта

Методика капиллярного увлажнения

До начала испытаний влажность образца повышалась до значения максимальной капиллярной влагоёмкости. Ее значение зависит от условий водонасыщения. А.Ф.Лебедевым выделены два вида капиллярной влагоёмкости поднятая и подвешенная [1]. Условия формирования капиллярной влагоёмкости оказывают влияние на

соотношения в порах объемов газа и гравитационной (капиллярной) части воды. Схема увлажнения приведена на рис. 2.

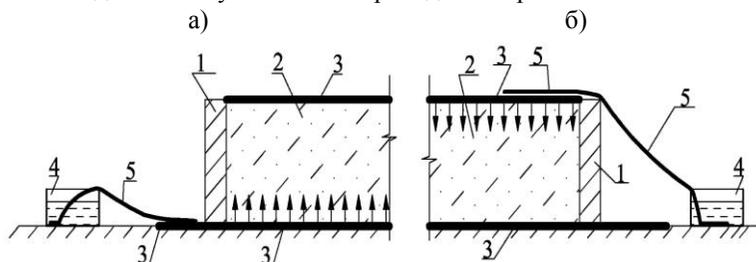


Рис. 2. Схемы капиллярного увлажнения: а) поднятого; б) подвешенного.

1 - кольцо прибора; 2 - образец грунта; 3 - хлопчатобумажная ткань (фильтровальная бумага); 4 - емкость с водой; 5 - фитиль из хлопчатобумажной ткани

Для создания капиллярно-поднятой влагоемкости образец грунта, подготовленный к испытанию устанавливался на два слоя фильтровальной бумаги, либо хлопчатобумажной ткани. Рядом помещалась емкость с водой из которой фитилем из хлопчатобумажной ткани вода поступала на водопроницаемую прокладку. Длительность капиллярного увлажнения не превышала 2 часов. Подача воды прекращалась после увлажнения верхней поверхности образца. Количество воды в емкости принималось в двойном объеме от необходимого для достижения коэффициента водонасыщения равного 0,9. Схема увлажнения приведена на рис.2,а.

Капиллярно-подвешенная влагоемкость создавалась путем подачи воды с помощью фитиля на верхнюю поверхность образца, покрытую фильтровальной бумагой или тканью. Увлажнение длилось до появления влаги на нижней водопроницаемой прокладке. Схема приведена на рисунке 2,б.

Определение массы воды образовавшей капиллярную влагоемкость производилось взвешиванием кольца с образцом грунта до и после увлажнения.

Методика испытаний

Нагрузка к штампу прикладывалась ступенями. Первые ступени до давления 0,025МПа приняты с интервалом 0,005МПа, до давления 0,15 МПа – 0,025, а после 0,15 МПа – 0,05 МПа. После условной стабилизации на каждой ступени нагрузки производилась разгрузка, с измерениями остаточных деформаций. Это позволило определить на каждой ступени нагрузки полную величину осадки, ее остаточную и упругую составляющие.

После окончания испытаний определены влажность и плотность скелета сжимаемого объема. С этой целью вырезался цилиндр диаметром равным диаметру штампа на всю высоту образца.

Влияние капиллярной влагоемкости на соотношения емкостей фаз и фазовых компонентов

В проведенных опытах применены два вида увлажнения: капиллярно–поднятое и подвешенное. Капиллярно–поднятое возникает в результате поднятия над уровнем подземной воды, а капиллярно–подвешенное при ее инфильтрации из поверхностных источников.

На изменение соотношений емкостей фазовых компонентов в единице объема грунта под влиянием внешней нагрузки оказывают влияние условия образования капиллярной влагоемкости.

В опытах 59 и 60 выполнено предварительное увлажнение образцов грунта для последующих испытаний путем создания капиллярно–поднятой влагоемкости, а в опытах 52 и 61 – капиллярно подвешенной.

При капиллярно–поднятой влагоемкости, поднимающаяся вода вытесняет газ заземляя часть его объема в порах грунта (таблица 2 и рисунок 4, позиции 5;6 и 8;9).

Формирование капиллярно подвешенной части воды сопровождается продвижением фронта увлажнения сверху-вниз, ограничивая вытеснение газа (табл.2, рис.5 позиции 11;12 и 14;15).

Условия продвижения фронта капиллярного увлажнения оказывают влияние на изменение емкостей компонентов. Так в выполненных исследованиях среднее значение коэффициента водонасыщения при капиллярно–поднятой влагоемкости составило 0,83, а количество газа снизилось на 0,18 (табл.2 и рис.4, позиции 5; 6 и 8; 9), а при капиллярно подвешенной соответственно 0,72 и 0,1 (см. поз. 11, 12 и 14, 16 табл.2 и рис.5).

Оценка сжимаемости грунта при капиллярной влагоемкости

Остаточные деформации являются следствием двух процессов уплотнения грунта под площадью штампа и его поперечного расширения.

Относительная деформация в результате уплотнения определяется по сокращению емкости пор, которая для единичного объема грунта равна разности емкостей пор заполненных газом и гравитационной частью воды до начала и после окончания испытаний:

$$\varepsilon'_n = [(\Delta w_{гр} + \Delta g) - (\Delta w_{гр,com} + \Delta g_{com})], \quad (1)$$

где $\Delta w_{гр}$ и Δg – объем гравитационной части воды и газа в грунте до начала испытания, а $\Delta w_{гр,com}$ и Δg_{com} – после его окончания (см. таблицы 1 и 2).

Часть остаточной осадки в результате уплотнения определяется произведением относительной деформации „ ε'_n ” на высоту образца „h”:

$$s'_n = \varepsilon'_n \cdot h \quad (2)$$

Таблица 2. - Фазовые компоненты в грунтах при природной влажности, после капиллярного увлажнения и приложенной нагрузки

№	№	P, МПа	$P_{a,3}$ г/см ³	w	S _r	S _{r,m}	Δm	Δn	Δw	Δw _m	Δw _{np}	Δg
1	55	-	1,3	0,17	0,43	0,4	0,49	0,51	0,22	0,20	0,02	0,29
2		0,35	1,49	0,16	0,54	0,54	0,56	0,44	0,24	0,24	-	0,20
3	56	-	1,41	0,18	0,54	0,48	0,53	0,47	0,25	0,23	0,02	0,22
4		0,35	1,54	0,16	0,58	0,58	0,57	0,43	0,25	0,25	-	0,18
5	59	-	1,4	0,16	0,48	0,47	0,52	0,48	0,23	0,22	0,01	0,25
6		-	1,40	0,28	0,83	0,47	0,52	0,48	0,41	0,22	0,19	0,07
7		0,25	1,55	0,24	0,88	0,59	0,58	0,42	0,36	0,25	0,11	0,06
8	60	-	1,37	0,17	0,48	0,45	0,51	0,49	0,23	0,22	0,01	0,26
9		-	1,37	0,29	0,81	0,45	0,51	0,49	0,4	0,22	0,18	0,09
10		0,2	1,5	0,25	0,85	0,56	0,56	0,44	0,37	0,24	0,13	0,07
11	52	-	1,37	0,15	0,43	0,43	0,51	0,49	0,21	0,21	-	0,28
12		-	1,37	0,25	0,7	0,45	0,51	0,49	0,34	0,22	0,12	0,15
13		0,3	1,5	0,24	0,82	0,54	0,56	0,44	0,36	0,24	0,12	0,08
14	61	-	1,4	0,16	0,47	0,47	0,52	0,48	0,23	0,23	-	0,25
15		-	1,4	0,26	0,75	0,47	0,52	0,48	0,36	0,23	0,13	0,12
16		0,25	1,53	0,24	0,86	0,57	0,57	0,43	0,37	0,24	0,13	0,06

Вторая ее часть, являющаяся следствием поперечного расширения определяется вычитанием значения осадки в результате уплотнения от измеренной ее остаточной величины :

$$s'_v = s_0 - s'_n \quad (3)$$

На величину поперечного расширения оказывает влияние структурная прочность грунта и условия вытеснения из пор воды и газа. В грунтах с высокой газопроницаемостью при природной влажности незначительно превышающей максимальную молекулярную — уплотнение происходит в результате вытеснения гравитационной части воды и газа в объеме под площадью штампа и сопровождается поперечным расширением (пп.1; 2 и 3;4 табл.2; и рис.3).

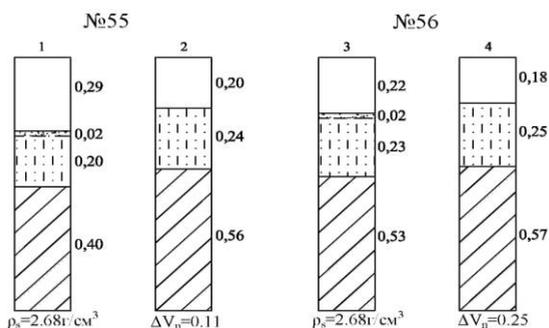


Рис. 3. Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов в грунтах природной влажности под влиянием внешней нагрузки

В грунтах с заземленным газом и водой, с низкой газо- и водопроницаемостью каждая ступень приложенной условно мгновенной нагрузки вызывает повышение порового давления в результате сжатия газа. Низкая структурная прочность окружающего грунта способствует поперечному расширению сжимаемого объема.

В проведенных испытаниях, при капиллярно–поднятой влагоемкости часть осадки вызванной уплотнением составила около 40%, а в капиллярно–подвешенной — около 35% (табл.3).

При капиллярно–поднятой влагоемкости уплотнение является следствием вытеснения воды, а при капиллярно–подвешенном — вытеснения газа. Результаты оценки сжимаемости грунтов приведены в таблице 3.

Выводы

1. На значение капиллярной влагоемкости оказывают влияние условия увлажнения. В выполненных исследованиях при капиллярно

поднятом увлажнении среднее значение коэффициента водонасыщения достигнуто равным 0,82, а при подвешенном – 0,72.

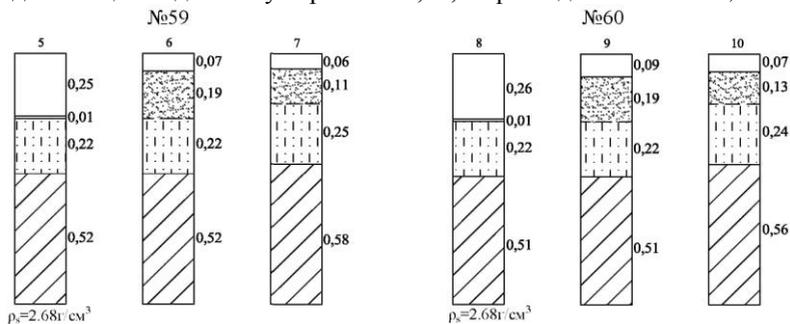


Рис. 4. Изменения емкостей фаз и фазовых компонентов под влиянием внешней нагрузки при капиллярно–поднятом увлажнении

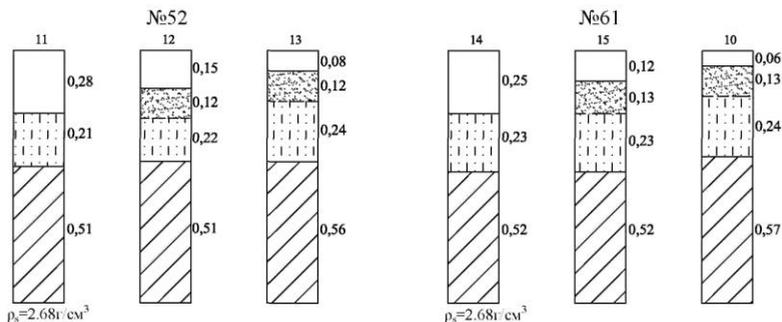


Рис. 5. Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов под влиянием внешней нагрузки при капиллярно–подвешенном увлажнении

Таблица 3. - Оценка сжимаемости грунтов по результатам выполненных испытаний

№	p, МПа	s, мм	s ₀ , мм	Δw _{гр} + Δg	Δw _{гр} com + Δg com	ε' _n	s' _n , мм	s' _n /s ₀
55	0,35	3,76	3,51	0,31	0,20	0,11	2,75	0,78
56	0,35	2,52	2,35	0,24	0,18	0,06	1,5	0,64
59	0,25	4,87	4,69	0,26	0,17	0,09	2,25	0,48
60	0,2	5,50	5,35	0,27	0,20	0,07	1,75	0,33
52	0,3	4,88	4,72	0,27	0,20	0,07	1,75	0,37
61	0,25	4,77	4,65	0,25	0,19	0,06	1,50	0,32

Примечание ε' определяется по зависимости (1).

2. Остаточная часть осадки состоит из уплотнения и поперечного расширения.

3. Уплотнение является следствием вытеснения из пор газа и гравитационной части воды, а поперечное расширение – изменением формы уплотняемого объема.

4. Относительная деформация уплотнения для единицы объема грунта определяется отношением суммы емкостей вытесненных газа и воды.

Summary

According to the results of laboratory tests determined the changes of phase components during compaction loess soils. Tests carried out on samples of the natural moisture content before and after soaking the "top" and "bottom".

Литература

1. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды /А.Ф.Лебедев. – Издание четвертое. – Изд-во Академии Наук СССР. – М. – Л. – 1936. – 314 с.

2. Приклонский В.А. Грунтоведение / В.А.Приклонский, Издание третье. – Ч.1. – М. – Гостгеолгиздат, 1955. – 430 с.

3. Герсеванов Н.М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н.М.Герсеванов, Д.Е.Польшин. – М.: Стройиздат. 1948. – 274 с.

4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов /М.Н.Гольдштейн.- М.,Стройиздат,1973.-375с.

5. Тугаенко Ю.Ф. Влияние локального замачивания на несущую способность свай заглубленных в малосжимаемые породы / Ю.Ф.Тугаенко, А.П.Ткалич, А.Р.Гевондян // Будівельні конструкції. – Випуск 61. – Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування. – К.: – НДІБК. – 2004. – Том 1. – С.478 – 481.

6. Тугаенко Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки / Ю.Ф.Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2003. – 222с.

7. Тугаенко Ю.Ф. Экспериментальные исследования совместной работы основания и фундаментов в лессовых грунтах первого типа / Ю.Ф.Тугаенко // Известия вузов: Строительство и архитектура, 1966. – №2. – С.22-31.

8. Тугаенко Ю.Ф. Исследования деформаций в основании опытных фундаментов в лессовых грунтах первого типа / Ю.Ф.Тугаенко // Основания, фундаменты и подземные сооружения. – Сб.науч.раб. – Вып.2. – М.:Высшая школа, 1967. – С.39-49.

9. Тугаенко Ю.Ф. Некоторые особенности уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками / Ю.Ф.Тугаенко. Основания и фундаменты. – К.Будівельник, 1969. – Випуск 2 – С.99-103.