

Тугаенко Ю.Ф., докт. техн. наук, профессор
Марченко М.В., канд. техн. наук, доцент
Логінова Л.А., канд. техн. наук, інженер
Абуладзе Л.Г., інженер

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Влияние капиллярной влагоемкости на соотношение фаз и фазовых компонентов в лессовых грунтах

Аннотация: В статье изложены результаты полевых и лабораторных исследований изменения соотношений емкостей фаз и фазовых компонентов при поднятой и подвешенной капиллярной влагоемкости, которые оказывают влияние на сжимаемость грунтов. К. Терцаги, в качестве опорной характеристики сжимаемости грунта по результатам компрессионных испытаний, использовал изменение отношения фаз под влиянием нагрузки и предложил показатель – коэффициент пористости. Его значение определяется отношением объема пор к объему частиц скелета. При отсутствии внешней нагрузки, на изменение фазовых соотношений оказывают влияние емкости гравитационной части воды и газа, соотношение между которыми зависит от условий формирования капиллярной влагоемкости.

Ключевые слова: лессовые грунты, капиллярное увлажнение, коэффициент водонасыщения, заземленный газ.

Тугаєнко Ю.Ф., докт. техн. наук, професор
Марченко М.В., канд. техн. наук, доцент
Логінова Л.О., канд. техн. наук, інженер
Абуладзе Л.Г., інженер

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Вплив капілярної вологоємності на співвідношення фаз і фазових компонентів у лесових ґрунтах

Анотація: У статті викладені результати польових і лабораторних досліджень зміни співвідношень ємностей фаз і фазових компонентів при піднятій і підвішеній капілярній вологоємності, яка впливає на стисливість ґрунтів. К. Терцаги, в якості опорної характеристики стисливості ґрунту за результатами компресійних випробувань, використовував зміни відношення фаз під впливом навантаження і запропонував показник - коефіцієнт пористості. Його значення визначається відношенням об'єму пор до частинок скелету. При відсутності зовнішнього навантаження на зміну фазових відносин впливають ємності гравітаційної частини води і газу. Співвідношення між якими залежить від умов формування капілярної вологоємності.

Ключові слова: лесові ґрунти, капілярне замочування, коефіцієнт водонасичення, затиснений газ.

*Tugaenko Y.F., ScD, Professor
Marchenko M.V., PhD, Associate Professor
Loginova L.A., PhD, Engineer
Abuladze L.G., Engineer
Odessa State Academy of Construction and Architecture*

Influence of capillary moisture-capacity on the relation of phases and phase components in the loess soils

Abstract: *The article presents the results of research in the field and laboratory conditions, changes in the relations of phases and phase components at capillary-lifted and capillary-suspended moisture-capacity, which affect the compressibility of the soil.*

From the ratio of phases and phase components, you can determine the amount of soil sediment as a result compaction under the influence of the external load.

K. Terzaghi as a reference compressibility characteristics of the soil as a result of compression test used phase change of attitude under the influence of stress and suggested indicator - coefficient of porosity. Its value is determined by the ratio of the pore volume to the volume of soil particle skeleton.

Field investigations loess soils foundation construction is carried out in conditions of natural humidity and after soaking local. In the process of changing the ratio of moisture reservoirs between the phases and components that affect the resistance of soil stress.

The capillary moistening in the field conditions in the absence of the external load causes a redistribution of the filling ratio of the pore volume water and gas.

A.F. Lebedev highlighted two types of capillary moisture-capacity: lifting and suspended. The first image of the capillary fringe above the groundwater level, the second is formed in the vadose zone as a result of the infiltration of precipitation or production activities: irrigation, leakage of water communications, and others.

Within the limits of the suspended capillary moisture-capacity, when the soil is moistened locally, there is a moving front of capillary moisture from the top down and limits the displacement of the gas and creates the conditions of jamming. The values of coefficient of water saturation, in the executed researches, are fixed within the limits of 0,6...0,8, and a capacity of the jammed gas is in unit of volume of soil – 0,09...0,12.

At capillary-lifted moisture-capacity with the increase of distance from, when increasing the distance from the groundwater level, the value of the coefficient of water saturation decreases from 1.0, near its mark, to 0,71, to a distance of one to two meters. According to the results of laboratory tests determined the impact of the creation of conditions for the capillary water in the ratio of the degree of pore filling with water and gas. In the formation capillary-raised moisture content, the range of water saturation coefficient was 0,8...0,83, and the capacity of entrapped gas - 0,07 ... 0,09. The value of suspended capillary moisture capacity, when the value of the coefficient of water saturation close to 0.07...0.075 corresponds to the capacity of the compressed gas 0,12...0,15.

According to the results of laboratory and field studies of water saturation coefficient is smaller and the capacity of the gas entrapped in the greater suspended-capillary moisture-capacity. When capillary-lifted these values change with increasing distance from the groundwater level.

Keywords: *loess soils, capillary wetting, coefficient of water saturation, jamming gas.*

Введение. Уплотнение является следствием изменения соотношений между фазами и фазовыми компонентами под влиянием внешней нагрузки.

Для определения сжимаемости грунтов К. Терцаги применил соотношение емкостей фаз, в предложенной им характеристике – коэффициенте пористости. Его значение является отношением объема пор к объему минеральных частиц скелета. Такая расчетная модель названа М.Н. Гольдштейном фазовой моделью [1]. Ее применение сохранилось в действующем стандарте до настоящего времени.

Уплотнение под влиянием внешней нагрузки происходит в результате изменений фазовых соотношений. В статье приведены результаты их определения при капиллярном увлажнении лессовых грунтов.

А. Лебедевым выделено два состояния капиллярной влагоемкости: поднятая и подвешенная.

Капиллярно-поднятая *"...заполняет капиллярные пустоты в породе, поднимаясь от грунтовой воды. При уменьшении высоты воды в капиллярах (испарение) наблюдается быстрое восстановление прежнего уровня"* [2].

Капиллярно-подвешенная возникает от поверхностных источников: утечек из водонесущих коммуникаций, водоемов и инфильтрации в условиях искусственного локального замачивания грунтов при испытаниях фундаментными конструкциями. Этот вид влагоемкости обладает следующими особенностями:

- после прекращения замачивания вода в капиллярах сохраняется и при испарении ее уровень не поднимается;

- вода из капиллярной зоны не инфильтруется в выработки и пустоты.

В статье изложены количественные результаты исследований перераспределения соотношений между фазами и фазовыми компонентами при двух видах капиллярной влагоемкости.

Анализ последних источников исследований и публикаций. Исследования влияния влажности и локального замачивания на сопротивление грунтов проведены многими учеными А.А. Григорян, И.В. Финаевым, Г.Н. Смиренским, М.В. Марченко, А.В. Новским, А.П. Ткаlichem, Ю.Ф. Тугаенко и др., которые выполнены с определением влажности в грунтовой среде без учета изменения фазовых компонентов [3–11].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Определение влажности недостаточно для оценки состояния грунтов. Защемление части капиллярной влагоемкости и газа оказывают существенное влияние на процессы уплотнения. В данной статье приведены результаты исследований изменения соотношений между компонентами жидкой и газообразной среды, в зависимости от условий капиллярного увлажнения.

Постановка задачи. При повышении влажности сопротивление лессовых грунтов нагрузкам от фундаментных конструкций снижается. Поэтому их испытания проводятся в грунтах природной влажности и в условиях замачивания. Для увлажнения грунтов разработана методика локального замачивания, согласно которой, вокруг опытной конструкции создается система из дренажных скважин, объединенных траншеей [3; 4; 6; 8]. Качество увлажнения контролируется длительностью замачивания, его непрерывностью и количеством израсходованной воды. Однако по этим показателям невозможно определить изменения фазовых компонентов и выявить их влияние на процессы деформирования грунтов. Определение изменений фазовых компонентов (капиллярная влагоемкость, газоёмкость и их защемление) позволяют прогнозировать процессы деформирования грунтов. Вопросам исследований изменения фазовых компонентов посвящены работы А.Ф. Лебедева, Н.М. Герсегованова, В.А. Приклонского и др. [2; 12; 15].

Цель работы – определение изменений соотношения емкостей фаз и фазовых компонентов при локальном замачивании и их влияние на процессы деформирования грунтов. Для решения этой цели выполнены следующие задачи: по результатам полевых и лабораторных исследований определены изменения фазовых компонентов воды и газа при поднятой и подвешенной капиллярной влагоемкости.

Основной материал и результаты. Грунты являются дисперсной системой, состоящей из минеральных частиц и пор. Поры заполнены водой и газом. Поэтому грунтовую среду рассматривают как трехфазную систему, состоящую из твердых частиц воды и газа.

Каждая фаза обладает своими особенностями. Состояние твердой фазы оказывает влияние на механические свойства грунтов. С повышением дисперсности увеличивается удельная поверхность частиц, изменяется их форма, уменьшаются размеры пор. Жидкая фаза состоит из молекулярно-связанной, капиллярной и гравитационной влагоемкости. Каждый вид воды, являясь фазовым компонентом, обладает определенными свойствами. Газообразная фаза изменяет свое состояние в процессе уплотнения. Сокращение объема пор вызывает сжатие газа под влиянием, которого возникает его эффузия и диффузия.

Таблица 1 – Определение емкостей фаз и фазовых компонентов

Фазы	Название элементов грунтовой среды	Обозначения	Формула для определения
твердая	объем частиц	Δm	ρ_d / ρ_s
-	объем пор	Δn	$1 - \rho_d / \rho_s$
жидкая	вода (всего)	Δw	$S_r \cdot \Delta n$
	молекулярная	Δw_m	$S_{r,m} \cdot \Delta n$
	гравитационная	Δw_{gp}	$\Delta w - \Delta w_m$
газообразная	газ	Δg	$\Delta n - \Delta w$

Примечание: Δ - отношение объема фазы и фазового компонента к объему образца.

В данной статье рассмотрены изменения емкостей фазовых компонентов в лессовых грунтах, для которых максимальная молекулярная влагоемкость достигается при весовой влажности равной 0,16 [1; 3].

Методика испытаний. На объекте, по ул. Парковой в г. Одессе проведено испытание буронабивной сваи с локальным замачиванием [7; 8]. Геологическое строение участка приведено на рис.2, а. Локальное замачивание одиночной сваи выполнено в соответствии с требованиями действующего стандарта [4]. Свая испытана трижды, с интервалами 37 и 29 суток. Перед каждым испытанием выполнено предварительное замачивание. Перед первым – в течение трех недель, а двумя последующими – по две недели. Расход воды измерялся водомером и составил соответственно 80; 45 и 40 м³, с общим количеством – 165 м³.

Локальное замачивание основания двух опытных свай проведено на участке лютеранской Кирхи в процессе разработки проекта ее восстановления и реконструкции [9]. После окончания испытаний при природной влажности, повторно проведены испытания, с предварительным локальным замачиванием. Вода подавалась в траншею шириной 0,4 м, замкнутую по прямоугольному контуру вокруг свай. Из траншей пройдено шесть скважин, которые были заполнены песком. Схема устройства дренажной системы показана на рис.1, в.

Геологическая колонка и графики изменения влажности по глубине приведены на рис. 1, а; б.

Оценка изменений емкостей фаз и фазовых компонентов при локальном замачивании. В процессе локального замачивания вода из дренажной системы проникает в грунт. Для песчаных грунтов существует два состояния капиллярной влагоемкости: стыковое и четочное (по А.В. Лебедеву фуникулярное и пендулярное) [1; 2]. В лессовых отложениях форма пылеватых частиц качественно напоминает песчаные, поэтому принято допущение о наличии в них таких же состояний капиллярной влагоемкости.

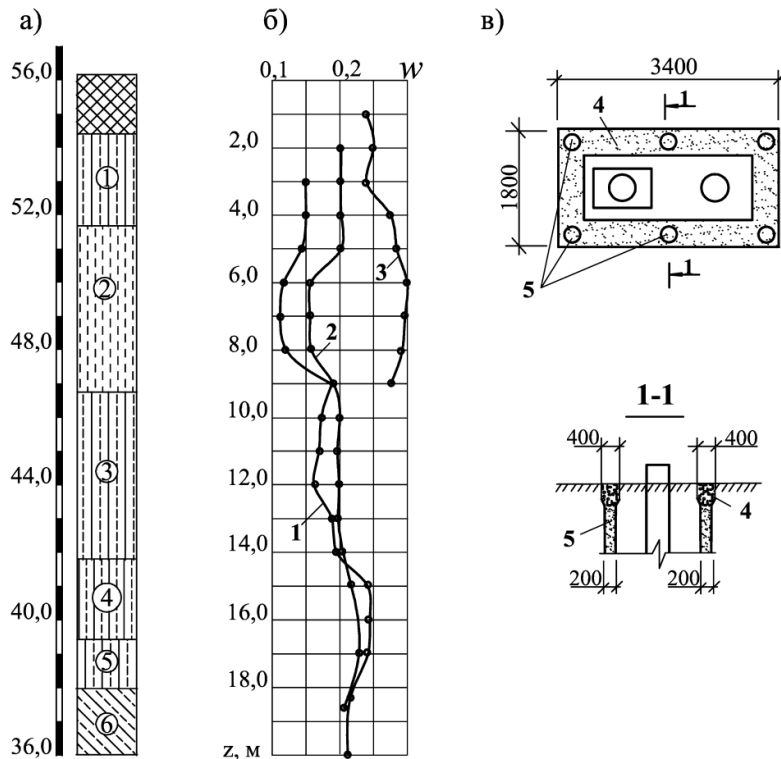


Рисунок 1 – Методика исследований: а) геологическое строение участка застройки Кирхи с линейкой абсолютных отметок; б) влажность по глубине: 1 – при изысканиях, 2 – при проходке скважин для свай, 3 – перед окончанием локального замачивания; в) схема дренажной системы для локального замачивания: 4 – грунтовый лоток, заполненный щебнем; 5 – дренажные скважины, заполненные песком

Повышение капиллярной влагоемкости сопровождается уменьшением газопроницаемости. При достижении капиллярно-четочного состояния происходит защемление части газа в порах грунта. Защемленный газ препятствует заполнению пор водой, в результате чего значение коэффициента водонасыщения в проведенных исследованиях зафиксировано в пределах 0,6...0,8.

В табл.2 и на рис.2 приведены результаты определения влажности в конце каждого из трех периодов локального замачивания основания сваи на участке строительства по ул. Парковой. Полученные данные позволили определить изменения фазовых компонентов в пределах ИГЭ–2 и 3, результаты которых иллюстрирует рис. 3.

При отсутствии внешней нагрузки, объем минеральных частиц грунта и пористость сохраняются неизменными. Поры заполнены водой и газом, молекулярная

влагоемкость в порах сохраняется, вместе с тем локальное замачивание изменяет соотношение между частью пор, заполненных водой и газом. Повышение влагоемкости снижает газоёмкость, вследствие, вытеснения газа (эффузия) из пор. Увеличение влагоемкости от стыкового до четочного состояния снижает газопроницаемость грунтов, после прекращения которой, происходит защемление газа, препятствующего дальнейшему поступлению воды. Увеличение влажности со временем снижается (см. рис.2, в).

Значение коэффициента водонасыщения к концу третьего цикла замачивания в ИГЭ-2 и 3 достигло 0,74 и 0,76, а емкость газа в порах сократилась на 0,21 и 0,23.

Таблица 2 – Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов при локальном замачивании опытной буронабивной сваи по ул. Парковой в г. Одессе

№ ИГЭ	ρ_s г/см ³	ρ_d г/см ³	Пок. зам.	w д.е.	S_r д.е.	$S_{r,m}$ д.е.	Δm д.е.	Δn д.е.	Δw д.е.	Δw_m д.е.	Δw_{zp} д.е.	Δg д.е.	$\frac{\Delta w_{zp}}{\Delta n}$	$\frac{\Delta g}{\Delta n}$
2	2,69	1,41	w_0	0,19	0,56	0,47	0,53	0,47	0,26	0,22	0,04	0,21	0,08	0,47
			1.1	0,205	0,61	"	"	"	0,29	"	0,07	0,18	0,15	0,38
			1.2	0,22	0,65	"	"	"	0,30	"	0,08	0,17	0,17	0,36
			1.3	0,25	0,74	"	"	"	0,35	"	0,13	0,12	0,28	0,26
3	2,66	1,39	w_0	0,185	0,54	0,48	0,52	0,48	0,25	0,22	0,03	0,23	0,06	0,48
			1.1	0,215	0,63	"	"	"	0,30	"	0,08	0,18	0,17	0,38
			1.2	0,25	0,73	"	"	"	0,34	"	0,12	0,14	0,25	0,29
			1.3	0,26	0,76	"	"	"	0,36	"	0,14	0,12	0,29	0,25

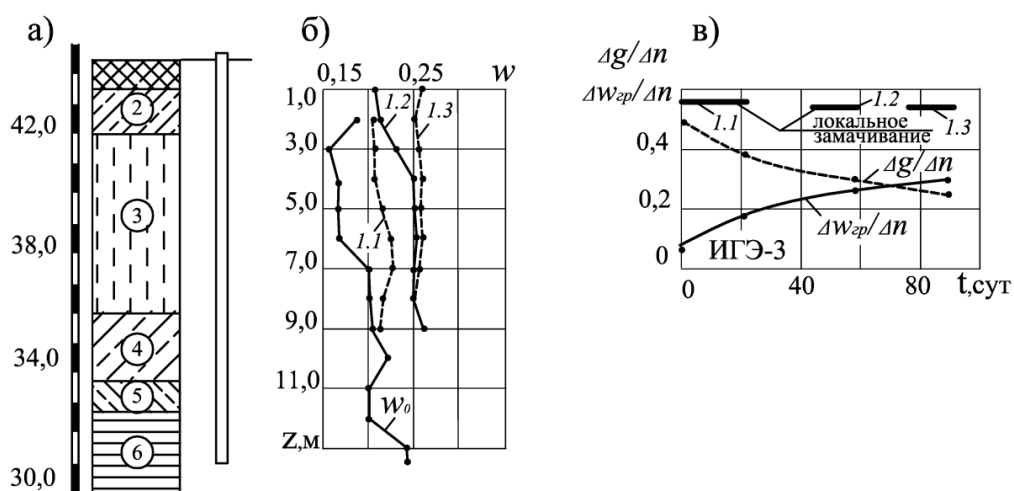


Рисунок 2 – Результаты локального замачивания основания сваи по ул. Парковой в г. Одессе: а) геологическое строение: 2, 4 – суглинки лессовые; 3, 5 - супеси лессовые; 6 – суглинок низкопористый; б) влажность в начале и в процессе каждого этапа замачивания; в) изменение степени заполнения объема пор водой и газом: 1.1, 1.2, 1.3 – обозначение номера испытаний

Результаты определения изменений влажности и емкостей фазовых компонентов при локальном замачивании на участке застройки Кирхи в г. Одессе приведены в табл.3 и на рис. 1 и 4. По данным значениям видно, что объем пор и заполнение их молекулярной водой остались неизменными. Изменились соотношения заполнения пор гравитационной частью воды и газом.

В выполненных исследованиях при локальном замачивании, в пределах подвешенной капиллярной влагоемкости значения коэффициентов водонасыщения получено в пределах 0,6...0,8, а объем заземленного газа до 0,1...0,12. При капиллярно-поднятой влагоемкости значение коэффициента водонасыщения снижается с удалением от уровня подземных вод. В работе [12] приведены изменения коэффициента водонасыщения по высоте поднятия. Так в пределах 0,4 м от уровня подземных вод его значение близко к единице, а в интервале от 0,4 до 1,0 м – уменьшается до 0,8, от 1,0 до 3,0 м – близко к величине 0,7.

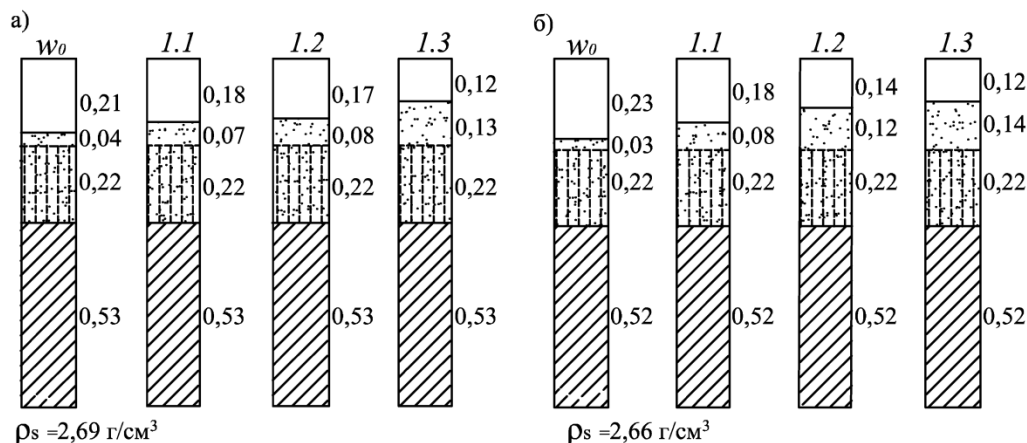


Рисунок 3 – Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов при поэтапном локальном замачивании основания свай по ул. Парковой в г. Одессе: а) в пределах ИГЭ-2 ; б) в пределах ИГЭ-3

Таблица 3 –Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов при локальном замачивании основания двух свай на участке Кирхи в г. Одессе

№ ИГЭ	ρ_s г/см ³	w/w_{sat}	ρ_d г/см ³	w д.е.	S_r д.е.	$S_{r,m}$ д.е.	Δm д.е.	Δn д.е.	Δw д.е.	Δw_m д.е.	Δw_{zp} д.е.	Δg д.е.
1	2,7	w	1,33	0,20	0,52	0,42	0,49	0,51	0,26	0,21	0,05	0,25
		w_{sat}	1,33	0,24	0,63	0,42	0,49	0,51	0,32	0,21	0,11	0,19
2в 2н	2,69	w	1,37	0,18	0,50	0,45	0,51	0,49	0,25	0,22	0,03	0,24
			1,37	0,16	0,45	0,45	0,51	0,49	0,22	0,22	0,00	0,27
2в 2н	2,69	w_{sat}	1,37	0,275	0,77	0,45	0,51	0,49	0,32	0,22	0,16	0,11
			1,37	0,29	0,81	0,45	0,51	0,49	0,40	0,22	0,18	0,09

Примечания: 1) ИГЭ-2 условно разделен на две половины: верхнюю (2в) и нижнюю (2н); 2) Выделено два состояния весовой влажности грунтов: w_0 – природное, до замачивания и w_{sat} – после локального замачивания

Определение влияния капиллярного увлажнения на соотношение емкостей фазовых компонентов в лабораторных условиях. Испытания проведены на образцах лессовой супеси природной влажности отобранных в кольцо компрессионного прибора диаметром 8,7см, высотой 2,5см. Увлажнение производилось снизу (при капиллярном поднятии воды и сверху – для создания подвешенной капиллярной влагоемкости).

Для увлажнения снизу подготовленный образец грунта устанавливался на хлопчато-бумажную ткань, выходящую за пределы его контура. На выступающую часть ткани из небольшой емкости фитилем подавалась вода. Увлажнение происходило

путем капиллярного поднятия, достаточность которого определялась появлением влаги на поверхности образца.

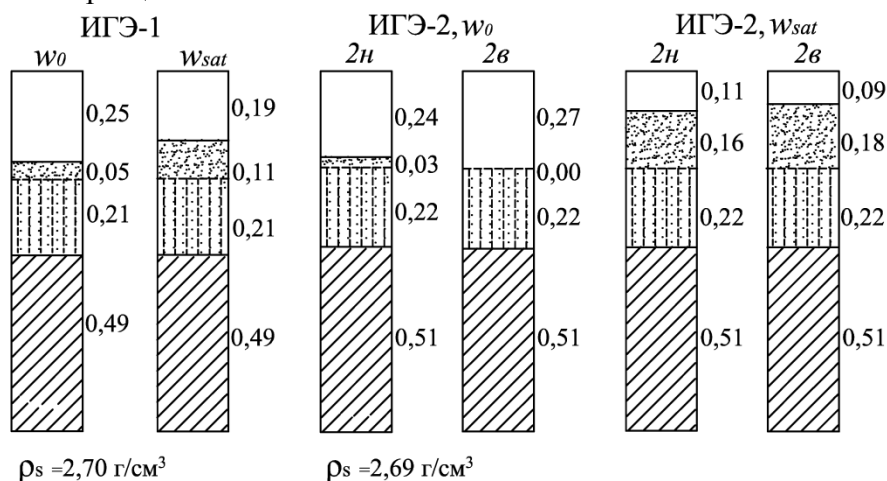


Рисунок 4 – Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов при локальном замачивании грунтов на участке Кирхи в г. Одессе

Увлажнение сверху производилось с подачей воды на верхнюю поверхность образца, покрытую ткань, и контролировалось увлажнением ткани уложенной под образцом. Количество воды, образовавшей капиллярно-подвешенную влагоемкость, фиксировалось взвешиванием до и после увлажнения.

В табл. 4 и на рис. 5, а, б приведены результаты испытаний в условиях капиллярно-поднятой влагоемкости. Подъем фронта капиллярного увлажнения сопровождался вытеснением газа до момента его защемления (при достижении капиллярно-четочного состояния).

Таблица 4 – Соотношение емкостей фаз и фазовых компонентов при поднятой и подвешенной капиллярной влагоемкости

№	К.В.	t, час	ρ_d , г/см ³	w д.е.	S_r д.е.	$S_{r,m}$ д.е.	Δm д.е.	Δn д.е.	Δw д.е.	Δw_m д.е.	Δw_{zp} д.е.	Δg д.е.	лаб. №
а	подня- тая	4	1,4	0,16	0,48	0,47	0,52	0,48	0,23	0,22	0,01	0,25	59
			1,4	0,28	0,83	0,47	0,52	0,48	0,41	0,22	0,19	0,07	
б		1,5	1,37	0,17	0,48	0,45	0,51	0,49	0,23	0,22	0,01	0,26	60
			1,37	0,29	0,81	0,45	0,51	0,49	0,40	0,22	0,18	0,09	
в	подве- шенная	1,5	1,37	0,15	0,43	0,43	0,51	0,49	0,21	0,21	-	0,28	52
			1,37	0,25	0,7	0,45	0,51	0,49	0,34	0,22	0,12	0,15	
г		2	1,4	0,16	0,47	0,47	0,52	0,48	0,23	0,23	-	0,25	61
			1,4	0,26	0,75	0,47	0,52	0,48	0,36	0,23	0,13	0,12	

Примечания: К.В. – капиллярная влагоемкость; t – длительность увлажнения.

Среднее значение коэффициента водонасыщения составило 0,82. Объем газа сократился с 0,255 до 0,08. В табл. 4 и на рис. 5, в, г приведены результаты увлажнения сверху в условиях формирования подвешенной капиллярной влагоемкости.

Продвижение фронта капиллярного увлажнения сверху вниз ограничивает свободное вытеснение газа. В связи с этим увеличивается емкость защемленного газа, снижающего капиллярное увлажнение. Значение коэффициента водонасыщения в этом

случае составило в среднем 0,72. В табл. 5 приведены средние результаты, полученные в проведенных исследованиях.

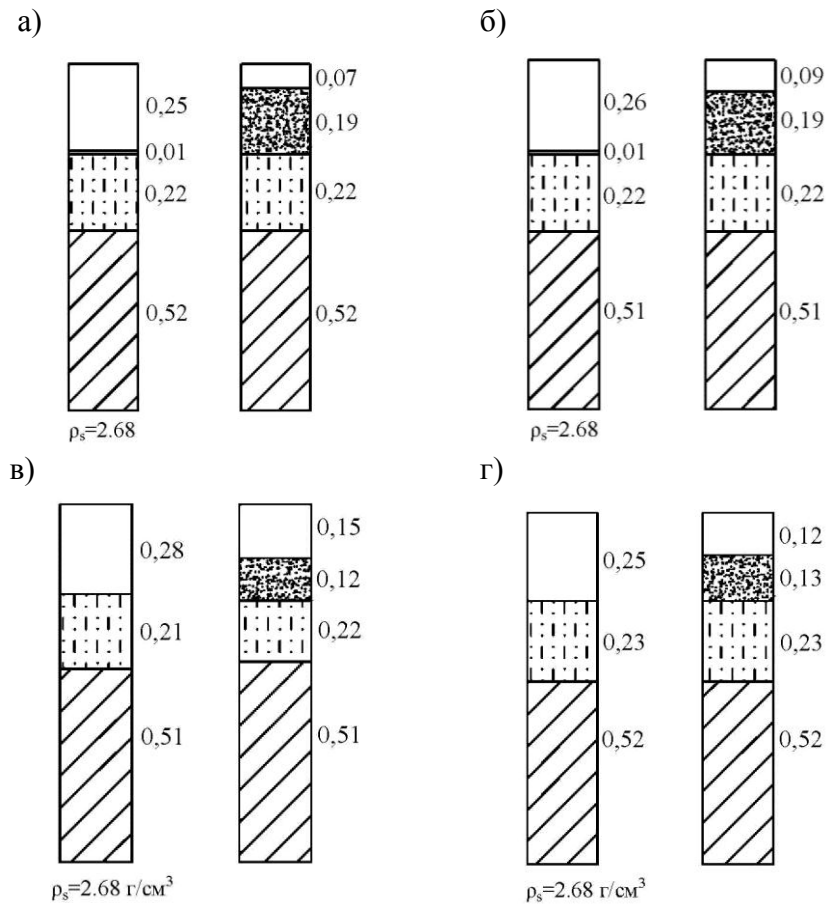


Рисунок 5 – Изменение емкостей фаз и фазовых компонентов при влажности: а, б) капиллярно-поднятой; в, г) капиллярно-подвешенной

Таблица 5 – Влияние условий капиллярного увлажнения на изменение фазовых компонентов

№ опытов	Капиллярная влажность	Средние значения		Приращение	
		w д.е.	S_r д.е.	Δw_{zp} д.е.	Δg д.е.
а; б	поднятая	0,285	0,82	+0,175	- 0,175
в; г	подвешенная	0,255	0,72	+0,125	- 0,13

Примечание: + увеличение; - снижение

Выводы.

1. Капиллярно-подвешенная влажность формируется при локальном замачивании в пределах зоны аэрации. Ее емкость ограничивается зацепленным газом. По результатам исследований в полевых условиях значение коэффициента водонасыщения зафиксировано в пределах 0,6...0,8, а емкость зацепленного газа около 0,10.

2. При капиллярно-поднятой влажности коэффициент водонасыщения, с удалением от уровня подземных вод, снижается от значения 1,0 до 0,7 по опубликованным данным.

3. Параметры соотношений фазовых емкостей, определенные в лабораторных условиях для лессовой супеси, следующие: коэффициент водонасыщения при поднятой влагоемкости составил 0,82, при подвешенной – 0,72, а заземленного газа соответственно 0,08 и 0,135.

Литература

1. Гольдштейн М.Н. *Механические свойства грунтов* / М.Н. Гольдштейн. – М. – Стройиздат, 1973. – 375с.
2. Лебедев А.Ф. *Почвенные и грунтовые воды* / А.Ф. Лебедев. – Издание четвертое. – Изд-во Академии Наук СССР. – М. – Л. – 1936. – 314 с.
3. Палі. *Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань*. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с. – (Державний стандарт України).
4. Григорян А.А. *Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах* / А.А. Григорян. – М.: Стройиздат. – 1984. – 162с.
5. Финаев И.В. *Исследования несущей способности свай в лессовидных грунтах г. Горького* / И.В. Финаев // Сб. докладов и сообщений по свайным фундаментам. – М. – 1968. – С.184 – 191.
6. 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: зб. наук. праць – Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування*. – Київ: НДІБК, 2004. – Вип. 61. – Т. 1. – С. 478 – 481.
7. Тугаенко Ю.Ф. *Трансформация напряженно-деформированного состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов*. / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2011. – 120 с.
8. Новский А.В. *Результаты комплексных исследований грунтов буронабивными сваями используемых при усилении фундаментов Кирхи в г. Одессе* / А.В. Новский, А.П. Ткалич, Ю.Ф. Тугаенко, Л.А. Василевская, В.А. Новский // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. праць*. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип. 25. – С. 240 – 246.
9. Тугаенко Ю.Ф. *Экспериментальные исследования совместной работы основания и фундаментов в лессовых грунтах первого типа* / Ю.Ф. Тугаенко // *Известия вузов: Строительство и архитектура*, 1966. – Вып. 2. – С.22 – 31.
10. 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. – М.: Высшая школа, 1967. – Вып.2. – С.39 – 49.
11. Тугаенко Ю.Ф. *Некоторые особенности уплотнения просадочных грунтов тяжелыми трамбовками* / Ю.Ф. Тугаенко. – основания и фундаменты. – К. Будівельник, 1969. – Вип. 2 – С.99 – 103.
12. Герсеванов Н.М. *Теоретические основы механики грунтов и их практические применения* / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. – М.: Стройиздат, 1948. – 274 с.
13. Приклонский В.А. *Грунтоведение* / В.А. Приклонский, Издание третье. – Ч.1. – М.: Госгелиоиздат, 1955. – 430 с.